

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
TIEDONANTOJA 107
Maantutkimusosasto ISSN 0358-4283



Anna Saarsalmi, Kristina Palmgren ja Teuvo Levula

VILJELYLEPIKON ALKUKEHITYS
JA BIOMASSAAN SITOUTUNEIDEN
RAVINTEIDEN MÄÄRÄ



Helsinki 1983

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 107
Maantutkimusosasto

Anna Saarsalmi, Kristina Palmgren ja Teuvo Levula

VILJELYLEPIKON ALKUKEHITYS JA BIOMASSAAN SITOUTUNEIDEN
RAVINTEIDEN MÄÄRÄ



Helsinki 1983

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

YHTEENVETO

Tutkimuksessa tarkastellaan eri lannoituskäsittelyjen vaikutusta peltomaalla kasvatetun viljelylepikon biomassatuotokseen ja puustoon sitoutuneisiin ravinnemääriin kolmen kasvukauden jälkeen. Sadeveden mukana maahan vuosittain tulleiden ja huuhtoutumalla maasta poistuneiden ravinteiden määrää seurattiin niin ikään. Lisäksi tutkittiin maan biologisten ominaisuuksien muuttamista tutkimusjakson aikana.

Lepikossa oli biomassaa kolmen kasvukauden jälkeen keskimäärin 17 tn/ha, josta lehtien osuus oli noin 10 %. Biomassaan oli sitoutunut ravinteita seuraavasti: N:200, K:75, Ca:60, P:20, Mg:12, Mn:0.9, Zn:0.6, Cu sekä B:0.2 kg/ha. Puuston biomassatuotoksessa ja puiden eri osien ravinnepitoisuuksissa, molybdeeniä lukuunottamatta, ei ollut merkitseviä eroja eri lannoituskäsittelyjen välillä.

Ravinteita huuhtoutui pääasiassa huhti-toukokuussa sekä lokamarraskuussa. Kasvukauden aikana puusto käytti lähes kaiken koealoille tulleen veden. Toisena ja kolmantena vuonna ravinteita huuhtoutui vähemmän kuin niitä sadeveden mukana tuli maahan.

Tutkitut bakteeriryhmät olivat merkitsevästi aktivoituneet kontrollialoilla luonnontilassa olevaan lepikon maahan verrattuna. Lannoitus ja karikkeen kertyminen eivät suuremmin vaikuttaneet bakteeripopulaatioiden määrasuhteisiin muilla koealoilla kuin tyypeä saaneilla, joilla ammonifioiva bakteeripopulaatio kasvoi merkitsevästi.

SISÄLLYS

1. TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET	5
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	7
21. Kokeen perustaminen ja lannoituskäsittelyt	7
22. Näytteiden otto ja niiden käsittely	10
3. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	12
31. Kasvualustan pH ja ravinteisuus	12
32. Sadeveden mukana maahan tulleet ja maasta huuhtoutuneet ravinnemäärät	16
33. Kasvualustan mikrobiologiset ominaisuudet	17
34. Lepikon biomassan tuotos	19
35. Puustoon sitoutuneet ravinteet	23
36. Lepän veden kulutus	26
4. JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	28
KIRJALLISUUSLUETTELO	31

1. TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET

Nopeakasvuisten lehtipuiden biomassan käyttöä energiatuotannossa korostetaan vaihtoehtona tuontienergialle. Energiametsäviljelmien perustaminen ja hoito on kallista, mikä on otettava huomioon arvioitaessa biomassan tuottamisen kannattavuutta. Niin ikään energiametsäviljelmillä, kuten yleensäkin monokulttuureissa, hyönteiset ja nisäkkäät voivat aiheuttaa suurta vahinkoa.

Lehtipuiden kasvua tehostettaessa hyvän ravinnetason ylläpitäminen on tärkeää, sillä nopeakasvuiset lehtipuut käyttävät runsaasti ravinteita. Eri puulajien lannoitustarpeen tutkiminen onkin keskeinen kysymys energiametsäkasvatuksen menetelmiä kehitettäessä. Tämän ohella on myös oleellista selvittää eri lehtipuulajien ja lannoituksen vaikutus maan biologiseen aktiivisuuteen.

Energiametsäviljelyyn soveltuvista nopeakasvuista lehtipuista on Suomessa tutkittu pääasiassa pajua, Salix sp.; haapaa ja poppelia, Populus sp. sekä koivua, Betula sp. Energiametsäviljelyssä kasvatuksen intensiivisyydet, kiertoajat ja kasvupaikat vaihtelevat, mikä vaikuttaa kasvatettavan puulajin valintaan. Eräs merkittävä vaihtoehto on harmaaleppä (Alnus incana (L) Moench.) Harmaaleppä on nuorena nopeakasvuinen ja nopeinta pituuskasvu on n. 25 vuoden ikäisenä (Miettinen 1933, Kalela 1937). Leppä lisääntyy helposti vesoista ja on kasvupaikkavaatimuksiltaan vaatimaton (Ljunger 1959, Tallantire 1974). Hyönteiset ja nisäkkäät eivät aiheuta yhtä suuria tuhoja leppä- kuin paju-, koivu- ja haapaviljelmillä (Ahlen 1975, Teivainen 1978 ja 1979, Löyttyniemi ja Rousi 1979).

Leppä on puulajeistamme ainoa, joka kykenee käyttämään hyväkseen ilmakehän vapaata tyypeä. Leppä kasvaa juurisymbioosissa tyypeä sitovan, Actinomyces-sukuun kuuluvan, Frankia sädesienen kanssa. Tästä johtuen leppää voidaan kasvattaa koeolosuhteissa siten, että ilmakehän tyyppi on lepän ainoa tyyppien lähde (Huss-Danell 1980). Luonnossa leppä kuitenkin ottaa osan tarvitsemastaan ty-

pestä maasta juurillaan. Kirjallisuuden mukaan lepän sitoman typen määrä vaihtelee kasvuolosuhteista riippuen 10 - 300 kg/ha/v. Mm. norjalaisessa tutkimuksessa todettiin erään harmaalepikon sitovan typpeä 43 kg/ha/v (Johnsrud 1978). Kohtuullinen typen lisäys vaikuttaa positiivisesti lepän juurinystyröiden muodostukseen, typen sidontaan ja kasvuun. Kun typipilisäys ylittää tietyn tason, yhteyttäminen heikkenee nopeasti, sillä suuret typpimäärät vaurioittavat nystyröitä (Stewart & Bond 1961, Ingestad 1980, Huss-Danell 1980). Fosforilla ja molybdeenilla on myös keskeinen merkitys typensidontaprosessissa (Quispel 1958, Becking 1961, Sprent 1979).

Jo vanhastaan tiedetään lepällä olevan maata parantava vaikutus helposti hajoavan runsaasti typpeä sisältävän lehtikarikkeen vuoksi. (Viro 1955, Virtanen 1957, Mikola 1958 ja 1966, Nykvist 1962, Schalin 1966). Typpeä vapautuu maahan myös lepän juurista (Virtanen 1957). Lepällä tiedetään yllämainittujen seikkojen lisäksi olevan merkitystä maan ravinteisuuteen, sillä sen juurieritteet (fenolit, rasvahapot ja aminohapot) edistävät vapaasti elävien typpeä sitovien organismien kasvua (Sprent 1979). Lepällä saattaa myös olla metsähygieninen vaikutus eräiden sen juurten erittämien aineiden estäessä tiettyjen maapatogeenien kasvua (Tarrant & Trappe 1971). Nämä seikat puoltavat lepän käyttöä ei vain monokulttuurina kasvatettavana energiapuuna, vaan myös kasvupaikan ominaisuuksia parantavana sekapuuna tai välipuuosana (Mikola 1958, Tarrant 1961, DeBell & Radwan 1979).

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, kuinka paljon biomassaa leppä pystyy tuottamaan tuhkalannoituksen ja typensidontakykynsä turvin. Tuhkassa on typpeä lukuunottamatta kaikkia kasvien tarvitsemia ravinteita lähes optimaalisissa suhteissa. Tarkoituksena on myös selvittää, miten tuhkan lisäksi annettu typpi, fosfori- ja molybdeenilannoitus vaikuttaa lepän kasvuun.

Tutkimuksessa selvitetään lepän biomassatuotoksen kehittymistä puuston maanpäällisissä osissa kolmen ensimmäisen kasvukauden aikana (vv. 1979-1981). Lisäksi seurataan puustoon sitoutuvien

ravinteiden (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, B, lehdistä myös Mo) sekä sadeveden mukana maahan tulevien ja huuhtoutumalla maasta poistuvien pääravinteiden määrää. Maan biologista aktiivisuutta kuvaavan orgaanisen aineen hajoamisen ja ravinteiden mineralisaation katsotaan yleensä olevan suurin maan pintakerroksissa. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan miten peltomaa poikkeaa lepän luonnollisesta kasvualustasta, ja miten sen biologiset ominaisuudet aikaa myöten kehittyvät ja muuttuvat.

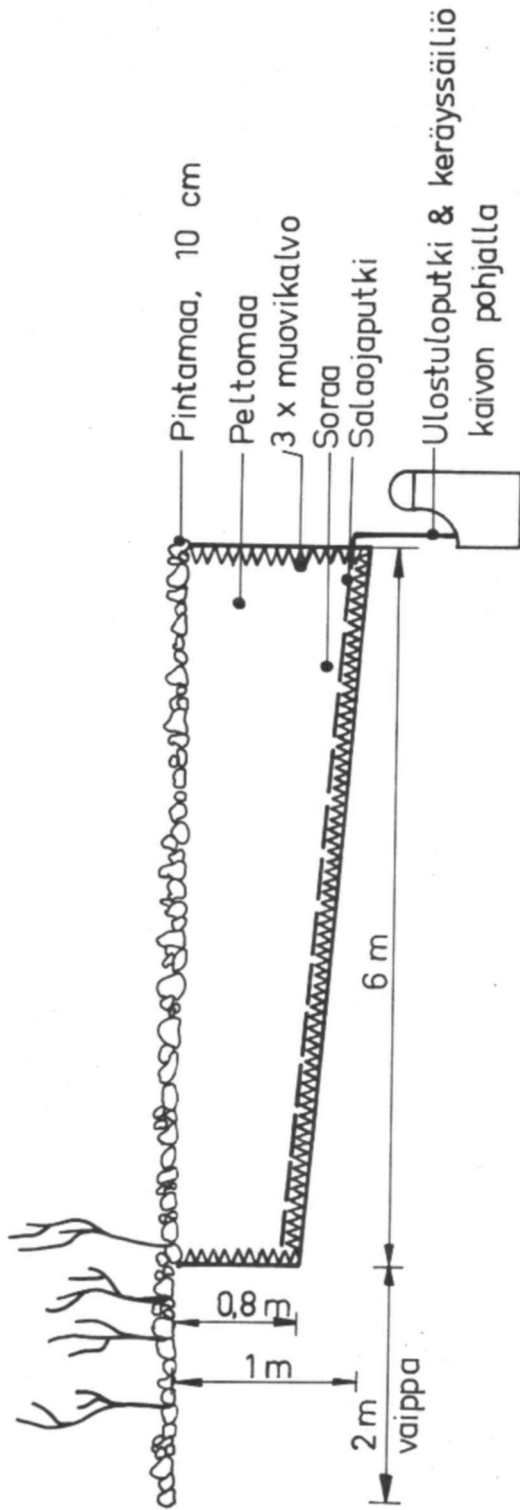
Kokeen suunnittelusta ja tutkimusraportin laadinnasta biomassaja ravinnetarkastelun osalta ovat vastanneet pääasiassa Anna Saarsalmi ja Kristina Palmgren. Palmgren on vastannut lisäksi tutkimuksen mikrobiologisesta osasta. Teuvo Levula on vastannut pääasiassa kokeen perustamisesta, biomassan määrittämisestä ja kasvinäytteiden otosta, sekä hyödyllisin neuvoin vaikuttanut tutkimuksen etenemiseen. Prof. Eino Mälkönen on antanut arvokkaita neuvoja kokeen suunnitteluun ja käsikirjoituksen laadintaan liittyen. Hän on yhdessä MMT Erkki Lipaksen kanssa lukenut käsikirjoituksen. Haluamme kiittää heitä sekä kaikkia muita tutkimukseen osallistuneita henkilöitä.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1. Kokeen perustaminen ja lannoituskäsittelyt

