

FOLIA FORESTALIA 602

IETSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1984

SAARSALMI, ANNA

VESIPAJUN BIOMASSAN TUOTOS SEKÄ
RAVINTEIDEN JA VEDEN KÄYTTÖ

BIOMASS PRODUCTION AND NUTRIENT AND
WATER CONSUMPTION IN *SALIX* 'AQUATICA
GIGANTEA' PLANTATION



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Osoite: Unioninkatu 40 A
Address: SF-00170 Helsinki 17, Finland

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

<i>Ylijohtaja:</i> <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Aarne Nyysönen
<i>Yleisinformaatio:</i> <i>General information:</i>	Tiedotuspäällikkö <i>Information Chief</i>	Olli Kiiskinen
<i>Julkaisujen jakelu:</i> <i>Distribution of</i> <i>publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
<i>Julkaisujen toimitus:</i> <i>Editorial office:</i>	Toimittaja <i>Editor</i>	Seppo Oja

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja yhdeksällä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtion-metsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 kokeilualueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and nine research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.

FOLIA FORESTALIA 602

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1984

Anna Saarsalmi

VESIPAJUN BIOMASSAN TUOTOS SEKÄ RAVINTEIDEN JA VEDEN KÄYTTÖ

Biomass production and nutrient and water consumption in *Salix*
'Aquatica Gigantea' plantation

Approved on 23.11.1984

SISÄLTÖ

1. JOHDANTO	3
2. AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄT	4
21. Kokeen perustaminen ja hoito	4
22. Mittaukset ja näytteiden keruu	6
221. Ekologiset tekijät	6
222. Kasvuston kehityksen seuraaminen	7
23. Näytteiden analysointi	7
3. KASVATUSOLOSUHTEET	7
31. Kasvualustan pH, ravinteisuus ja kosteuspitoisuus	7
32. Lannoituksessa, sade- ja kasteluvedessä maahan tulleet ravinteet sekä ravinteiden huuhtoutuminen	10
33. Lämpötila	12
4. PAJUN VUOTUINEN BIOMASSAN TUOTOS	15
41. Pituuskasvu	15
42. Biomassa	16
5. PAJUN VUOTUINEN RAVINTEIDEN OTTO JA VEDEN KÄYTTÖ	17
51. Biomassaan vuosittain sitoutuneet ravinnemäärät	17
52. Lehtikarikkeessa maahan palautuneet ja biomassan korjuussa poistuneet ravinnemäärät	20
53. Pajun veden käyttö	21
6. TULOSTEN TARKASTELU	22
61. Vuotuinen biomassan tuotos	22
62. Pajuekosysteemin vuotuinen ravinnetase	23
7. YHTEENVETO	25
KIRJALLISUUS	26
SUMMARY	28

SAARSALMI, A. 1984. Vesipajun biomassan tuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö. Summary: Biomass production and nutrient and water consumption in *Salix 'Aquatica Gigantea'* plantation. *Folia For.* 602: 1—29.

Tutkimuksessa seurattiin biomassan tuotosta, ravinteiden (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, B) kiertoa vesipajuekosysteemissä sekä pajun veden käyttöä viiden vuoden aikana. Pajua kasvatettiin rahkaturvealustalla yhden vuoden kiertoaikaa käyttäen. Istutustiheys oli $0,5 \times 0,5$ m. Pajut lannoitettiin vuosittain. Lannoite annettiin joko kiinteänä tai liuoksena.

Biomassatuotos oli keskimäärin $1,0 \text{ kg/m}^2/\text{v}$ josta lehtien osuus oli keskimäärin 30 %. Tuotettua biomassakiloa kohti paju käytti vuosittain ravinteita keskimäärin seuraavasti: K 13,6, N 12,4, Ca 4,8, P 1,9, Mg 1,5 g sekä Mn 91, Zn 62, B 11 ja Cu 7 mg. Pajubiomas- saan sitoutuneesta kuparista ja sinkistä palautui vuosittain karikkeessa maahan keskimäärin lähes 30 %, ty- pestä, fosforista ja kaliumista n. 35 %, kalsiumista, magnesiumista ja boorista 40—50 % sekä mangaanista runsaat 60 %. Ravinteiden huuhtoutumisella ei ollut pa- jun kannalta mainittavaa merkitystä. Pelkästään sade- vedessä pajut saivat kalsiumia, magnesiumia ja sinkkiä lukuunottamatta enemmän ravinteita kuin niitä maasta huuhtoutui.

Tuotettua biomassakiloa kohti paju käytti vettä kes- kimäärin 350 l kun biomassatuotos oli vähintään 1 kg/m^2 .

The biomass production, the cycling of nutrients (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, B) and the consumption of water were studied in a water willow (*Salix 'Aquatica Gigantea'*) ecosystem over a period of five years. The substrate of the sample plots was limed Sphagnum peat. The biomass was harvested each year. The fertilizer was given in solid form or as an aqueous solution.

The mean biomass production was $1,0 \text{ kg/m}^2$. The mean proportion of leaves out of the total biomass was 30 %. Willow required the following amounts of nutrients to produce 1 kg of biomass annually: K 13,6, N 12,4, Ca 4,8, P 1,9, Mg 1,5 g and Mn 91, Zn 62, B 11 and Cu 7 mg. Of the nutrients bound in the biomass almost 30 % of the copper and zinc, about 35 % of the nitrogen, phosphorus and potassium, between 40 to 50 % of the calcium, magnesium and boron, and at least 60 % of the manganese was returned annually to the ground in the litterfall. The amount of nutrients leached from the soil was of no significance from the point of view of willow. Apart from calcium, magnesium and zinc, the plants received more nutrients from the rainfall than was lost in leaching.

When the biomass production was at least 1 kg/m^2 , the willow plants consumed 350 l of water to produce 1 kg of biomass.

ODC 176.1 *Salix 'Aquatica Gigantea'* + 161.1 + 537 + 181.3

ISBN 951-40-0676-3

ISSN 0015-5543

Helsinki 1984. Valtion painatuskeskus

1. JOHDANTO

Energiametsäviljelyssä pyritään tuottamaan mahdollisimman paljon puubiomassaa energiatuotuksen tarpeisiin voimaperäisesti hoidettujen erikoisviljelmien avulla lyhyttä kiertoaikaa käyttäen. Suomen oloissa energiametsäviljelyyn soveltuvia puulajeja ovat haapa, koivut, lepät ja pajut. Toistaiseksi päähuomio on kiinnitetty pajuihin.