Keväällä 1979 perustettiin kenttäkoe, joka sijaitsee Hämeenlinnan kaupungin alueella (N 60 57' E 24 31'). Kasvupaikan ilmasto-olosuhteita kuvaavat keskilämpötilat ja sademäärät perustuvat Ilmatieteen laitoksen Hattula-Leteensuu säähavaintoaseman mittauksiin (liite 1).

Koe perustettiin kaksi vuotta kesantona olleelle pellolle. Valitsevana maalajina koealueella oli karkea hieta (taulukko 1).



Kuva 1. Lysimetrin rakenne.

Taulukko 1. Maan raekoostumus 0 - 20 cm kerroksessa

Raekoko, mm	Peltomaa		Kontrolli (lepikon maa)
	Paino-%		
>2	2.3	3.4	
0.5-2	3.3	1.2	
0.2-0.5	3.2	1.5	
0.05-0.2	47.3	53.1	
0.02-0.05	23.5	22.6	
0.002-0.02	15.5	13.4	
<0.002	4.9	4.8	

Koe suunniteltiin lysimetriperiaatteen mukaisesti huuhtoutumisen mukana kasvien ulottuvilta poistuvien ravinnemäärien selvittämiseksi. Loivasti etelään viettävälle aukealle pellolle kaivettiin 12 kpl 6 x 6 m suuruista allasta (kuva 1). Altaiden syvyys kasvoi tasaisesti 0,8 :stä 1 m:iin veden keräämisen helpottamiseksi. Altaat vuorattiin kolminkertaisella polyetyleenikalvolla (Tampella PE-kalvo, leveys 8 m, paksuus 0,20 mm). Kulmasta kulmaan asetettiin poikittain muovinen salaojaputki (Ø 5,5 cm), josta vesi johdettiin keräyssäiliöön. Salaojaputki peitettiin tasakokoisella soralla (Ø 2 - 6 mm). Muutoin altaat täytettiin 10 cm pintakerrosta lukuunottamatta peltomaalla. Kolmen altaan pintakerrokseksi levitettiin läheisestä n. 20 vuotiaasta lepinkosta tuotua maata. Näistä koealoista käytetään nimitystä kontrolliala. Muihin altaisiin levitettiin takaisin kaivun yhteydessä pois kuorittu pintakerros. Täytön jälkeen maa tiivistettiin kevyesti kaivinkoneen kauhalla. Kunkin altaan ympärille jätettiin 2 m leveä vaippa-alue. Lisäksi erotettiin koealojen väliin 1 - 3 m leveä suoja-alue. Jotta pinnanmyötäinen valuma kokeelle ja koealtaasta toiseen estyisi, koealat reunustettiin 10 cm korkuisella lautakehikolla ja kokeen ylälaitaan kaivettiin reunaoja.

Kontrollialoja lukuunottamatta koealoille levitettiin puutuhkaa 3000 kg/ha, joka vastaa n. 25 kg P/ha (taulukko 2). Maan pinta kuohkeutettiin juuri ennen istutusta joustopiikkiäkeellä.

Taulukko 2. Lannoituksessa käytetyn puutuhkan ravinnepitoisuudet. Tuhka Riihimäen sahalta.

Ravinne	Pitoisuus	Annostus kg/ha
P %	0.85	26
K %	2.94	88
Ca %	15.39	462
Mg %	1.33	40
Mn %	0.76	23
Cu ppm	539	2
Zn ppm	343	1
Mo ppm	0.9	0.003
Co ppm	30	0.1

Koejäsenet olivat seuraavat:

- tuhka 3000 kg/ha
 - tuhka 3000 kg/ha + N 150 kg/ha (oulunsalpietari)
 - tuhka 3000 kg/ha + P 25,5 kg/ha (superfosfaatti) + Mo 1,37 kg/ha ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$)
 - kontrolli, 10 cm pintamaakerros lepikosta tuotua maata
- Typpi, fosfori ja molybdeeni (liuoksena) levitettiin koealoille keväällä 1980. Kaikki käsittelyt toistettiin kolmesti.

Suonenjoen tutkimusaseman taimitarhalla kasvatetut taimet (siemenalkuperä Hausjärvi, 1(LK+A)) istutettiin kesäkuun puolivälissä 0,5 m välein vaippa mukaanlukien, eli yhteensä 400 tainta/koeala.

Poikkeuksellisen kuivan kevään ja alkukesän (liite 1) johdosta koealat kasteltiin istutuksen jälkeen kerran taimien alkukehityksen turvaamiseksi. Syksyllä 1979 kuolleiden taimien (kuolleisuus alle 1 %) tilalle istutettiin uudet, keväällä kokeen ulkopuolelle varalle istutetut taimet.

22. Näytteiden otto ja niiden käsittely

Ennen tuhkan levitystä otettiin näytteet maan ravinnetilanteen, pH:n ja mikrobiologisen tilan selvittämiseksi. Maan pH ja ra-

vinnepitoisuudet määritettiin 0 - 20 cm pintakerroksesta.

Seuraavina syksyinä otettiin maanäytteet ravinneanalyysiä varten. Maan pH määritettiin v. 1980 kolmesti ja v. 1981 syksyllä. Analysoitava, satunnaisotantaan perustuva näyte, koostui yhdeksästä 0 - 20 cm syvyydeltä maakairalla (\emptyset 25 mm) otetusta osanäytteestä. Maan pH määritettiin tuoreesta näytteestä ($\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$) ja ravinteet (N, P, K, Ca, Mg) ilmakeivista näytteistä Halosen ja Tulkin (1981) mukaan. Kupari, sinkki ja mangaani määritettiin Lakasen ja Erviön (1971) mukaan. Tilavuuspaino määritettiin vuoden 1980 keväällä, kun maan katsottiin asettuneen taas luonnolliseen tilaan. Tällöin tehtiin maasta myös mekaaninen maa-analyysi.

Mikrobiologisia määrittämiä varten otettiin 0 - 5 cm syvyydeltä kolmelta 25 cm² alueelta koealoittain satunnaisesti yhteensä 9 osanäytettä. Näytteet toimitettiin kylmälaukussa laboratorioon, jossa niitä säilytettiin jääkaapissa (+6°C) enintään 2 vrk. Ennen näytteiden analysointia osanäytteet yhdistettiin koealoittain kolmeksi kokoomanäytteeksi maata huolellisesti sekoittaen. Maanäytteistä tutkittiin bakteerien kokonaislukumäärän ohella sekä typen kierto osallistuvien fysiologisilta ominaisuuksiltaan erikoistuneiden ammonifioivien että proteolyyttisten bakteeripopulaatioiden koko (Voss-Lagerlund 1976).

Lehtien ravinnepitoisuuksien selvittämiseksi kerättiin kultakin koealalta v. 1979 ja v. 1980 syksyllä satunnaisesti eri puiden vihreitä lehtiä, jotka analysoitiin koealoittain yhtenä kokoomanäytteenä. Vuonna 1981 otettiin kasvinäytteet ravinneanalyysiä varten biomassan korjuun yhteydessä. Tällöin kaikki puut mitattiin ja jaettiin pituuden perusteella kuuteen kokoluokkaan. Koealoittain otettiin kustakin kokoluokasta edustava puu, josta erotettiin kentällä runko, lehdet ja oksat ja määritettiin niiden tuorepaino. Kuivapainon ja ravinnepitoisuuksien määrittämistä varten otettiin kaikki lehdet talteen. Käytännön syistä rungosta ja oksista otettiin talteen vain osa. Edustavan näytteen saamiseksi varsi- ja oksanäyte koostui tyvi-, keski- ja kärkiosasta otetuista osanäytteistä. Laboratoriossa erotettiin

runkonäytteistä välittömästi kuori sekä puu ja määritettiin niiden tuorepaino. Kaikkia näytteitä kuivattiin + 60°C:ssa 2 - 3 vrk ja niiden kuiva-aine- ja ravinnepitoisuudet määritettiin (Halonen ja Tulkki 1981). Molybdeeni määritettiin Viljavuuspalvelu Oy:ssä.

Sadeveden mukana maahan tulevien ravinnemäärien selvittämiseksi asetettiin kokeelle kuusi sademittaria (vrt. Päivänen 1974). Kuhunkin sademittariin kertynyt vesimäärä mitattiin erikseen ja yhdistettiin kahdeksi näytteeksi analysointia varten. Vesinäytteitä kerättiin n. 4 kk ajan, ja keruujakson pituus oli noin kuukausi. Muulta ajalta sadehavainnot saatiin Hattula-Leteensuo säähavaintoaseman mittauksista. Sadeveden kasvukauden aikaisten keskimääräisten ravinnepitoisuuksien ja Hattula-Leteensuo säähavaintoaseman sademäärien avulla laskettiin tulokset vuotta kohti.

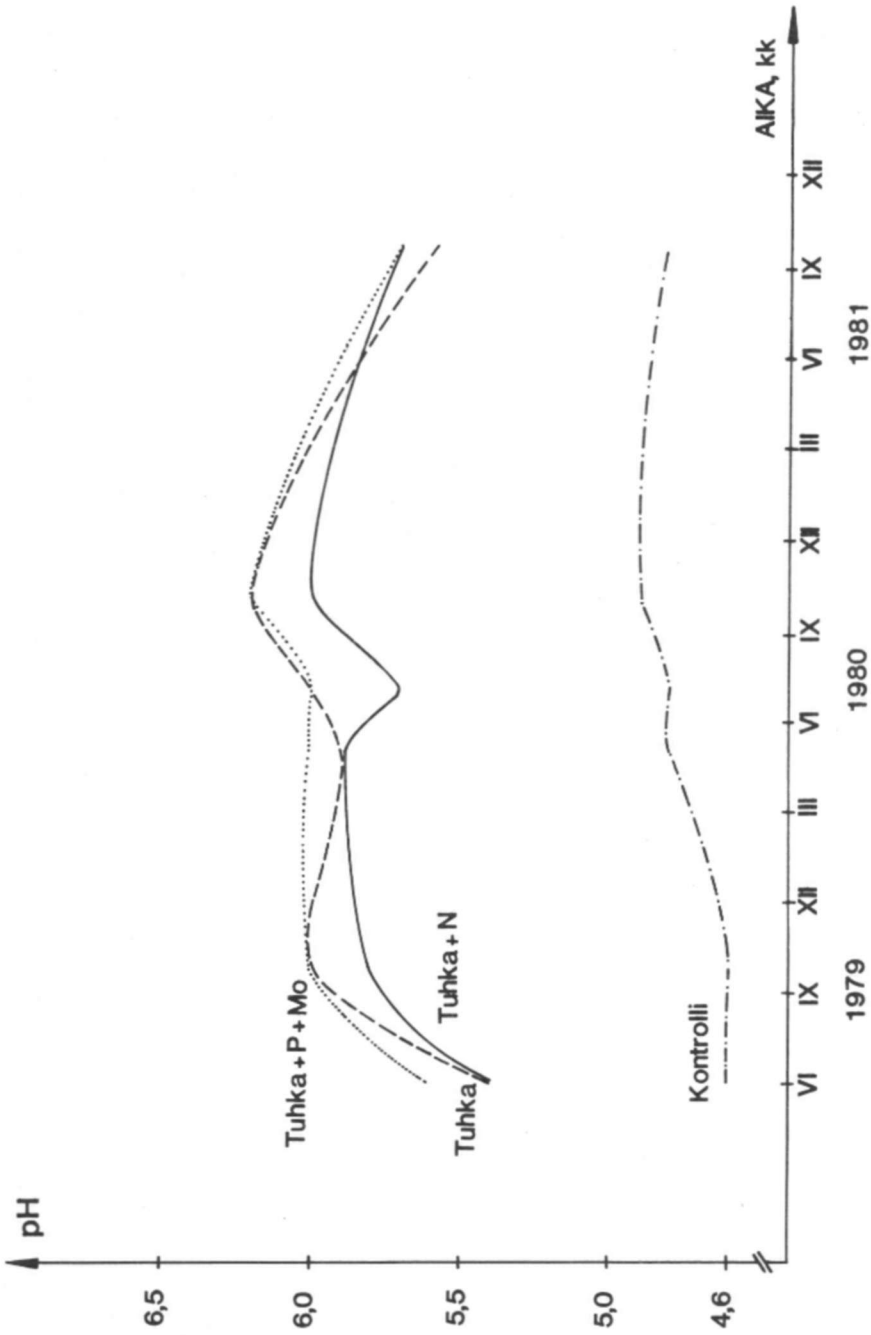
Lysimetreistä valuva vesi johdettiin muoviastioihin. Valuneen veden määrä mitattiin koealoittain ja osa siitä otettiin näytteeksi. Keskimäärin noin kuukauden aikana kerätyt näytteet yhdistettiin koealoittain yhdeksi näytteeksi.

Vesinäytteet säilytettiin 1 %:na etikkahappoliuoksena homeutumisen ehkäisemiseksi. Näytteet konsentroitiin ja neutraloitiin ja niistä määritettiin pääravinnepitoisuudet Halosen ja Tulkin (1981) mukaan.

3. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

31. Kasvualustan pH ja ravinteisuus

Kasvualustan vallitseva maalaji oli karkea hieta (taulukko 1) ja sen pH oli kokeen alussa ennen tuhkanlisäystä keskimäärin n. 5,5, mikä oli noin yhden yksikön verran korkeampi kuin kontrollialojen pH. Tuhkalisäyksen jälkeen peltomaan pH:n kohoaminen jatkui toisen kasvukauden loppuun, mutta kääntyi sen jälkeen laskuun (kuva 2). Lepikkomaa on yleensä suhteellisen happanta. Syy lienee siinä, että nopean hajoitustoiminnan ja nit-



Kuva 2. Maan pH 0 - 20 cm kerroksessa tutkimusjakson aikana.

rifikaation tuloksena happamuus lisääntyy (Franklin ym. 1968). Toisaalta mm. Nykvist (1962) on todennut, että aerobisen hajoitustoiminnan seurauksena lepän karikkeen pH nousee vesiliukoisten ravinteiden huuhtoutuessa alempiin maakerroksiin.

Pinta-alakohtaiset ravinnemäärät laskettiin maan tiheyden perusteella, joka oli peltomaassa $1,22 \text{ g/cm}^3$ ja kontrollialoilla $0,83 \text{ g/cm}^3$. Kontrollialoilla oli enemmän typpeä ja suunnilleen yhtä paljon mangaania kuin muilla koealoilla (taulukko 3). Ennen lepän lehtien varisemista vain pieni osa niiden tyypeistä siirtyy muihin puunosiin. Tästä johtuu, että lehtikarikkeen mukana maahan tulee runsaasti typpeä (Viro 1955, Dawson ja Funk 1981). Maan korkea typpipitoisuus johtuu osaksi myös siitä, että lepän juurista ja hajoavista nystyröistä vapautuu jatkuvasti typpeä maahan (Virtanen 1957). Muita ravinteita kontrollialoilla oli vähemmän kuin muilla koealoilla, joilla puolestaan oli jonkin verran vähemmän ravinteita kuin Suomen pelloilla keskimäärin (Kurki 1977).

Tuhkalisäyksen jälkeen maan kalsium-, kalium-, kupari- ja mangaanipitoisuus kohosi. Kasvualustassa oli jo alunperin vaihtelua, sillä pelkän tuhkalisäyksen saaneilla koealoilla maan ravinnepitoisuudet olivat jo ennen tuhkalisäystä alhaisemmat kuin muilla koealoilla. Maan ravinnepitoisuudet eivät muuttuneet merkittävästi toisen vuoden keväällä annetun lannoituksen jälkeen. Maan kokonaistypen määrä oli jo kokeen alussa suuri, yli 4000 kg/ha , mihin verrattuna 150 kg/ha typpilisäys oli pieni. Tuhkan fosfori kuten ei fosforilannoitukseen näyttänyt vaikuttaneen maan liukoisen fosforin määrään.

C/N-suhdetta käytetään usein maan orgaanisen aineen hajoamistas-teen mittana. Kun suhde on korkea (havumetsäkarikkeessa n. 80), typpi on sitoutunut hajottajaorganismeihin ja humusaineisiin, ja on siten vain niukasti kasvien käytettävissä. Orgaanisen aineen hajoamisen edistyessä C/N-suhde pienenee. Esimerkiksi Black (1968) on esittänyt raja-arvoksi 20, joka on lähellä mikro-organismien omaa C/N-suhdetta. Kun hajottajapopulaation oma tarve on tyydytetty, kasveille käyttökelpoinen NH_4^+ -N va-

Taulukko 3. Maan kokonais-N, liukoinen P, vaihtuva K, Ca, Mg kg/ha sekä 0,02 M EDTA:n liukeneva Cu, Zn ja Mn g/ha tutkimusjakson aikana.

	Käsittely								Erojen merkitsevyys
	Tuhka (1)		Tuhka+N (2)		Tuhka+P+Mo (3)		Kontrolli (4)		
	$\bar{x} \pm s_x^-$	$\bar{x} \pm s_x^-$	$\bar{x} \pm s_x^-$	$\bar{x} \pm s_x^-$	$\bar{x} \pm s_x^-$	$\bar{x} \pm s_x^-$	$\bar{x} \pm s_x^-$	$\bar{x} \pm s_x^-$	
<u>1979</u>									
N	3640	110	4360	190	4480	340	4980	390	1-4*
P	15	4	13	3	14	2	3	0,5	
K	180	20	230	30	230	20	120	20	2-4*, 3-4*
Ca	1110	250	1380	260	1730	110	390	40	2-4*, 3-4*
Mg	210	110	250	120	370	20	50	10	3-4**
Cu	7	2	11	2	12	3	3	0,3	
Zn	5	0,3	8	1	10	2	3	1	1-3*, 2-4*, 3-4*
Mn	60	6	80	16	70	8	80	19	
C/N	14,9		15,7		15,9		12,9		
<u>1980</u>									
N	2960	630	4140	170	4090	310	4720	430	1-4**, 2-4*, 3-4*
P	14	3	15	3	16	2	4	0,2	
K	330	40	490	30	460	30	230	20	1-2*, 2-4*
Ca	1610	470	2180	330	2800	180	400	40	2-4*, 3-4**
Mg	200	70	280	60	400	30	40	4	2-4*, 3-4**
Cu	13	1	18	3	19	4	6	0,2	
Zn	5	1	9	1	10	3	4	1	
Mn	130	30	200	10	190	7	110	20	
<u>1981</u>									
N	3390	140	4250	200	4350	270	5020	220	1-4**
P	17	4	15	4	17	2	4	0,3	
K	250	10	390	60	330	30	190	10	2-4*
Ca	1750	330	2130	320	2480	60	390	50	1-4*, 2-4**, 3-4**
Mg	220	50	260	60	340	30	40	5	2-4*, 3-4**
Cu	14	2	19	3	19	4	6	1	2-4*, 3-4*
Zn	8	2	9	1	9	1	5	1	
Mn	180	40	190	30	230	20	140	20	
C/N	16,3		15,6		16,0		13,5		

pautuu. Tässä tutkimuksessa C/N-suhde oli pienempi kontrollialoilla kuin peltomaassa (taulukko 3).

32. Sadeveden mukana maahan tulleet ja maasta huuhtoutuneet ravinnemäärät

Maasta valuneen veden ravinnepitoisuudet olivat selvästi suuremmat kuin sadeveden. Eri kästtelyjen välillä ei ollut merkittäviä eroja koealoilta valuneen veden ravinnepitoisuuksissa. Ensimmäisenä vuonna typpeä, kalsiumia ja magnesiumia huuhtoutui enemmän kuin niitä sateen mukana tuli maahan (taulukot 4 ja 5).

Vuosina 1980 ja 1981 kaikkia tutkittavia ravinteita huuhtoutui sen sijaan vähemmän kuin niitä sadeveden mukana tuli maahan. Ravinteista huuhtoutui kalsiumia selvästi eniten, fosforia puolestaan vähiten. Tuloksien tarkastelussa on kuitenkin otettava huomioon, että koko vuotta kohti esitetyt huuhtoutuneet ravinnemäärät ovat aliarvioita (vrt. kohta 36.).

Taulukko 4. Sadeveden määrä (mm) sekä sadeveden mukana koealoille tulleiden ravinteiden määrä (kg/ha) tutkimusjakson aikana.