Etelä- ja Keski-Euroopassa pajun kasvulista lisäämistä ja kasvattamista vesasyntyisinä metsikköinä on harjoitettu jo satoja vuosia (Makkonen 1975). Päämääränä on lähinnä ollut raaka-aineen tuottaminen koriteollisuuden tarpeisiin. Koripajun, *Salix viminalis*, viljelyä kokeiltiin 1900-luvun alussa myös Suomessa ulkomailta tuoduilla kannoilla (Cajander 1917, Nordberg 1930). Kiinnostus koripajun viljelyä kohtaan heräsi uudelleen 1940- ja 1950-lukujen vaihteessa (Relander 1950 ja 1952, Tapio 1965). Kustannussyistä ja muovin yleistymisen takia viljely kuitenkin vähitellen tyrehtyi. Lyhytkierto- ja energiametsäviljelyn myötä kiinnostus pajun viljelyä kohtaan heräsi uudelleen 1970-luvulla. Perustetuilla kokeilla on kasvatettu koripajun lisäksi niinkään ulkomaista alkuperää olevaa vesipajua, *Salix 'Aquatica Gigantea'*, joka on tuotu maahamme Tanskasta (Tapio 1965). Ulkomaiset pajut eivät ole sopeutuneet maamme ilmastoon, minkä vuoksi niiden talvenkestävyys on huono. Mikäli juurakko talvehtii voidaan ko. pajuja, huolimatta vesojen paleltumisesta, kasvattaa yhden vuoden kiertoaikaa käyttäen. Etelä-Suomessa saattaa myös pitempi kiertoaika olla mahdollinen. Tulevia energiametsäviljelmiä ajatellen on kiinnitettävä erityistä huomiota nisäkkäiden ja hyönteisten aiheuttamiin tuhoihin (Löytyniemi ja Rousi 1979, Teivainen 1979).

Ensimmäinen pajun lyhytkiertyöviljelykoemaassamme perustettiin Maatalouden tutkimuskeskuksen Lapin koasemalle v. 1973. Tiheästi viljeltyjen, lannoitettujen vesipajukasvustojen vesojen kuivamassa, ilman lehtiä, oli jo ensimmäisen kasvukauden jälkeen 1 kg/m^2 (Pohjonen 1974). Etelä-Ruotsissa *Salix smithianan* versojen kuiva-ainetuotos ilman lehtiä on ollut jopa $3,2 \text{ kg/m}^2$ (Sirén ja

Sivertsson 1976). Esitetyt, pienillä koealoilla lyhytaikaisista kokeista saadut, varsin suuret vuosituotokset eivät kuitenkaan ole yleistettävissä käytännön viljelmille. Energiametsäviljelmien tarkempi viljelyedellytyksien ja tuotoskysymysten selvittely alkoi Metsäntutkimuslaitoksessa v. 1978.

Energiametsäviljely asettaa kasvupaikalle erityisiä vaatimuksia. Kasvupaikan tulisi olla luontaisesti viljava sekä maan hyvin vettä ja ravinteita pidättävä. Sopivia viljelypaikkoja ovat esim. multavat hietamaan pellot ja runsastyypiset turvemaat, kuten suopellot ja turvetuotannosta vapautuneet suopohjat (Heino ja Pohjonen 1981, Kaunisto 1983). Turvemaiden tarviin kuitenkin vesiolojen järjestelyä. Kasvualustan pH:lla on pajun kasvatuksessa keskeinen merkitys (Ericsson ja Lindsjö 1981) ja kasvualustaan joudutaankin happamalla turvemaidella lisäämään kalkkia tai tuhkaa, paitsi pH:n kohottamiseksi myös turpeen typen mineralisoinnin edistämiseksi. Kasvualustan hyvän ravintetaso ylläpitäminen on tärkeää, sillä nopeakasvuisien lehtipuiden ravintetarve on suuri. Niinkään lyhyiden kiertoaikojen vuoksi biomassan korjuun yhteydessä poistuvien ravinteiden määrä on suuri. Ilmeisesti energiametsäviljelyyn tulisikin valita puulajeja, joiden ravintetarve suhteessa biomassatuotukseen on pieni (Kimmins 1977) tai lajeja, jotka kykenevät ottamaan kasvualustasta tehokkaasti ravinteita (Hansen ja Baker 1979).

Lannoitteita käytettiin jo viljeltäessä pajua koriteollisuutta varten (Schmidt 1935, Gruner 1947). Kuitenkin vasta energiametsäviljelyn myötä on lannoitukseen alettu kiinnittää erityistä huomiota. Vaikka turvemaiden onkin useissa tapauksissa runsaasti typpeä on typpilannoitus yleensä lisännyt pajun biomassatuotosta (Pohjonen 1980a, Hytönen 1983, Kaunisto 1983). Pohjonen (1980a) mukaan turvetuotantoalueen energiapajuviljelmä, jonka keskimääräinen sato on 12 tn/ha , käyttäen vuosittain typpeä 90 kg/ha . Osa lannoitetyypeistä huuhtoutuu tai sitoutuu maahan. Pohjonen (1980b) arvioi, että turvetuotantoalueen energiapajuviljelmä tarvitsisi vuosittain

typpeä 100—150 kg/ha ja tuhkaa 1000—2000 kg/ha.

Ruotsissa on pajujen ravinteiden kulutusta tutkittu laboratorio-olosuhteissa vesiviljemäkokein (Ericsson 1981 a ja b). Lähtökohtana on ollut, että kasvualustassa ei saa olla liikaa ravinteita, koska se voi johtaa juurten vahingoittumiseen ja sitä kautta ravinteiden oton vaikeutumiseen. Kasvatusliukseen on lisätty ravinteita vain kasvien kulutuksen mukaan (Ingestad ja Lund 1979, Ingestad 1979). Kokeet ovat osoittaneet, että vesipaju on pystynyt tehokkaasti käyttämään ravinteita hyväkseen. Kaliumin suhteen paju on ollut vaateliaampi kuin vastaavanlaisessa kokeessa kasvatettu koivu (Ingestad 1979) ja leppä (Ingestad 1980). Ruotsissa on sovellettu ns. Ingestadin periaatetta myös kenttäkokeisiin, jolloin ravinteiden lisäys tapahtuu kastelun yhteydessä (Elowson 1981).

Energiametsäviljelyssä lannoitustarve on moninkertainen metsäekosysteemiin verrattuna, minkä vuoksi optimilannoitustason selvittäminen on erityisen tärkeää. Tällöin ei luonnollisesti riitä, että selvitetään ainoastaan eri lannoituskäsittelyjen vaikutusta biomassatuotokseen vaan tarvitaan entistä tarkempaa selvitystä siitä, miten ravinteet tällaisessa ekosysteemissä kiertävät. Niinikään on tärkeää selvittää energiametsäviljelyyn soveltuvien puulajien veden tarve.

Tässä tutkimuksessa seurattiin kenttäkokeen avulla ravinteiden (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, B) kiertokulkua vesipajuekosysteemissä (*Salix 'Aquatica Gigantea'*) sekä pajun veden käyttöä viiden vuoden aikana. Biomassan ja siihen sitoutuneiden ravinteiden osalta tarkastelu on rajoitettu kasvuston maanpäällisiin osiin.

Tämä tutkimus aloitettiin v. 1978 Metsäntutkimuslaitoksen metsänhoidon tutkimusosaston silloisen osastopäällikön, professori Gustaf Sirénin aloitteesta ja sitä jatkettiin myöhemmin maantutkimusosastolla professori Eino Mälkönenin johdolla.

Kenttätöistä Suonenjoella ovat huolehtineet eri vuosina seuraavat henkilöt: Liisa Vuorikko, Arvi Jääskeläinen, Saara Turkka, Tiina Jääskeläinen, Seija Hiltunen, Tarja Ryth ja Anja Aaltonen. Arvokasta apua kokeen perustamisessa ja hoidossa olen saanut Suonenjoen tutkimusaseman henkilökunnalta, erityisesti MMT Paavo Pelkoselta, MH Risto Rikalalta ja kenttämestari Raimo Taljalta.