Aika	N	P	K	Ca	Mg	Vesimäärä
1.6.-31.12.79	3.6	0.3	4.3	3.8	0.8	418
1.1.-31.12.80	5.6	0.3	2.9	4.2	0.7	569
1.1.-31.12.81	8.3	0.3	7.7	10.0	1.8	767

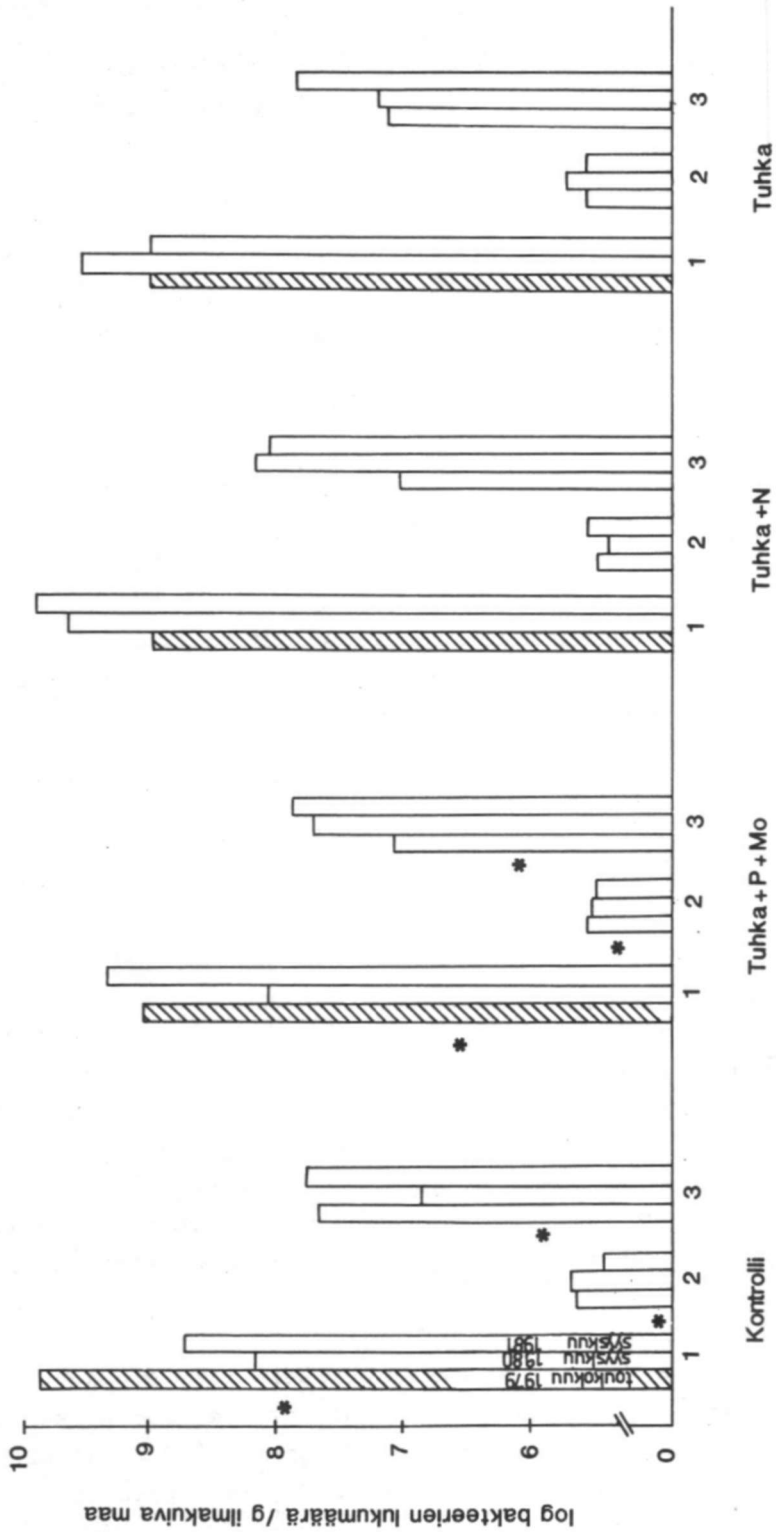
Taulukko 5. Lysimetreistä valuneen veden määrä (mm) ja sen mukana huuhtoutuneiden ravinteiden määrä (kg/ha) tutkimusjakson aikana.

Aika	Käsittely	N	P	K	Ca	Mg	Vesimäärä
1.6.-2.12.79	Tuhka	4.2	1.11×10^{-3}	1.4	5.1	2.0	13
	Tuhka+N	4.4	2.22×10^{-3}	2.1	6.8	2.6	19
	Tuhka+P+Mo	5.1	1.45×10^{-3}	2.0	6.3	2.8	16
	Kontrolli	7.1	2.29×10^{-3}	2.5	7.6	3.3	19
23.5.-28.11.80	Tuhka	0.6	0.14×10^{-3}	0.3	0.9	0.3	3
	Tuhka+N	1.2	0.20×10^{-3}	0.4	1.5	0.5	4
	Tuhka+P+Mo	0.8	0.43×10^{-3}	0.2	1.0	0.4	3
	Kontrolli	0.9	0.11×10^{-3}	0.5	1.6	0.4	2
15.5.-25.11.81	Tuhka	1.2	4.44×10^{-3}	0.9	2.5	1.0	11
	Tuhka+N	1.7	4.57×10^{-3}	1.2	3.3	1.1	15
	Tuhka+P+Mo	0.5	1.00×10^{-3}	0.5	1.5	0.8	7
	Kontrolli	0.6	1.52×10^{-3}	0.6	1.6	0.7	8

33. Kasvualustan mikrobiologiset ominaisuudet

Maan mikrobitoiminta vaihtelee suuresti kasvukauden aikana. Tähän vaikuttavat etenkin ilmastotekijät sekä muutokset populaatiotasolla. Havainnollisuuden vuoksi tulokset on esitetty tässä vaiheessa kolmeen näytteenottokertaan perustuen (kuva 3). Toukokuun 1979 tulokset vastaavat tilannetta ennen koealojen tuhkalannoitusta. Syyskuu 1980 kuvaa tilannetta, jolloin tuhkalannoituksesta ja istutuksesta oli kulunut kaksi kasvukautta sekä typpi-, fosfori, ja molybdeenilannoituksesta yksi kasvukausi. Kuvaan on lisäksi merkitty vastaavien bakteeripopulaatioiden suuruussuhteet kontrollialoille tuodussa 20 vuotiaan lepikon "koskemattomassa" maassa sekä vastaavasti "koskemattomassa" pelto-omaassa.

Kontrollialoilla bakteerien kokonaislukumäärä oli toisena vuonna selvästi pienempi kuin ensimmäisenä vuonna (vertaa "koskematon lepikon maa"). Tämä johtui todennäköisesti näiden koealojen pintakerrosten voimakkaasta käsittelystä kokeen perustamisvai-



Kuva 3. Eräiden bakteeripopulaatioiden koon vertailu keväällä -79 sekä syksyllä -80 ja -81. 1 = bakteerien kokonaislukumäärä, 2 = proteolyyttisten bakteerien määrä ja 3 = ammoniiovien bakteerien määrä. Vastaavien populaatioiden koko koskemattomassa lepikossa ja peltomaassa merkitty tähdellä (*).

heessa. Kolmannen kasvukauden jälkeen maa oli tiivistynyt ja lepikon luontainen aluskasvillisuus oli alkanut kehittyä.

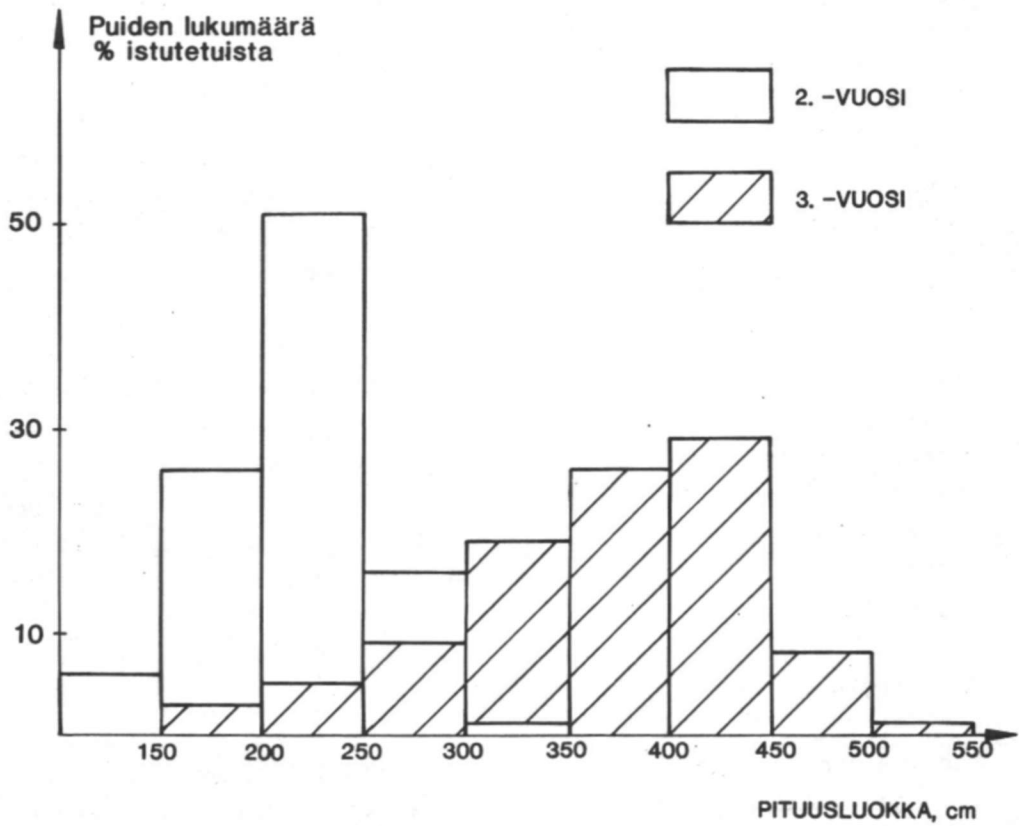
Sädesienten esiintymistä seurattiin käytännön syistä samalla kasvualustalla kuin bakteerien kokonaislukumäärää (maauute, pH 6,8). Tämä alusta ei ole pH:n kannalta paras mahdollinen sädesienille, joiden pH-optimi on yleensä alempi kuin bakteereilla. Kuitenkin voitiin todeta, että kontrollialoilla, joilla pH oli yhden yksikön pienempi kuin muilla koealoilla, sädesieniä oli noin 1.5 kertaa runsaammin kuin kaikilla muilla koealoilla. Kolmen kasvukauden jälkeen tilanne oli edelleen saman suuntainen. Proteolyyttisten ja ammonifioivien bakteeriryhmien määrissä ei esiintynyt eroja kolmen kasvukauden aikana. Toisaalta nämä ryhmät olivat merkittävästi aktivoituneet luonnon tilassa olevaan lepikon maahan verrattuna.