Maantutkimusosaston laboratoriohenkilökunta on vastannut laboratoriomäärittelyksistä. Laskentatyöstä on vastannut Luk Marja Huotari. Käsikirjoituksen puhtaaksikirjoituksesta ovat huolehtineet toim.siht. Pirkko Rättö sekä tutk.apul. Vieno Bäckman. Tutk.apul. Kerttu Lehtinen on piirtänyt kuvat. B.Sc. John Derome on kääntänyt tekstin englanninkielisen osuuden.

Käsikirjoituksen ovat lukeneet professori Eino Mälkönen, MMT Erkki Lipas, professori Eero Paavilainen sekä MMT Seppo Kaunisto, jotka ovat tehneet siihen varteenotettavia huomautuksia sekä korjaus- ja muutos-ehdotuksia.

Esitän kaikille tutkimuksen valmistumiseen myötävaikuttaneille henkilöille parhaat kiitokseni.

2. AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄT

21. Kokeen perustaminen ja hoito

Suonenjoen tutkimusasemalle perustettiin kesäkuussa 1978 kahdeksan $5,8 \times 5,8$ m suuruista koalaa. Koealoista neljä tehtiin lysimetriperiaatteen mukaisesti, jotta voitaisiin selvittää maasta huuhtoutuneiden ravinteiden määrä. Lysimetrin muodosti allas, jonka rakenne ilmenee kuvasta 1. Kasvualustana oli n. 0,3 m paksuinen rahkaturvekerros (maatumisaste 3—4), johon oli sekoitettu dolomiittikalkkia 3 kg/m^3 turvetta sekä sen alla hiekkaa n. 50 cm kerros. Toiset neljä koalaa kaitettiin n. 1 m syvyisiksi ja täytettiin hiekalla ja turpeella kuten lysimetrikoelalta. Kaikki koalat reunustettiin lautakehikolla, jotta pintavalunta kokeen ulkopuolelta ja koalalta toiselle estyisi.

Vesipajun, *Salix 'Aquatica Gigantea'* (E 4856, toimituspaikka Ruotsinkylän jalostusasema), kasvatus aloitettiin kesäkuun puolivälissä n. 25 cm pituisista pistokkaista, jotka istutettiin 0,5 m välein. Kunkin koalan kaksi ulointa pajuriviä jätettiin vaippa-alueeksi. Cannel-

lin ja Smithin (1980) mukaan poppeliviljelmillä vaipan leveyden tulisi olla vähintään 1/4 pisimmän verson pituudesta. Tämän mukaan yhden metrin levyinen vaippa-alue olisi riittävä kasvustossa, jossa versojen pituus olisi n. 4 m.

Pajua kasvatettiin yhden vuoden kiertojalla ja biomassaa korjattiin marras-joulukuussa, jolloin kasvusto kaadettiin n. 5 cm:n kanton. Koetta perustettaessa ei lannoituksen vaikutuksesta pajun kasvuun ollut vielä tietoa, joten määrät jouduttiin arvioimaan. Lähtökohdaksi oli, että ravinteita lisättäisiin kasvualustaan niin paljon, että ne riittäisivät tulevan kasvukauden tarpeisiin, käyttämättä kuitenkaan yliannostusta. Lannoitemäärää lisättiin vuosittain viidenteen vuoteen asti.

Lannoitus aloitettiin kolmen viikon kuluttua istutuksesta, sillä lannoitus voi häiritä juurtumista (Rossi 1979a ja b). Lannoitteeksi valittiin Kekkilä-6-Superex, joka sisälsi useimpia kasvien tarvitsemia ravinteita (taulukko 1). Lannoitteen väriällisyys helpotti lannoiteliuksen annostelua. Lannoituskäsittelyjä oli kaksi. Käsitte-

Taulukko 1. Kekkilä-6-Superex-lannoitteen ravinnekoostumus.

Table 1. Nutrient composition of Kekkilä-6-Superex fertilizer.

Ravinne Nutrient	1978—1979, 1982		1980, 1981	
	%	Ravannesuhde Proportion	%	Ravannesuhde Proportion
N	19,5	100	22,4	100
(urea-N	(11,5		(13,9	
NH ₄ PO ₃	2,2		1,8	
NO ₃ -N)	(5,8)		(6,7)	
P	4,5	23	4,0	18
K	16,6	85	18,6	83
Ca	—		—	
Mg	0,9	5	0,2	1
	ppm		ppm	
Fe	800	0,41	1800	0,81
Mn	800	0,41	970	0,45
B	200	0,10	270	0,13
Cu	200	0,10	140	0,04
Zn	200	0,10	230	0,09
Mo	20	0,01	20	0,01
Co	10	0,01	10	0,004

lyssä I lannoite annettiin ensimmäisenä vuonna kahtena eränä heinäkuussa ja muina vuosina kertalevityksenä toukokuun lopussa. Käsitelyssä II lannoite annettiin kolmena ensimmäisenä vuonna liuoksena ja vuosittain neljänä levityskertana. Neljäntenä ja viidentenä vuonna lannoite annettiin käsittelyssä II edelleen neljänä levityskertana mutta kiinteänä.

Liuoslannoituksessa käytettiin nk. GEVA-lannoite-liuosannostelijaa (Oy Schetelig Ab, Puutarhurien tuku), joka oli kytketty kasteluverkostoon. Lannoite-liuoksen väkevyys vaihteli välillä 0,2—0,5 %. Alunperin piti lannoitemäärien olla kummassakin käsittelyssä samat. Liuoslannoituksessa käytetyn annostelulaitteen epätarkkuudesta johtuen lannoitemäärät jäivät kuitenkin kolmena ensimmäisenä tutkimusvuonna suunniteltua pienemmiksi.

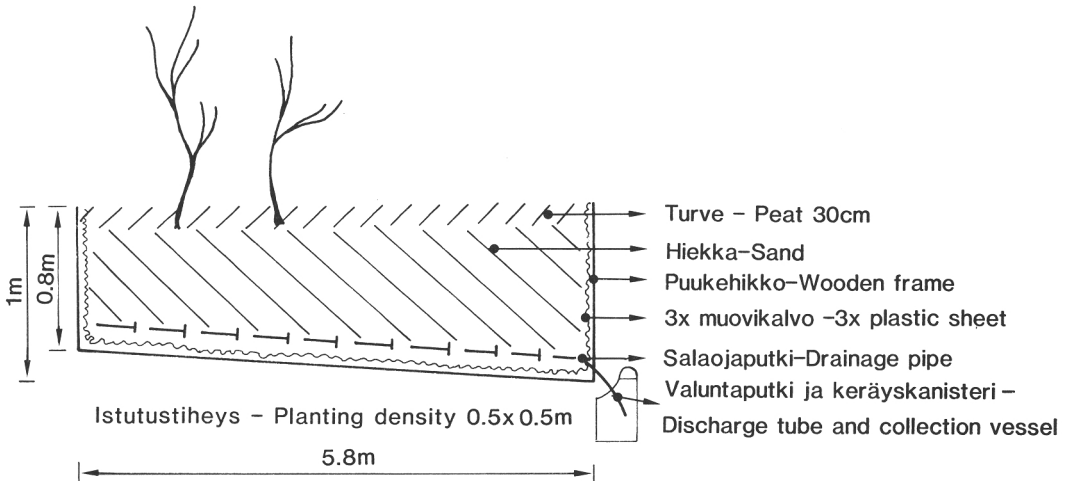
Lannoitusajankohdat ja pajujen saamat typpimäärät eri käsittelyissä on esitetty taulukossa 2.

Pistokkaita kasteltiin juurtumisvaiheessa lähes päivittäin. Käsitelyssä II pajut saivat vettä kolmena ensimmäisenä vuonna lannoituksen yhteydessä, jolloin myös kiinteän lannoituksen saaneita koealoja kasteltiin vastaavalla vesimäärällä. Koealoja kasteltiin myös neljäntenä ja viidentenä vuonna lannoituksen yhteydessä, mikäli maa oli kuiva. Näin pyrittiin välttämään mahdollista typen haihtumista ammoniakkinä (Derome 1980).

Taulukko 2. Lannoitusajankohdat ja pajujen saamat typpimäärät tutkimusjakson aikana.

Table 2. Fertilization dates and the amounts of nitrogen applied to the willow stand during the course of the experiment.

Vuosi Year	Käsittely I — Treatment I			Käsittely II — Treatment II				
	N kg/ha	Aika — Date	N kg/ha	Aika — Date				
1978	120	6.7. 20.7.	100	10.7.	13.7.	20.7.	27.7.	
1979	180	28.5.	130	28.5.	6.6.	18.6.	25.6.	
1980	240	30.5.	200	27.5.	2.6.	17.6.	1.7.	
1981	240	27.5.	240	27.5.	5.6.	17.6.	2.7.	
1982	120	4.6.	120	4.6.	11.6.	23.6.	16.7.	



Kuva 1. Lysimetrin rakenne.

Fig. 1. Cross-section of the lysimeter used in the willow experiment.

22. Mittaukset ja näytteiden keruu

22.1. Ekologiset tekijät

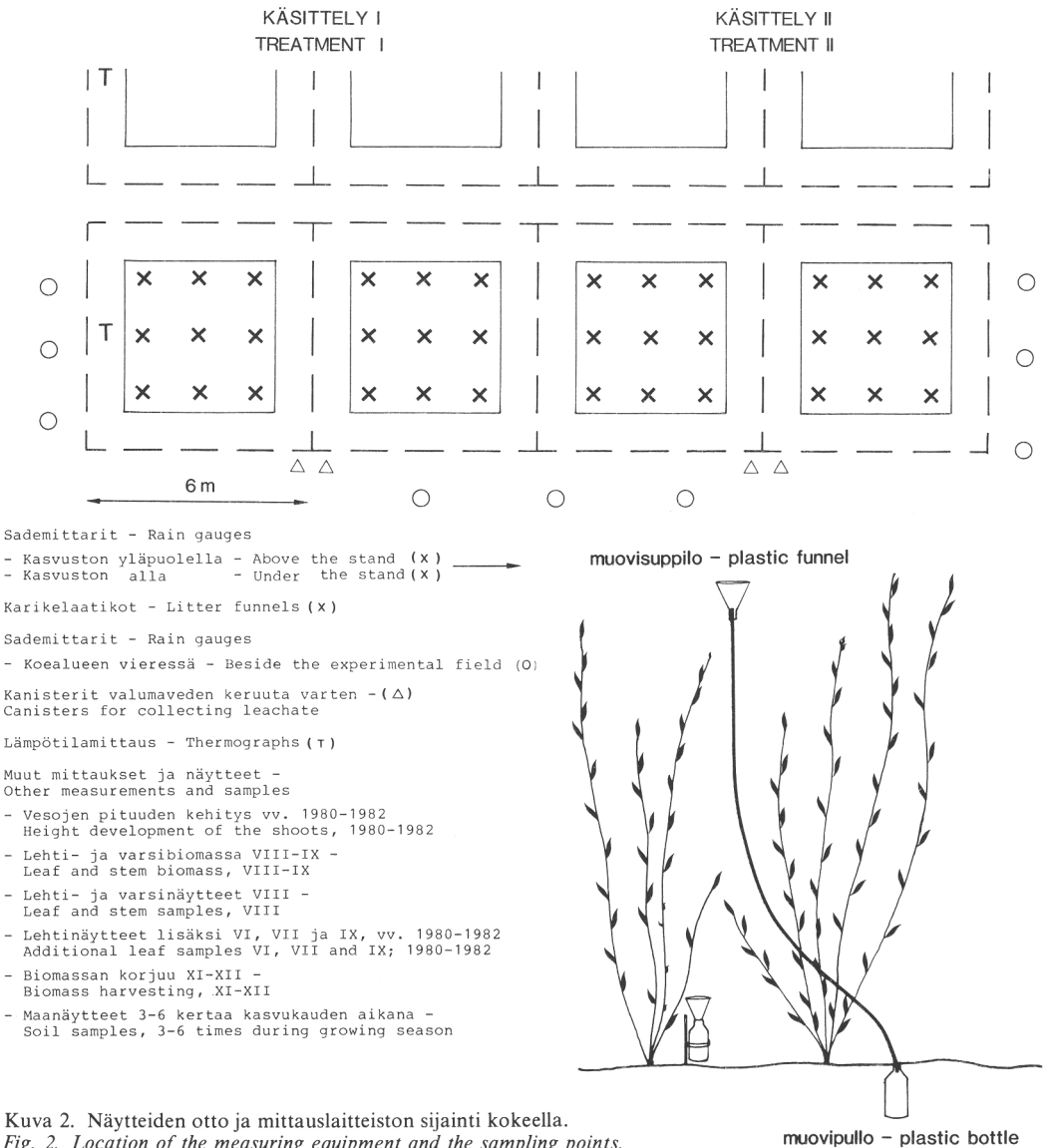
Sade- ja kasteluvედessä maahan tulleiden ravinteiden määrän selvittämiseksi asetettiin sademittareita kasvuston yläpuolelle, kasvuston alle n. 30 cm korkeudelle maan pinnasta sekä koalueen viereen (Päivänen 1974). Sademittareiden sijainti käy ilmi kuvasta 2. Kuhunkin sademittariin kertynyt vesi mitattiin erikseen, mutta kerätyt näytteet analysoitiin koaloittain yhdistettyinä. Kasvuston yläpuolelta ja alta sekä koalueen vierestä kerätyt näytteet pidettiin erillään. Keruujakson pituus oli noin kuukausi. Näytteet säilytettiin 1 %:na etikkahappoliuoksena +5°C lämpötilassa pilaantumisen ehkäisemiseksi.

Kustakin lysimetristä valuva vesi johdettiin omaan

muovikanisteriinsa. Valuneen veden määrä mitattiin ja osa siitä otettiin näytteeksi ravinnemäärytyksiä varten. Keskimäärin noin kuukauden aikana kerätyt näytteet yhdistettiin koaloittain yhdeksi näytteeksi, joita säilytettiin kuten muita vesinäytteitä. Altaiden valuntaputket suljettiin maan jäädyttyä ja ne avattiin jälleen keväällä.

Maanäytteitä otettiin koaloittain 0–20 cm maakerroksesta kasvukauden aikana 3–6 kertaa. Näyte koostui 12 systemaattisesti otetusta osanäytteestä, joista määritettiin välittömästi pH, kosteuspitoisuus ja liukoinen tyyppi. Muut ravinteet määritettiin ilmakeivista näytteistä.

Ensimmäistä vuotta lukuunottamatta kokeella seurattiin kasvukauden aikaista lämpötilaa maassa 15 cm syvyydessä. Ilman kasvukausittaiset lämpösummat saatiin tutkimusaseman säähavaintomittauksista.