Muilla koealoilla bakteerien kokonaislukumäärä oli selvästi suurempi "koskemattomaan" maahan verrattuna. Lannoitus ja karikkeen kertyminen maan pinnalle eivät suuremmin vaikuttaneet populaatioiden määräsuhteisiin. Vaihtelut proteolyyttisissä bakteeriryhmissä olivat pieniä sekä eri vuosina että eri koealojen välillä.

Typillisäyksen jälkeen ammonifioiva bakteeriryhmä lisääntyi merkittävästi verrattuna vastaavan populaation tasoon "koskemattomassa" peltomaassa. Populaatioiden aktivoituminen oli poikkeuksellisen suuri kokeen perustamisvaiheen jälkeen. Tuhkaa tai tuhkaa sekä fosforia ja molybdeeniä saaneilla koealoilla vaihtelut olivat melko pieniä, joskin populaatioiden kasvusuuntaus oli positiivinen.

34. Lepikon biomassan tuotos

Ensimmäisen kasvukauden jälkeen lepät olivat keskimäärin 60 cm, toisena vuonna 2.2 m ja kolmantena vuonna 3.6 m (taulukko 6, kuva 4). Puiden pituuksissa ei ollut merkittäviä eroja eri käsittelyjen välillä. Kuolleisuus oli sekä toisena että kolmantena vuonna keskimäärin n. 2,5 %.



Kuva 4. Puiden jakautuminen pituusluokkiin kahden ja kolmen vuoden kuluttua.

Taulukko 6. Leppien pituus 1-, 2- ja 3-vuoden kuluttua istutuksesta.

Käsittely	Pituus, cm					
	1979		1980		1981	
	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$
Tuhka	61	2	213	4	354	2
Tuhka+N	62	1	216	4	355	5
Tuhka+P+Mo	60	3	217	4	363	2
Kontrolli	65	1	213	6	368	5

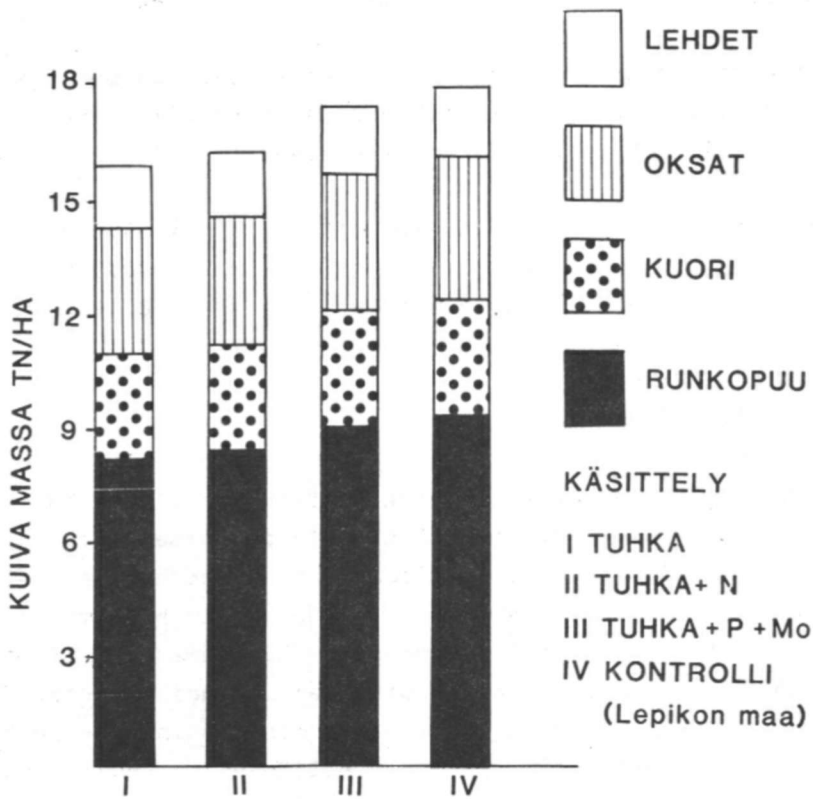
Biomassan tuotos määritettiin ensimmäisen kerran kolmen kasvu-kauden jälkeen. Puun eri osien biomassa laskettiin pituuden ja kuivapainon välisenä riippuvuutena seuraavasti:

$$\begin{aligned}
 \text{Runkopuu: } \log y &= -2,83 + 0,78 (\log h)^2 & R^2 &= 89,9 \% \\
 \text{Oksat: } \log y &= -3,43 + 0,81 \log h^2 & R^2 &= 73,9 \% \\
 \text{Kuori: } \log y &= -1,41 + 0,50 \log h^2 & R^2 &= 82,2 \% \\
 \text{Lehdet: } \log y &= -4,48 + 0,92 \log h^2 & R^2 &= 77,7 \%
 \end{aligned}$$

missä h = pituus
 y = kuivamassa

Biomassamäärissä ei eri käsittelyjen välillä voitu havaita merkitseviä eroja kahden vuoden kuluttua lannoituksesta (kuva 5). Kontrollialojen biomassa oli keskimäärin n. 18 tn/ha ja pelkän tuhkalannoituksen saaneilla koealoilla n. 16 tn/ha. Typpilannoituksen saaneilla koealoilla biomassaa oli hieman yli 16 tn/ha sekä fosfori- ja molybdeenilannoituksen saaneilla koealoilla n. 17,5 tn/ha. Rungon osuus biomassasta oli keskimäärin 70 % ja kuoren osuus rungosta puolestaan noin neljännes. Lehtien osuus latvustosta oli keskimäärin kolmannes ja kokonaisbiomassasta 10 %. Oksien osuus kokonaisbiomassasta oli 20 %. Saadut tulokset lepän biomassan jakautumisesta puun eri osien kesken ovat yhtäläiset DeBellin (1972), Simolan (1977) sekä Wittwerin ja Immelin (1978) tulosten kanssa.

Leppää on pidetty Suomessa tähän asti pääasiassa hukkapuuna eikä sen biomassatuotosta ole tutkittu juuri lainkaan. Kuitenkin



Kuva 5. Puuston kuiva-aineen tuotos tn/ha kolmen kasvukauden jälkeen istutuksesta.

Miettinen jo vuonna 1933 ja Karsisto vuonna 1980 esittivät, että leppälehden biomassan kasvu on nuorena suurempi kuin koivun ja haavan. Kahden 35 vuotiaan leppälehden perusteella suoritetun tutkimuksen mukaan maapäällisten osien biomassassa oli lehtomaisessa leppälehden n. 80 tn/ha ja käenkaali-mustikkatyypin leppälehden n. 40 tn/ha (Mälkönen ja Saarsalmi, käsikirjoitus). Edellisessä rungon osuus oli 83 % ja jälkimmäisessä 74 % biomassasta.

Tiheissä luonnontilaisissa 3 - 4 v punaleppälehdissä Yhdysvaltain länsiosassa puuston vuotuinen biomassatuotos oli 3,8 - 11,5 tn/ha/v (Smith & DeBell 1974, DeBell 1975). Vertailussa on kuitenkin otettava huomioon toisaalta poikkeavat kasvulosuhteet ja eri leppälaji sekä toisaalta runkoluku, joka oli 2 - 3 kertainen harmaaleppälehteen nähden. Tervalehden maapäällisten osien biomassassa Yhdysvaltojen keskiosassa (Kentucky) oli neljän kasvukauden jälkeen 28,5 tn/ha (Wittwer ja Immel 1978). Istutustiheys oli 0,9 x 0,6 m ja taimet istutettaessa 1-vuotiaita.

Iän mukana leppälehden biomassatuotos kasvaa huomattavasti. Siten suotuisissa maaperä- ja ilmasto-olosuhteissa Länsi-Oregonissa, Yhdysvalloissa, punalehden maapäällisten osien biomassatuotos oli suurimmillaan 10 - 15 v ikäisessä puustossa, jolloin se oli keskimäärin 26 tn/ha/v ja saavutti maksiminsa 240 tn/ha 33-vuotiaana (Zavitkovski & Stevens 1972). Englannissa, missä harmaaleppä esiintyy luontaisesti, erään 22 v harmaalehden biomassan määrä metsikössä oli 125 tn/ha (Ovington 1956).

35. Puustoon sitoutuneet ravinteet

Puiden ravinnetilaa seurattiin kahtena ensimmäisenä vuonna lehtianalyysin avulla. Ensimmäisen vuoden tuloksissa kiinnittää huomiota kontrollialojen lehtien korkea mangaanipitoisuus, joka oli jopa yli 2 - 4 kertaa niin suuri kuin muilla koealoilla (liite 2). Tämä johtunee siitä, että leppälehden happamassa maassa mangaani on helppoliukoisessa muodossa ja sitä kulkeutuu runsaasti puun eri osiin (Wittwer & Immel 1978). Sitä vastoin lehtien typpi-, fosfori-, kalium-, magnesium- ja booripitoisuus oli

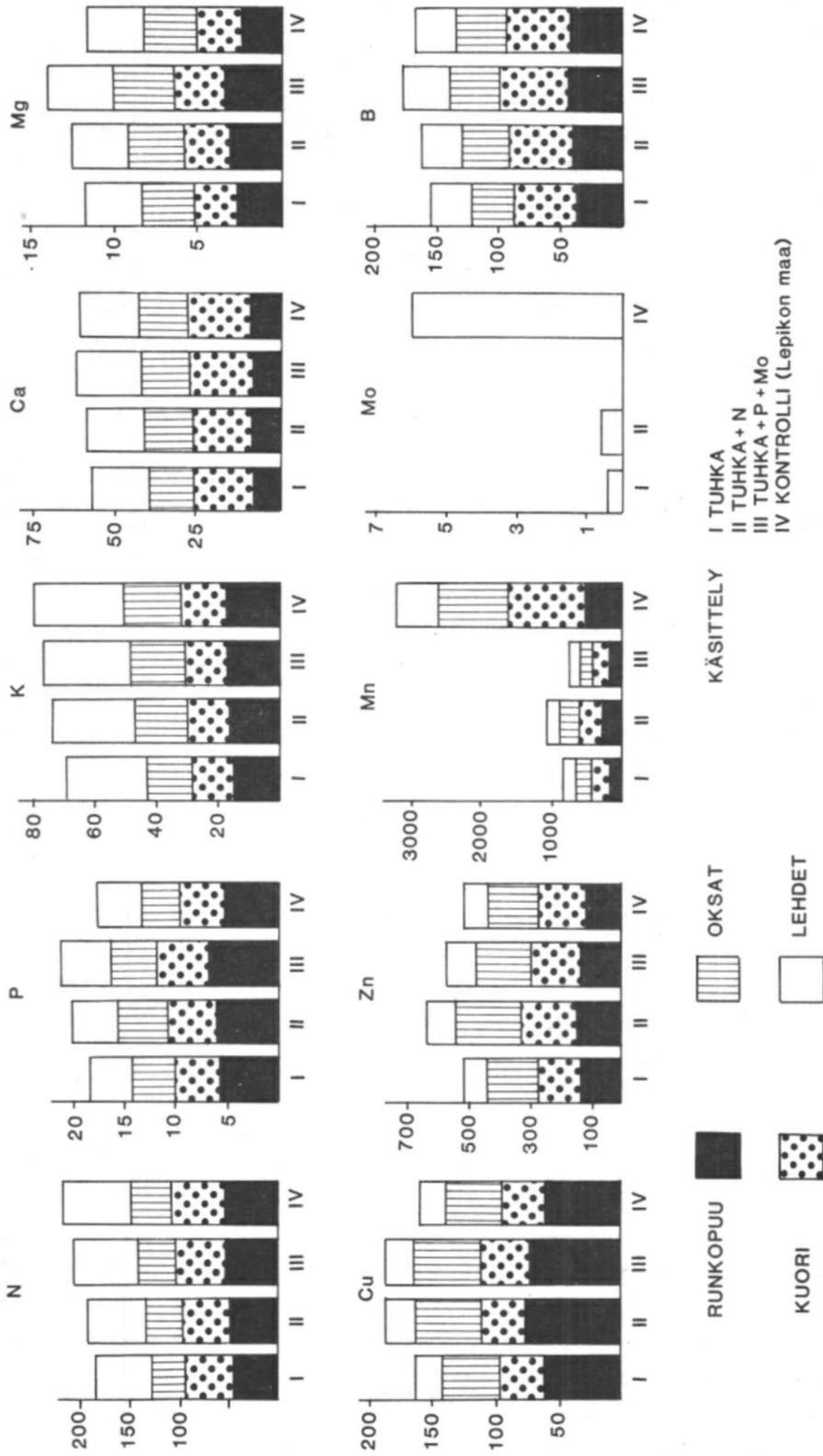
kontrollialoilla ensimmäisenä vuonna selvästi pienempi kuin muilla koealoilla.

Lehtien kuparipitoisuus oli toisena vuonna noin kaksinkertainen ensimmäiseen vuoteen nähden (liite 2). Tuhkalisäyksen jälkeen maan kohonnut kaliumpitoisuus ilmeni myös lehtien kaliumpitoisuuden kohoamisena toisena vuonna (liite 2). Lehtien kaliumpitoisuus oli tällöin lähes 1,5 kertaa niin suuri kuin ensimmäisenä vuonna. Sen sijaan, vaikka maan kalsiumpitoisuus tuhkalisäyksen jälkeen kohosi, se ei näkynyt lehtien kohonneena kalsiumpitoisuutena. Lehtien mangaanipitoisuus oli ensimmäiseen vuoteen verrattuna pienentynyt, kontrollialoilla ei kuitenkaan yhtä paljon kuin muilla koealoilla. Lehtien molybdeenipitoisuus oli korkein koealoilla, jotka olivat saaneet molybdeenilannoituksen. Muiden ravinteiden osalta ei sen sijaan toisena vuonna ilmennyt eroja eri lannoituskäsittelyjen välillä.

Kolmannen vuoden syyskuussa määritettiin koealoittain kuuden koepuun lehtien, runkopuun, kuoren ja oksien ravinnepitoisuudet (liite 3). Kontrollialoilla mangaanipitoisuus oli kaikissa puunosissa merkitsevästi korkeampi, fosforipitoisuus puolestaan matalampi, kuin muilla koealoilla. Eri lannoituskäsittelyjen saaneiden puiden ravinnepitoisuudet erosivat merkitsevästi toisistaan ainoastaan molybdeenin suhteen; molybdeenilannoituksen saaneilla koealoilla lehtien molybdeenipitoisuus oli merkitsevästi korkeampi kuin muilla koealoilla.

Harmaalepän eri puunosien ravinnepitoisuuksista on Suomessa hyvin vähän tutkimuksia ja silloinkin ne koskevat lähinnä lehtien pääravinnepitoisuuksia (Viro 1955, 10 - 30 v harmaalepikko, Mustanoja 1966, 7 ja 20 v harmaalepikko).

Puustoon sitoutuneiden ravinteiden määrä laskettiin puun eri osien biomassamäärien ja ravinnepitoisuuksien avulla (kuva 6). Kutakin pääravinnetta sitoutui lehtiin keskimäärin 30 % puuston pääravinteiden kokonaismäärästä. Tämä on merkittävää sikäli, että lehtien osuus kokonaisbiomassasta oli vain n. 10 %. Fosforia lukuunottamatta pääravinteita sitoutui lehtiin enemmän



Kuva 6. Puustoon sitoutuneiden ravinteiden määrä kg/ha (N, P, K, Cu, Mg, Zn) ja g/ha (Cu, Zn, Mn, B, Mo) kolmen kasvukauden jälkeen.

kuin muihin puunosiin. Hivenravinteiden osalta tilanne oli päinvastainen; keskimäärin vain n. 15 % kustakin hivenravinteesta sitoutui lehtiin .

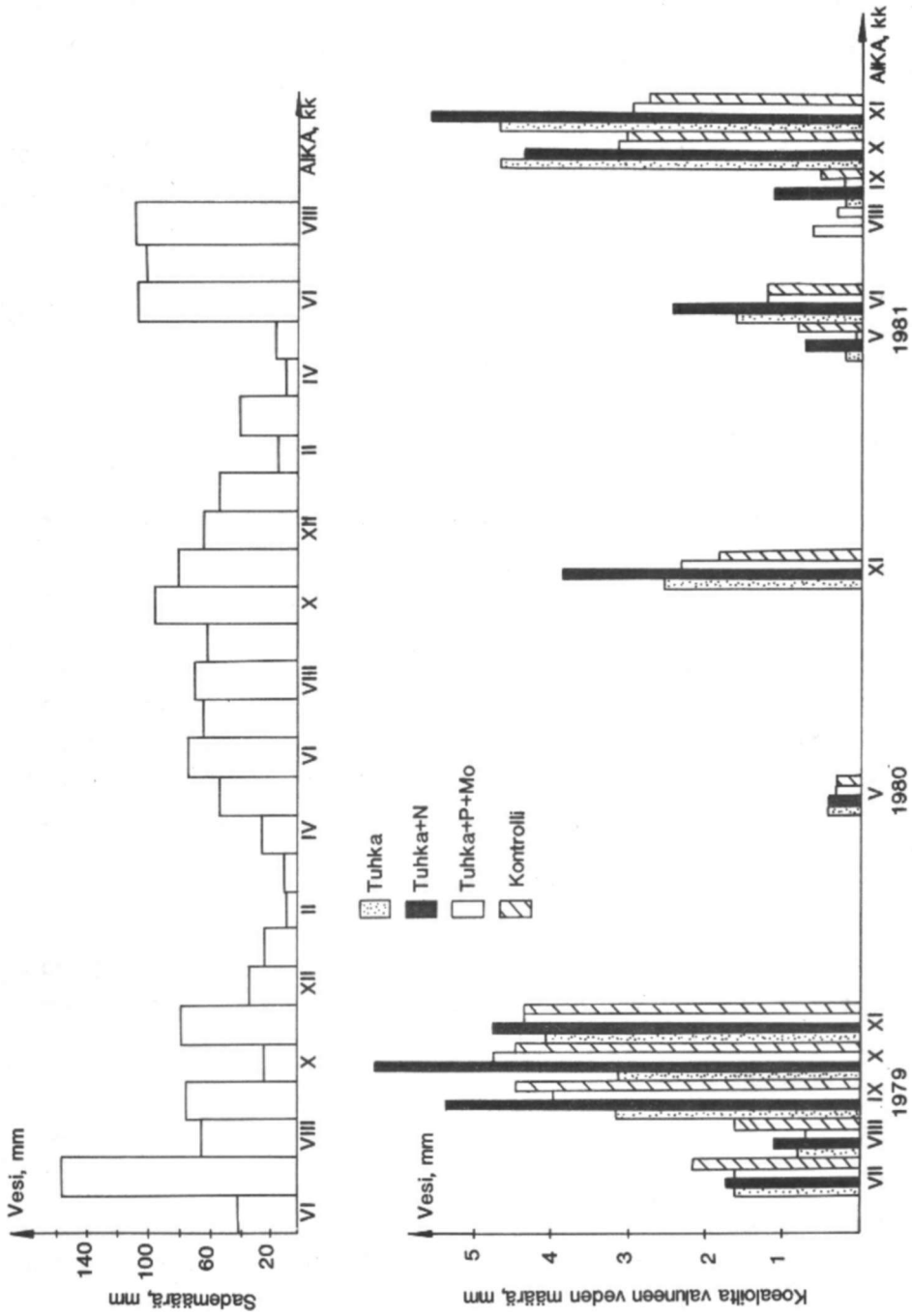
Oksiin, joiden osuus biomassasta oli n. 20 %, sitoutui kutakin pääravinnetta keskimäärin n. 20 % . Kustakin hivenaineesta sitoutui sen sijaan lähes 35 % oksiin . Sinkistä sitoutui suhteellisesti suurin osa oksiin, tyydestä sen sijaan suhteellisesti vain vähän.

Runkopuun matalista ravinnepitoisuuksista johtuen siihen sitoutuneiden ravinteiden suhteellinen osuus koko biomassaan sitoutuneista ravinteista oli selvästi pienempi kuin runkopuun osuus koko biomassasta. Kuparista ja fosforista sitoutui suhteellisesti suurin osa runkopuuhun, kalsiumista sen sijaan vain vähän. Mangaania sitoutui runkopuuhun suhteellisesti enemmän kontrollialoilla kuin muilla koealoilla. Kuoreen oli sitoutunut suunnilleen saman verran ravinteita kuin runkopuuhun. Kalsiumista ja mangaanista suurin osa sitoutui kuoreen.

36. Lepän veden kulutus

Lepän veden kulutuksen selvittämiseksi sadeveden määrää verrattiin lysimetreistä valuneen veden määrään. Ensimmäisenä vuonna pienet lepän taimet eivät käyttäneet kasvukauden aikana kaikkea koealoille tullutta vettä, ja ylimääräinen vesi valui lysimetreistä pois (kuva 7). Kasvukauden päätyttyä lysimetreistä valuvan veden määrä lisääntyi.

Vuosina 1980 ja 1981 veden valuminen lysimetreistä alkoi jo huhtikuun lopussa. Kaivot, joihin keruuastiat piti sjoittaa, olivat tällöin vielä lumen peitossa. Lisäksi kaivojen pohjat olivat jäässä ja niihin valui sulamisvettä myös kokeen ulkopuolelta. Kaivojen pohjalla oli jopa n. 0,5 m vettä. Veden mitaus ja näytteiden keruu päästiin tästä syystä aloittamaan vasta toukokuun puolivälin jälkeen. Kasvukauden päätyttyä veden valuminen oli ensimmäisen vuoden tavoin siksi runsasta, ettei kaikkea koealoilta valunutta vettä voitu mitata. Koko vuotta



Kuva 7. Sadeveden ja koaloilta valuneen veden määrä mm tutkimusjakson aikana

koskevat tulokset ovat tästä syystä aliarvioita.