Kuva 2. Näytteiden otto ja mittaustilanteiston sijainti kokeella.
Fig. 2. Location of the measuring equipment and the sampling points.

222. Kasvuston kehityksen seuraaminen

Pajun vesojen kasvua seurattiin kolmannelta vuodesta lähtien kesäkuun puolivälistä syyskuun puoliväliin. Kokeelta valittiin satunnaisesti 20—32 kantoa, joiden kaikkien vesojen pituus mitattiin viikottain.

Lehti- ja varsibiomassa määritettiin ensimmäisenä vuonna elokuun lopussa nk. keskipuomenetelmällä (Remezov ym. 1955). Kultakin koealalta valittiin kaksi edustavaa pajua, joiden lehti- ja varsibiomassa määritettiin. Näytteistä tehtiin ravinnemääritykset.

Toisesta tutkimusvuodesta alkaen lehti- ja varsibiomassan määrittäminen perustui lehtien ja varsien kuivamassan ja varsien pituuden väliseen riippuvuuteen (Mälkönen 1974). Regressioyhtälöiden määrittämiseen vaadittavat mittaukset tehtiin elokuun lopussa, jolloin määritettiin myös lehtibiomassa. Näytevesojen lehdet ja varret säilytettiin myöhempiä ravinneanalyysejä varten. Syyskuun lopussa mitattiin vesojen pituudet uudelleen ja ne sijoitettiin aiemmin määritettyihin regressioyhtälöihin ja laskettiin varsien biomassa. Biomassatuloksista puhuttaessa tarkoitetaan tässä tutkimuksessa kuivamassaa.

Biomassan korjuun yhteydessä, marras-joulukuussa, otettiin kultakin koealalta viisi yksittäistä vesaa ravinnemäärityksiä varten, jotta voitaisiin seurata ravinteiden liikkumista lehdistä varsiiin. Lehtien ravinnepitoisuuksien muuttumisen seuraamiseksi kerättiin lehtinäytteitä, toisesta vuodesta lähtien, 3—4 kertaa kasvukauden aikana.

Karikkeessa maahan palautuvien ravinnemäärien selvittämiseksi asetettiin kokeelle ensimmäistä vuotta lukuunottamatta karikelaatikoita (kuva 2). Kuhunkin laatikkoon kertynyt karike kuivattiin ja punnittiin, mutta analysoitiin koealoittain yhtenä näytteenä keskimäärin 2—4 viikon keruujaksoina.

Pajun lehtikarikkeen hajoamisnopeuden selvittämiseksi koealoille asetettiin ensimmäisenä vuonna marraskuun alussa 10 vesipajun lehtikarikepussia. Hajoamisen edistymistä tutkittiin 11- ja 18 kuukauden jälkeen.

3. KASVATUSOLOSUHTEET

31. Kasvualustan pH, ravinteisuus ja kosteuspitoisuus

Kasvualustana käytetyn rahkaturpeen pH oli ennen kalkitusta 3,9. Kalkituksen jälkeen pH vähitellen kohosi (kuva 3). Maan pH oli koko tutkimusjakson ajan 5—6, mikä on pajun kasvatuksen kannalta optimaalinen (Ericsson ja Lindsjö 1981).

Helppoliukoisen fosforin osuus maan kokonaisfosforista oli 10—20 % (kuvat 4 ja 5). Fosforipitoisuus oli kasvualustassa ensimmäisenä vuonna tyydyttävä, tämän jälkeen hyvä, ajoittain jopa korkea peltomaiden ravinnetasoon verrattuna (Kurki 1977). Vertailu Kurjen (1977) lukuihin tehtiin siten, että

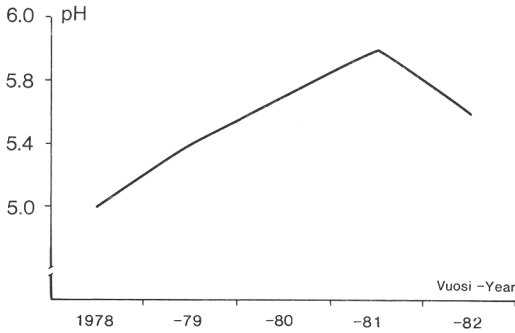
23. Näytteiden analysointi

Kasvi-, maa- ja vesinäytteistä määritettiin typpi-, fosfori-, kalium-, kalsium-, magnesium-, kupari-, sinkki- ja mangaanipitoisuus sekä kasvinäytteistä lisäksi, ensimmäistä vuotta lukuunottamatta, booripitoisuus. Maanäytteistä määritettiin liukoiset ravinteet ja kokonaistyyppi kaikista kasvukauden aikana otetuista näytteistä erikseen. Muilta osin maanäytteiden kokonaisravinnepitoisuudet (uuttonesteenä väkevä suolahappo) määritettiin sen sijaan vain koetta perustettaessa ja syksyisin. Ravinneanalyyseistä tehtiin pääasiassa Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosaston laboratoriossa tavanomaisia menetelmiä käyttäen (Halonen ym. 1983). Maanäytteiden hivenainemääritykset tehtiin happamasta 0,02-normaalista ammoniumasetaatti-EDTA-uutteesta (Lakanen ja Erviö 1971). Liukoinen typpi määritettiin kolmena ensimmäisenä vuonna ja analyyseistä tehtiin Suonenjoen tutkimusasemalla. Tuore maanäyte uutettiin 0,2-normaalilla kaliumsulfaattiliuoksella, jonka jälkeen typpi määritettiin Kjeldahl-menetelmällä (Westman ja Hänninen 1977). Vesinäytteet, jotka oli säilytetty 1 %:ssa etikkahappoliuoksessa, konsentroitettiin ja neutraloitiin ennen analysointia. Ensimmäisenä vuonna typpi määritettiin Viljavuuspalvelu Oy:ssä. Maan pH-mittauksissa käytettiin maa/vesi tilavuussuhteena 2,5.

Jatkossa tulokset esitetään yksinkertaisuuden vuoksi ainoastaan käsittelyn I (kertalannoitus) osalta, mikäli eri käsittelyjen välillä ei ilmene oleellisia eroja tai käsittelyn II tulosten esittämisellä ei muutoin ole oleellista merkitystä.

tässä tutkimuksessa painoyksikköä kohti esitetty tulokset muutettiin tiheyden avulla muotoon mg/l. Vaihtuvan kaliumin osuus maan kokonaiskaliumista oli ensimmäisenä vuonna 10 %, myöhemmin jopa 60—85 % (kuvat 4 ja 5). Kaliumpitoisuus oli kasvualustassa kahtena ensimmäisenä vuonna tyydyttävä, kolmantena vuonna hyvä ja myöhemmin korkea (Kurki 1977).