Vuonna 1980 ei kasvukauden aikana valunut vettä lainkaan (kuva 7). Lysimetreistä alkoi valua vettä vasta marraskuussa ja sitä jatkui parin viikon ajan pakkasten ja lumen tuloon asti.

Vuoden 1981 kesä oli runsassateinen. Kesäkuussa satoi kolme kertaa, heinä- ja elokuussa miltei kaksi kertaa niin paljon kuin normaalisti (liite 1). Kesäkuussa osa vedestä jäi käyttämättä, heinäkuussa kasvit sen sijaan käyttivät kaiken koealoille tulleen veden. Vettä valui runsassateisen kesän johdosta jonkin verran jo elo- syyskuussa. Pääasiallisesti veden valuminen lysimetreistä alkoi uudelleen lokakuun puolivälissä ja jatkui marraskuun loppuun.

4. JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Fosforin ja molybdeenin merkitystä typensidontaprosessissa on useissa yhteyksissä korostettu (Quispel 1958, Becking 1961, Sprent 1979). Kun lepille oli annettu tuhkan lisäksi fosforia ja molybdeeniä tuotos oli n. 17 tn/ha. Se oli suurempi, tosin ei merkittävästi, kuin ainoastaan tuhkaa tai tuhkan lisäksi tyypeä saaneilla koealoilla. Todennäköisesti tyyppi ei vielä ollut rajoittavana tekijänä kasvustossa. Mahdollista on, että tyyppilisäyksen johdosta puiden typen sidonta oli näillä koealoilla heikentynyt ja puu joutui ottamaan valtaosan tarvitsemastaan tyypestä maasta (vrt. Stewart & Bond 1961, Ingestad 1980, Huss-Danell 1980).

Kolmen vuoden aikana kaikille koealoille, erityisesti kontrollialoille, oli kehittynyt melko runsaasti aluskasvillisuutta. Niinikään maahan oli tullut lehti- ja oksakariketta. Tämä merkinnee myöskin hajoitustoiminnan vilkastumista ja ravinteiden mineralisointia. Black'n (1968) mukaan kun C/N-suhde on 15 - 33, olosuhteet ovat typen mineralisoitumiselle suotuisat. Kaikilla koealoilla C/N-suhde oli hyvä ollen paras tuhkan lisäksi tyypeä saaneilla koealoilla ja kontrollialoilla. Tähän viittaa myöskin tuhkaa ja tyypeä saaneiden koealojen runsaslu-

kuinen ja todennäköisesti myös aktiivinen ammonifioiva bakteeripopulaatio. Sädesieniä, joiden fysiologinen esiintymisalue on laaja, oli runsaimmin kontrollialojen happamammassa maassa. Karikerroksen kehittyessä on hyvin todennäköistä, että myös muilla koaloilla tapahtuu sädesienien sekä primäärihajottajiin lukeutuvien sieniryhmien lukumäärissä merkittäviä muutoksia.

Tuhkanlisäys kohotti maan kalsium-, kalium-, kupari- ja mangaanipitoisuutta. Typpi- ja fosforilannoituksen vaikutusta ei voitu todeta maan kohonneena kokonaistyyppi- ja liukoisen fosforin pitoisuutena.

Kontrollialoilla kasvien mangaanipitoisuus oli merkittävästi korkeampi kuin muilla koaloilla. Lepikon happamassa maassa mangaania helppoliukoisena kulkeutuu runsaasti kasviin (Wittwer ja Immel 1978). Kuitenkaan maanäytteidien uutossa käytetty menetelmä ei paljastanut eroja kontrolli- ja muiden koalojen mangaanipitoisuuksissa.

Eri lannoituskäsittelyjen saaneiden puiden ravinnepitoisuudet erosivat ainoastaan molybdeenin suhteen: molybdeenilannoituksen saaneilla koaloilla lehtien molybdeenipitoisuus oli merkittävästi suurempi kuin muilla koaloilla.

Lehtien osuus kokonaisbiomassasta oli pieni, mutta niihin oli sitoutunut fosforia lukuunottamatta enemmän pääravinteita mutta vähemmän hivenravinteita kuin muihin puunosiin. Lepän lehtien korkeaan typpipitoisuuteen perustuu, suurelta osin, useassa yhteydessä todettu lepän maata parantava vaikutus (vrt. mm. Viro 1955, Virtanen 1957, Mikola 1958 ja 1966).

Ravinteiden huuhtoutumista tapahtui pääasiassa huhti-toukokuussa sekä loka-marraskuussa. Tällöin veden mittaamiseen liittyi vaikeuksia. Lumen ja jään sekä kaivojen pohjalle valuneen veden johdosta veden keruuta ei voitu ennen toukokuun puoliväliä aloittaa. Niinikään loka- marraskuussa veden valuminen oli niin runsasta, että kaikkea koaloilta valunutta vettä ei voitu mitata, joten tältä osin tulokset ovat aliarvioita. Kasvukauden

aikana kasvusto käytti lähes kaiken koelohjalle tulleen veden. Toisena ja kolmantena vuonna istutuksen jälkeen kaikkia tutkittavia ravinteita huuhtoutui vähemmän kuin niitä sadeveden mukana tuli maahan. Sateen mukana koelohjalle tulleet ravinmäärät olivat pieniä lannoitukseen verrattuna.

Biologisen typensidontakykynsä ja tuhkalannoituksen turvin leppä tuotti nopeasti ja runsaasti biomassaa. Kesän aikana leppä käyttivät lähes kaiken saamansa veden. Ilmeistä on, että kastellulla biomassatuotosta olisi vielä voitu kohottaa. Biologisilta ominaisuuksiltaan peltomaan oli kolmen vuoden aikana muuttunut. Yhdessä lannoituksen kanssa leppä ominaisuus maata parantavana puulajina voitiin todeta peltomaan huomattavasti vilkastuneena biologisena toimintana. On myöskin odotettavissa, että koelohjien pH aikaa myöten laskee karikkeen kertyessä ja leppäille ominaisen humuskerroksen kehittyessä. Tällöin mm. tehokkaisuus hajottajiin kuuluvien sädesienien osuus lisääntyy mikrobipopulaatiossa. Tällainen suuntaus oli näkyvässä kolmannen kasvukauden päättyessä.

Tässä tutkimuksessa saadut tulokset viittaavat siihen, että leppä menestyisi tietyin lannoitustoimenpitein myöskin vähätyppisillä kasvupaikoilla, mikäli kasvupaikan vesitalous on kunnossa. Nisäkkäiden ja hyönteisten aiheuttamia tuhoja ei todettu, eikä niitä todennäköisesti ole syytä pelätä leppäviljelyssä. Leppä kasvatukselta energiapuuksi on siten syytä harkita vaihtoehtona muiden lehtipuujen kasvatukselle.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- AHLEN, I. 1975. Hjortdjurens vinterbiotoper i relation till markanvändning i Skandinavien. *Viltrevy* 9(3):45-192.
- BECKING, J. H. 1961. A requirement of molybdenum for the symbiotic nitrogen fixation in alder (*Alnus glutinosa* Gaertn). *Plant and Soil* 15:217-227.
- BLACK, C. A. 1968. *Soil-Plant Relationships* (2nd ed). John Wiley, London.
- DAWSON, J. O. & FUNK, D. T. 1981. Seasonal changes in foliar nitrogen concentration of *Alnus glutinosa*. *Forest Science* 27(2) 239-243.
- DeBell, D. S. 1972. Potential productivity of dense young thickets of red alder. *Forestry Res. Note, Crown Zellerbach* N:o 2, 1972. 7 p. Engl. *FA* 35:17-283.
- DeBell, D. S. 1975. Short rotation culture of hardwoods in the Pacific Northwest. *Iowa State Journal Research* 49:345-352.
- DeBell, D. S. & RADWAN, M. A. 1979. Growth and nitrogen relations of coppiced beech cottonwood and red alder in pure and mixed plantations. *Bot. Gaz.* 140(Suppl.):97-101.
- FRANKLIN, J. F., DYRNESS, C. T., MOORE, D. G. and TARRANT, R. F. 1968. Chemical soil properties under coastal Oregon stands of alder and conifers. In "Biology of Alder" (Eds. J. M. Trappe, J. F. Franklin, R. F. Tarrant & G. M. Hansen). U.S.D.A. Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Exp. Stn. Portland ss. 157-172.
- HALONEN, O. & TULKKI, H. 1981. Ravinneanalyysien työohjeet. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 36.
- HUSS-DANELL, K. 1980. Nitrogen fixation and biomass production in clones of *Alnus incana*. *New Phytologist* 85:503-511.
- INGESTAD, T. 1980. Growth, nutrition and nitrogen fixation in grey alder at varied rate of nitrogen addition. *Physiologia Plantarum* 50:353-364.
- JOHNSRUD, S. C. 1978. Nitrogen fixation by root nodules of *Alnus incana* in a Norwegian forest ecosystem. *Oikos* .30(3):475-479.
- KALELA, E. K. 1937. Tutkimuksia Itä-Suomen kuusi-harmaaleppäse-kametsiköiden kehityksestä. *Acta For. Fenn.* 44:1-179.

- KARSISTO, K. 1980. Vesametsän kasvat. Työteho-seuran metsätiedotus (2) 325.
- KURKI, M. 1977. Suomen peltojen viljavuuden kehityksestä. Moniste. Viljavuuspalvelu Oy.
- LAKANEN, E. & ERVIÖ, P. 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. Acta Agr. Fenn. 128:223-232.
- LJUNGER, Å. 1959. Al och alförädling. Skogen 5:115-117.
- LÖYTTYNIEMI, K. & ROUSI, M. 1979. Lehtipuutaimistojen hyönteistuhousta. Summary: On insect damage in young deciduous stands. Folia For. 384:1-12.
- MIETTINEN, L. 1932. Tutkimuksia harmaalepikoiden kasvusta. Commun. Inst. For. Fenn. 18:1-100.
- MIKOLA, P. 1958. Liberation of nitrogen from alder leaf litter. Acta For. Fenn. 67:1-10.
- MIKOLA, P. 1966. The value of alder in adding nitrogen in forest soils. Final report of research conducted under grant authorized by U.S. Public Law 480. (Dep. Silvicult. Univ. Helsinki, Finland).
- MUSTANOJA ks. Mikola 1966
- MÄLKÖNEN, E. & SAARSALMI, A. Vuotuinen biomassatuotos ja ravinteiden kierto harmaalepikossa. Käsikirjoitus.
- NYKVIST, N. 1962. Leaching and decomposition of litter V. Experiments on leaf litter of *Alnus glutinosa*, *Fagus sylvatica* and *Quercus robur*. Oikos 13:232-148.
- OVINGTON, J. D. 1956. The form, weights and productivity of tree species grown in close stands. New Phytol. 55:289-304.
- PÄIVÄNEN, J. 1974. Nutrient removal from Scots pine canopy on drained peatland by rain. Acta For. Fenn. 139.
- QUISPEL, A. 1958. Symbiotic nitrogen fixation in non-leguminous plants. IV. The influence of some environmental conditions on different phases of the nodulation process in *Alnus glutinosa*. Acta Bot. Neerl. 7.
- SCHALIN, I. 1966. *Alnus incana* (L.) Moench in forestry practice. Metsä ja Puu 9:362-366.
- SIMOLA, P. 1977. Pienikokoisen lehtipuuston biomassa. Summary: The biomass of small-sized hardwood trees. Folia For. 302:1-16.

- SMITH, J. H. G. & DeBell, D. S. 1974. Some effects of stand density on biomass of red alder. *Can. J. For. Res.* 4(3):335-340
- SPRENT, J. I. 1979. *The Biology of Nitrogen-fixing Organisms.* McGraw-Hill Comp., London.
- STEWART, W. D. P. & BOND, G. 1961. The effect of ammonium nitrogen on fixation of elemental nitrogen in *Alnus* and *Myrica*. *Plant and Soil* 14:347-359.
- TALLANTIRE, P. A. 1974. The paleohistory of the grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) and black alder (*A. glutinosa* (L.) Gaertn.) in Fennoscandia. *New Phytologist* 73:529-546.
- TARRANT, R. F. 1961. Stand development and soil fertility in a Douglas-fir-red alder plantation. *Forest Sci.* 7(3):238-246.
- TARRANT, R. F. & TRAPPE, J. H. 1971. The role of *Alnus* in improving the forest environment. *Plant and Soil, Spec. vol.* 335-348.
- TEIVAINEN, T. 1978. Eräiden poppelikloonien myyrätuhoalttius ruokintakokeiden mukaan. Abstract: Resistance of some poplar clones to mole damage through feeding experiments. *Folia For.* 339:1-12.
- TEIVAINEN, T. 1979. Eräiden viljeltyjen pajujen kelpaavuus peltomyyrälle (*Microstus agrestis* L.) ruokintakokeiden mukaan. *Folia For.* 415:1-7.
- VIRO, P. J. 1955. Investigations on forest litter. *Seloste: Metsäkariketutkimuksia. Commun. Inst. For. Fenn.* 45(6):1-65.
- VIRTANEN, A. I. 1957. Investigations on nitrogen fixation by the alder. II. Associated culture of spruce and inoculated alder without combined nitrogen. *Physiologia Plantarum* 10:164-169.
- WITTWER, R. F. & IMMEL, M. J. 1978. A comparison of five tree species for intensive fiber production. *For. Ecol. Manage.* 1, 249-253.
- VOSS-LAGERLUND, K. 1976. Effects of soil preparation on the bacterial population in forest soil. *Commun. Inst. For. Fenn.* 86.7:1-36.
- ZAVITKOVSKI, J. and STEVENS, R. D. 1972. Primary productivity of red alder ecosystems. *Ecology* 53(2):235-242.

Liite 1. Kasvukauden kuukausittaiset keskilämpötilat, sademäärät sekä lämpösummat tutkimusjakson aikana.

Kuukausi	Keskilämpötilat °C			Pitkän jakson keskiarvo \bar{x} (1931 - 1960)
	1979	1980	1981	
V		7,4	11,8	9,2
VI	16,0	16,9	13,4	14,2
VII	14,7	16,7	16,8	16,9
VIII	15,8	14,4	13,8	14,9
IX	9,3	10,6	9,9	10,0
X	3,6	4,6	5,8	4,3

Kuukausi	Sademäärä mm			Pitkän jakson keskiarvo \bar{x} (1931 - 1960)
	1979	1980	1981	
V		32	14	40
VI	21	70	107	46
VII	150	28	125	70
VIII	57	80	125	72
IX	54	44	27	53
X	20	110	105	49

Kasvukauden lämpösummat d.d

1979	1287
1980	1363
1981	1327

Liite 2. Lehtien keskimääräiset ravinnepitoisuudet % (N, P, K, Ca, Mg) ja ppm (Cu, Zn, Mn, B ja Mo) kuiva-aineesta toisena ja kolmantena vuonna.

Ravinne	Tuhka (1)		Tuhka+N (2)		Tuhka+P+Mo (3)		Kontrolli (4)		Merkittävät erot
	$\bar{x} \pm s$	\bar{x}	$\bar{x} \pm s$	\bar{x}	$\bar{x} \pm s$	\bar{x}	$\bar{x} \pm s$	\bar{x}	
1979									
N	3,89	0,13	3,84	0,06	3,90	0,05	3,44	0,11	N: 1-4**, 3-4**
P	0,24	0,003	0,24	0,003	0,25	0,01	0,18	0,003	P: 1-4**, 2-4***, 3-4***
K	0,95	0,01	0,97	0,04	0,95	0,03	0,95	0,02	
Ca	1,32	0,02	1,25	0,02	1,34	0,10	0,94	0,01	Ca: 1-4***, 2-4**, 3-4***
Mg	0,25	0,01	0,24	0,02	0,29	0,02	0,17	0,01	Mg: 1-4**, 3-4***
Cu	8,0	0,4	9,0	0,3	8,9	0,5	8,5	0,1	
Zn	40,2	0,6	42,2	2,7	42,3	2,2	44,7	0,7	
Mn	294,1	33,9	258,7	23,5	274,6	30,3	628,5	35,5	Mn: 1-4***, 2-4***, 3-4***
B	18,0	0,7	18,3	1,0	17,8	0,8	14,7	0,6	B: 1-4**, 3-4**
1980									
N	3,70	0,07	3,80	0,10	3,81	0,02	3,85	0,06	
P	0,23	0,003	0,25	0,013	0,24	0,004	0,22	0,005	
K	1,26	0,05	1,36	0,03	1,34	0,05	1,11	0,04	
Ca	1,20	0,12	1,13	0,04	0,87	0,21	1,09	0,02	
Mg	0,25	0,03	0,23	0,02	0,26	0,01	0,20	0,02	
Cu	18,3	3,2	15,4	0,1	15,3	2,3	15,6	0,7	
Zn	50,8	2,2	69,3	10,5	49,8	3,2	50,1	4,8	
Mn	119,0	11,1	132,0	49,5	109,0	13,9	406,3	47,3	Mn: 1-4***, 2-4***, 3-4***
B	19,0	1,8	17,8	1,1	19,8	1,7	17,0	1,0	
Mo	0,0		0,0		0,5	0,1	0,0		Mo: 1-3***, 2-3***, 3-4***

Liite 3. Puun eri osien keskimääräiset ravinnepitoisuudet % (N, P, K, Ca, Mg) ja ppm (Cu, Zn, Mn, B, Mo) kuiva-aineesta kolmantena vuonna. Selitykset: 1 = tuhka, 2 = tuhka + N, 3 = tuhka+P+Mo, 4 = kontrolli.

Ravinne	Runkopuu (Rp)	Kuori (K)	Oksat (O)	Lehdet (L)	Merkitsevät erot
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	
N	1 0,54 0,01	1,70 0,03	1,00 0,03	3,59 0,06	
	2 0,56 0,03	1,66 0,02	1,08 0,02	3,60 0,04	
	3 0,56 0,02	1,66 0,02	1,03 0,02	3,55 0,05	
	4 0,55 0,02	1,74 0,04	1,08 0,03	3,74 0,06	L 3-4*
P	1 0,069 0,003	0,16 0,01	0,13 0,01	0,27 0,01	RP 3-4*
	2 0,073 0,005	0,17 0,01	0,15 0,01	0,28 0,01	
	3 0,074 0,005	0,17 0,01	0,13 0,01	0,29 0,02	O 2-4**
	4 0,057 0,004	0,15 0,01	0,10 0,01	0,24 0,01	L 3-4*
K	1 0,18 0,01	0,47 0,02	0,45 0,02	1,60 0,05	
	2 0,20 0,01	0,48 0,02	0,49 0,04	1,58 0,05	
	3 0,19 0,01	0,47 0,02	0,46 0,04	1,57 0,06	
	4 0,19 0,01	0,48 0,03	0,49 0,04	1,57 0,07	
Ca	1 0,10 0,01	0,65 0,02	0,40 0,01	1,10 0,05	
	2 0,10 0,01	0,65 0,04	0,43 0,02	1,08 0,04	
	3 0,09 0,01	0,64 0,03	0,39 0,02	1,10 0,04	
	4 0,10 0,01	0,63 0,03	0,40 0,02	0,98 0,05	
Mg	1 0,031 0,013	0,09 0,01	0,09 0,01	0,22 0,01	Rp 2-4*, 3-4**
	2 0,036 0,003	0,10 0,01	0,10 0,01	0,20 0,01	
	3 0,036 0,002	0,10 0,01	0,10 0,01	0,23 0,01	
	4 0,026 0,002	0,09 0,01	0,09 0,01	0,19 0,01	L 3-4*

Mn	1	20,3	5,9	95,8	11,5	64,4	5,2	88,7	4,6	Rp	1-4**, 3-4*
	2	30,7	5,8	113,1	21,5	80,7	17,1	106,8	16,1	K	1-4**, 2-4**, 3-4**
	3	18,0	2,8	79,1	5,1	49,1	3,5	76,8	4,5	O	1-4**, 2-4**, 3-4**
	4	56,0	13,1	344,8	56,0	267,3	35,2	329,3	36,0	L	1-4**, 2-4**, 3-4**
Cu	1	7,5	0,7	12,0	1,4	14,3	1,0	13,1	0,6		
	2	9,1	0,4	12,4	1,2	15,8	0,7	14,7	0,7		
	3	8,1	1,2	12,6	1,3	14,5	0,8	12,8	0,6		
	4	6,5	0,5	10,7	1,0	12,3	0,8	12,0	0,6	L	2-4*
Zn	1	16,2	0,9	50,0	1,9	48,9	2,9	45,8	2,0	Rp	2-4*
	2	17,8	1,9	62,4	5,9	62,3	4,4	58,1	4,7		
	3	14,7	1,3	53,5	2,8	48,0	3,3	50,2	2,3	O	2-4*
	4	12,3	1,2	50,1	5,9	44,9	4,6	42,4	2,0	L	1-2*, 2-4**
B	1	4,6	0,2	17,3	0,2	10,3	0,2	20,4	1,1		
	2	4,7	0,2	18,3	0,6	11,0	0,3	19,4	1,0		
	3	4,8	0,2	18,3	0,6	10,7	0,3	21,4	1,0		
	4	4,6	0,2	17,7	0,5	10,9	0,4	17,7	0,8		
Mo	1			0,25		0,04		0,25	0,04		
	2			0,29		0,09		0,29	0,09		
	3			3,30		1,00		3,30	1,00		
	4			0,07		0,02		0,07	0,02	L	3-1**, 3-2**, 3-4**, 1-4** 2-4**