Maan fosfori- ja kaliumpitoisuus oli merkittävästi suurempi toisena ja kolmantena vuonna käsittelyn I kuin käsittelyn II jälkeen (kuva 4). Neljäntenä vuonna lannoitemäärä käsittelyssä II kohotettiin yhtä suureksi kuin käsittelyssä I, mistä oli seurauksena, että maan fosfori- ja kaliumpitoisuus käsittelyssä



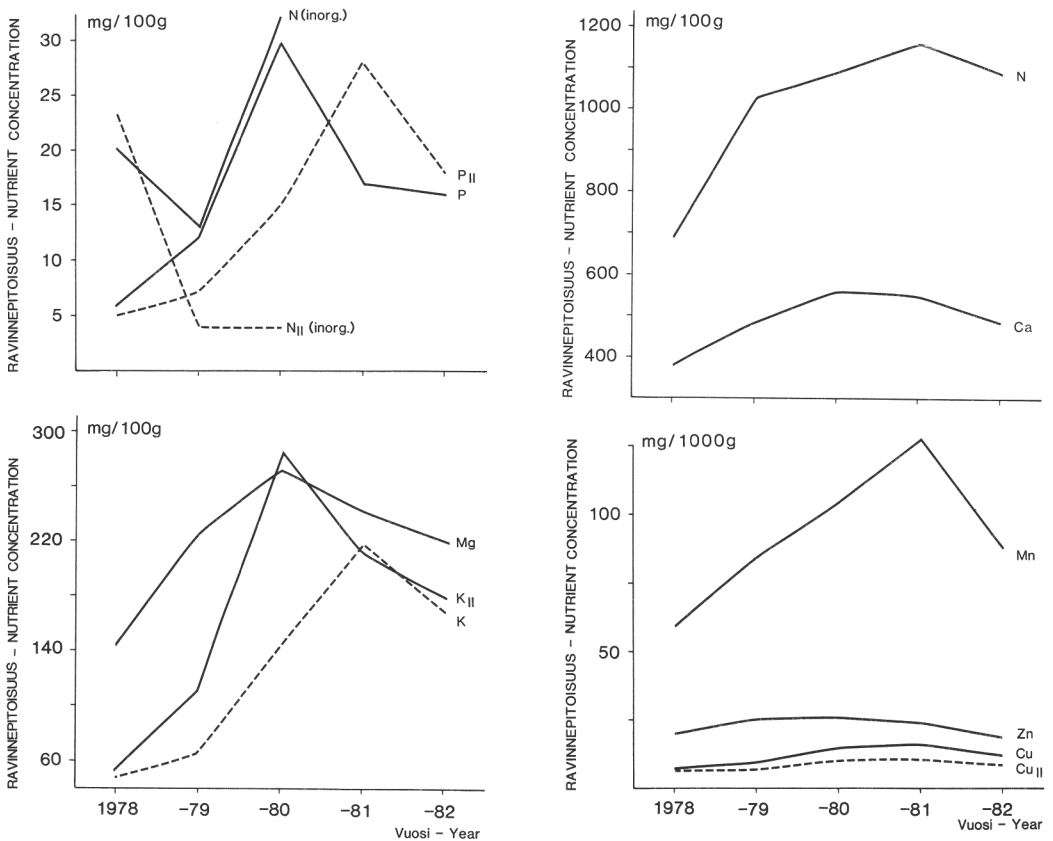
Kuva 3. Maan keskimääräinen pH kasvukausittain tutkimusjakson aikana.

Fig. 3. Mean soil pH in different growing seasons during the course of the experiment.

II selvästi kohosi. Fosforipitoisuus oli neljän-tenä vuonna jopa merkittävästi suurempi käsittelyssä II kuin I.

Maan kokonaistyyppipitoisuudessa ei ollut merkitseviä eroja eri käsittelyjen välillä. Sitä vastoin liukoisen tyypin pitoisuus oli kolmena ensimmäisenä vuonna korkeampi käsittelyn I kuin käsittelyn II jälkeen (kuva 4). Merkillepantavaa oli, että maan liukoinen tyyppi väheni nopeasti kasvukauden loppua kohti. Hivenaineista maan kuparipitoisuus oli lähes koko tutkimusjakson ajan korkeampi käsittelyn I kuin käsittelyn II jälkeen, muutoin ei hivenainepitoisuuksissa ollut eroja eri käsittelyjen välillä (kuva 4).

Rahkatuopeen tiheys oli kahtena ensimmäisenä vuonna keskimäärin $0,20 \text{ g/cm}^3$.



Kuva 4. Maan liukoisen tyypin (inorg.) ja -fosforin, kokonaistyyppin, vaihtuvan kalsiumin-, kaliumin ja -magnesiumin sekä EDTA:n liukoisten hivenravinteiden keskimääräinen pitoisuus kasvukausittain tutkimusjakson aikana. Käsittely II osalta on esitetty vain ne tulokset, jotka eroavat oleellisesti käsittelyn I vastaavista tuloksista.

Fig. 4. Mean levels of inorganic nitrogen (inorg.) and phosphorus, total nitrogen, exchangeable calcium, potassium and magnesium, and EDTA-extractable micronutrients in the soil in different growing seasons during the course of the experiment. Only those results for treatment II are marked on the figures which differ significantly from the results for treatment I.

Vähitellen maa tiivistyi ja juuriston osuus maassa kasvoi. Tutkimusjakson myöhempinä vuosina maan tiheys oli keskimäärin 0,30 g/cm³. Vertailuna voidaan esittää, että Sipolan ja Tareksen (1978) mukaan suopellolla rahkaturpeen tiheys on keskimäärin 0,15 g/cm³ ja saraturpeen 0,35 g/cm³. Tiheyden avulla laskettiin maan ravinmäärät pinta-alayksikköä kohti 20 cm:n pintakerroksessa (taulukko 3).

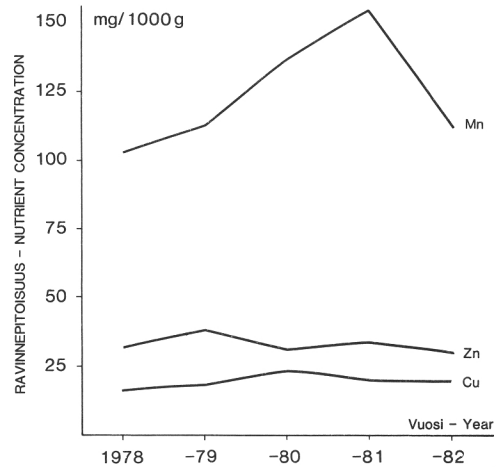
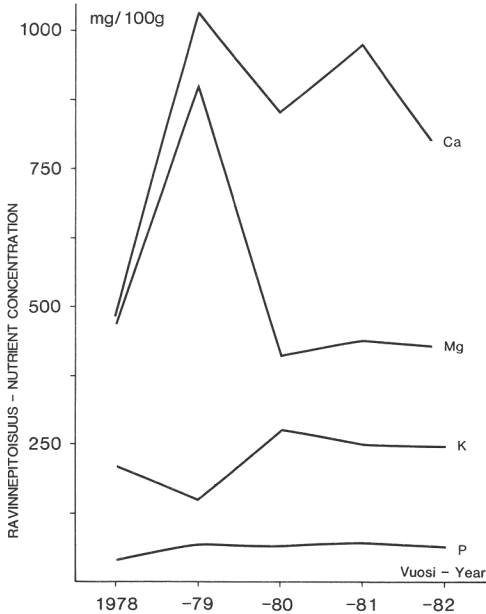
Kolmena ensimmäisenä tutkimusvuonna, jolloin lannoite annettiin käsittelyssä II laimeana vesiliukoisena (käsittelyn I koealoit saivat vastaavan vesimäärän), tuli koealoille kasteluvettä, vaikkei se pajujen kannalta aina olisi ollut tarpeellistakaan. Neljäntenä ja viidentenä vuonna, jolloin lannoite annettiin molemmissa käsittelyissä kiinteänä, koealoja kasteltiin vain tarpeen vaatiessa.

Maan kosteuspitoisuus oli koetta perustet-

Taulukko 3. Maan kokonaistypen; liukoisen typen ja fosforin; vaihtuvan kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin määrä ($\bar{x} \pm s_x$ g/m²) sekä EDTA:n liukoisten hivenravinteiden määrä ($\bar{x} \pm s_x$ mg/m²) 0–20 cm maakerroksessa tutkimusjakson aikana.

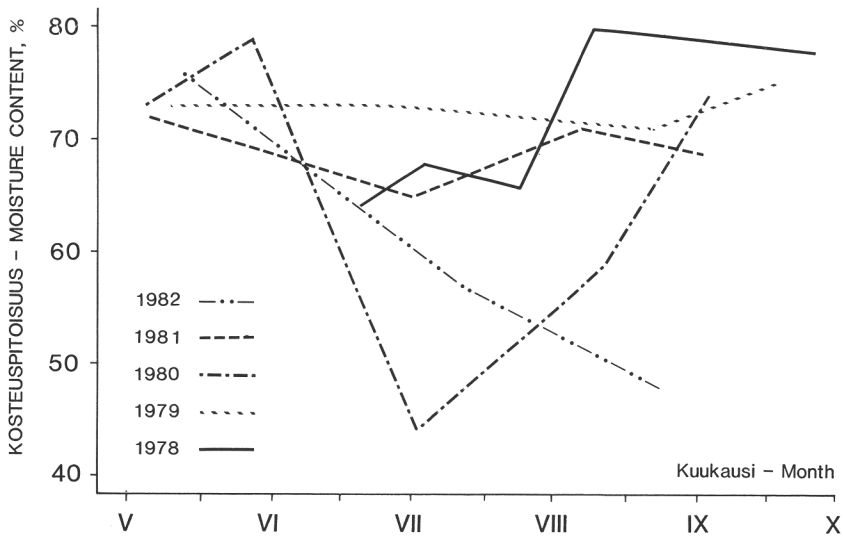
Table 3. The total nitrogen; inorganic nitrogen; soluble phosphorus; exchangeable potassium, calcium and magnesium ($\bar{x} \pm s_x$ g/m²) and EDTA extractable micronutrient content ($\bar{x} \pm s_x$ mg/m²) in the upper 0–20 cm layer of the soil at different times during the course of the study.

Ravinne — Nutrient	Vuosi — Year				
	1978	1979	1980	1981	1982
N kok. — total	302 ± 11	412 ± 16	670 ± 17	718 ± 13	675 ± 28
N liuk. — inorganic	9 ± 1	5 ± 1	—	—	—
P	2 ± 1	5 ± 1	18 ± 3	10 ± 1	10 ± 1
K	25 ± 2	44 ± 3	177 ± 20	130 ± 5	112 ± 7
Ca	167 ± 15	193 ± 16	347 ± 16	340 ± 16	303 ± 19
Mg	64 ± 7	90 ± 8	169 ± 11	151 ± 7	137 ± 9
Cu	320 ± 140	360 ± 120	900 ± 120	970 ± 170	730 ± 190
Zn	870 ± 80	1000 ± 60	1640 ± 140	1470 ± 80	1160 ± 102
Mn	2610 ± 190	3340 ± 90	6460 ± 202	7860 ± 270	5410 ± 410



Kuva 5. Maan kokonaisravinnepitoisuudet koetta perustettaessa (kalkituksen jälkeen, mutta ennen lannoitusta) ja syksyisin tutkimusjakson aikana.

Fig. 5. Levels of total nutrients in the soil at the time when the experiment was established (after liming but before fertilization) and each autumn during the course of the experiment.



Kuva 6. Maan kosteuspitoisuus tutkimusjakson aikana.
 Fig. 6. Moisture content of the soil during the course of the experiment.

taessa n. 65 % maan massasta (kuva 6). Pistokkaita kasteltiin juurtumisvaiheessa lähes päivittäin ja maan kosteuspitoisuus kohosi vähitellen 70 %:iin ja runsassateisen elo- ja syyskuun johdosta jopa 80 %:iin. Vettä suotautui koaloilta koko ensimmäisen vuoden ajan (kuva 7).

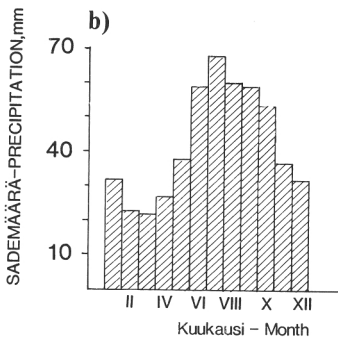
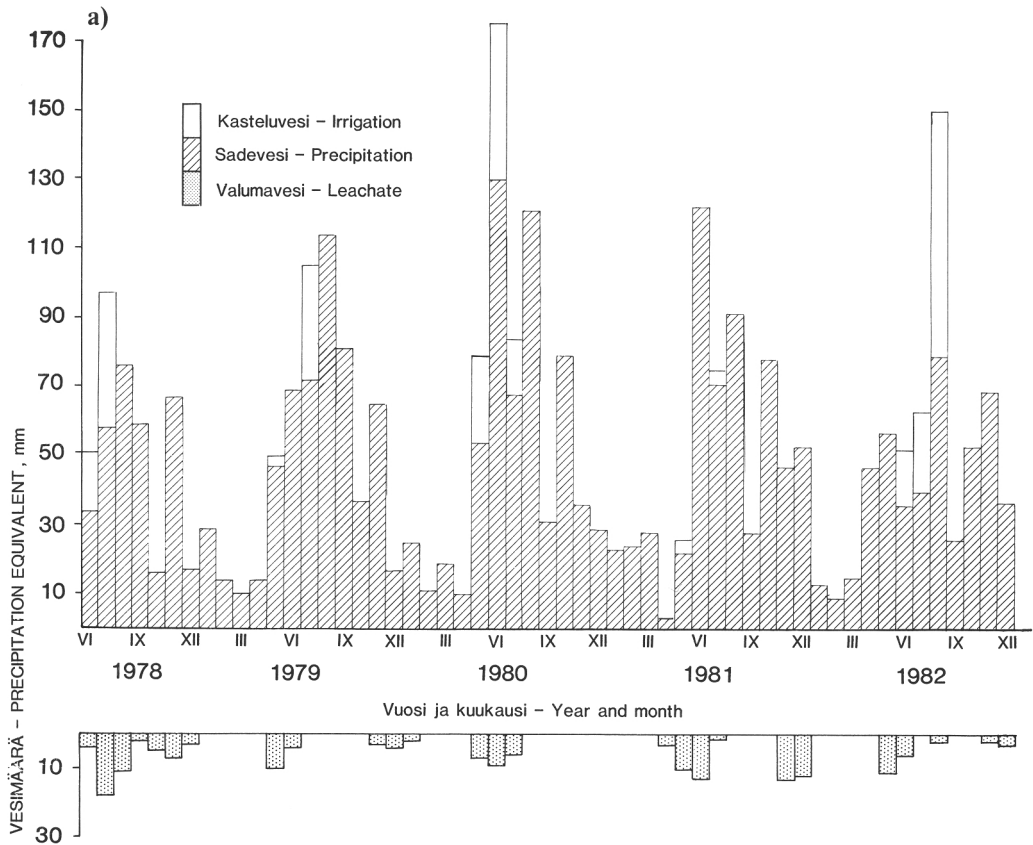
Maan kosteuspitoisuus pysytteli toisena ja neljäntenä vuonna koko ajan n. 70 %:ssa. Kolmantena vuonna heinäkuu oli puoliväliin asti täysin sateeton ja maan kosteuspitoisuus laski alle 50 %:iin. Viidentenä vuonna satoi kesä- ja heinäkuussa keskimääräistä vähemmän (kuva 7) ja maan kosteuspitoisuus laski heinäkuussa alle 60 %:iin.

32. Lannoituksessa, sade- ja kasteluvadessa maahan tulleet ravinteet sekä ravinteiden huuhtoutuminen

Valtaosa pajujen saamista ravinteista tuli lannoituksen yhteydessä (kuva 8). Kolmena ensimmäisenä vuonna pajut saivat enemmän ravinteita käsittelyssä I kuin käsittelyssä II. Neljäntenä ja viidentenä vuonna kasvien saamat lannoitemäärät olivat molemmissa käsittelyissä yhtä suuret. Kasvit saivat kalkituksen yhteydessä kalsiumia 200 g/m^2 ja magnesiumia 80 g/m^2 . Kalsiumia ne eivät saaneet enää myöhemmin.

Sadeveden kasvukauden aikaisten keskimäärien ravinnepitoisuuksien ja koko vuoden sademäärien perusteella laskettiin sadevedessä maahan vuosittain tulleet ravinemäärät (kuvat 9). Tuloksia tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon, että ensimmäistä vuotta koskevat tulokset ovat puolen vuoden ajalta. Sadeveden ravinnepitoisuudet vaihtelivat sekä vuosittain että kasvukauden eri aikoina ja olivat ensimmäisen vuoden poikkeuksellisen korkeata typpipitoisuutta lukuunottamatta likimain saman suuruisia aikaisempiin tutkimuksiin verrattuna (Viro 1953, Mälkönen 1974, Päivänen 1974). Ensimmäisenä vuonna vesinäytteiden typpipitoisuus analysoitiin Viljavuuspalvelu Oy:ssä, jossa analyysimenetelmät poikkeavat jonkin verran Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosaston menetelmistä. Tämä osaltaan selittää ensimmäisen vuoden korkean typpipitoisuuden. Suomessa on sadevedessä tullut maahan v. 1971—1977 keskimäärin tyyppeä 0,54, fosforia 0,01, kaliumia 0,18, kalsiumia 0,37 ja magnesiumia 0,08 $\text{g/m}^2/\text{v}$ eli fosforia selvästi vähemmän ja kaliumia vähemmän kuin tässä tutkimuksessa (Järvinen ja Haapala 1980).

Kasteluvadessa maahan tulleet ravinemäärät laskettiin koaloille sade- ja kasteluvadessa yhteensä tulneiden ravinteiden ja vapaassa sadannassa tulneiden ravinemäärien erotuksena (kuva 9). Kasteluvadessa oli pal-



Kuva 7a. Koealoille kuukausittain tulleen sade- ja kasteluveden sekä koealoilta valuneen veden määrä tutkimusjakson aikana.

Fig. 7a. Monthly amounts of precipitation, irrigation and leachate during the course of the experiment.

Kuva 7b. Vuosien 1931—1960 kuukausittainen keskimääräinen sademäärä Kuopion säähavaintoasemalla.

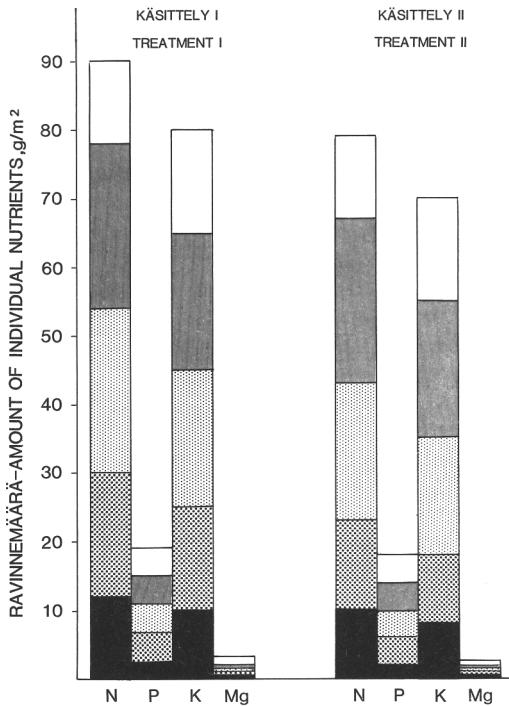
Fig. 7b. Mean monthly precipitation during 1931—1960 at Kuopio Meteorological station.

jon kalsiumia.

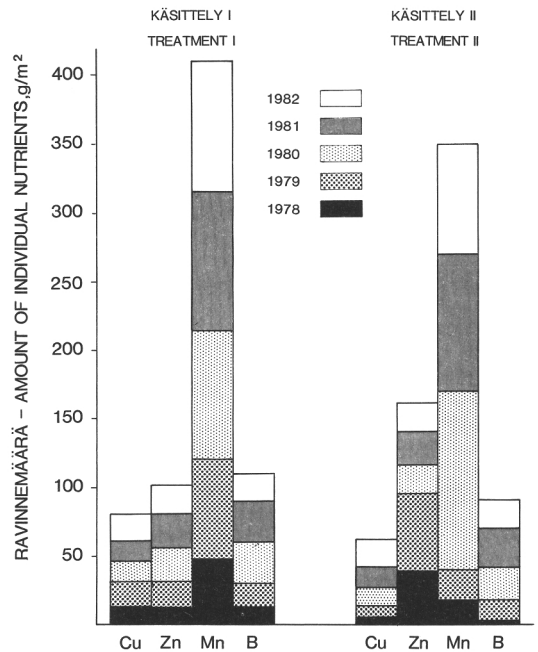
Pajujen lehdet pidättivät toisesta vuodesta lähtien 20—30 % kasvustolle tulleesta sade- ja kasteluvedestä. Lehdet pidättivät lannoite-, sade- ja kasteluvedessä tulleista ravinteista tyyppeä sekä joinakin vuosina myös kuparia ja sinkkiä. Muita ravinteita, erityisesti kaliumia, sadevesi sen sijaan huuhteli kasvien pinnalta.

Koealoilta valuneen veden pH vaihteli tutkimusjakson aikana välillä 6—7,8 ilman

säännönmukaisuutta. Ensimmäisenä vuonna lannoitetyypistä huuhtoutui suurempi osa kuin myöhemmin vuosina, mikä näkyi valumaveden korkeina typpipitoisuuksina ensimmäisenä vuonna. Typpipitoisuus kohosi hetkellisesti lannoituksen jälkeen, mikä ilmeni selvimmin käsittelyssä I, jossa koko kasvukauden ajan lannoitemäärä oli annettu yhdellä kertaa. Toisena vuonna valumaveden typpipitoisuus oli korkeampi käsittelyssä I kuin II, muutoin ei eroja eri käsittelyjen välil-



Kuva 8a. Koealoille vuosittain annettut pääravinteet. Selitykset katso kuva 8b.
 Fig. 8a. Amount of macronutrients added to the sample plots as fertilizer. See Fig. 8b for explanation.



Kuva 8b. Koealoille vuosittain annettut hivenravinteet. Fig. 8b. Amount of micronutrients added to the sample plots as fertilizer.

lä ollut.

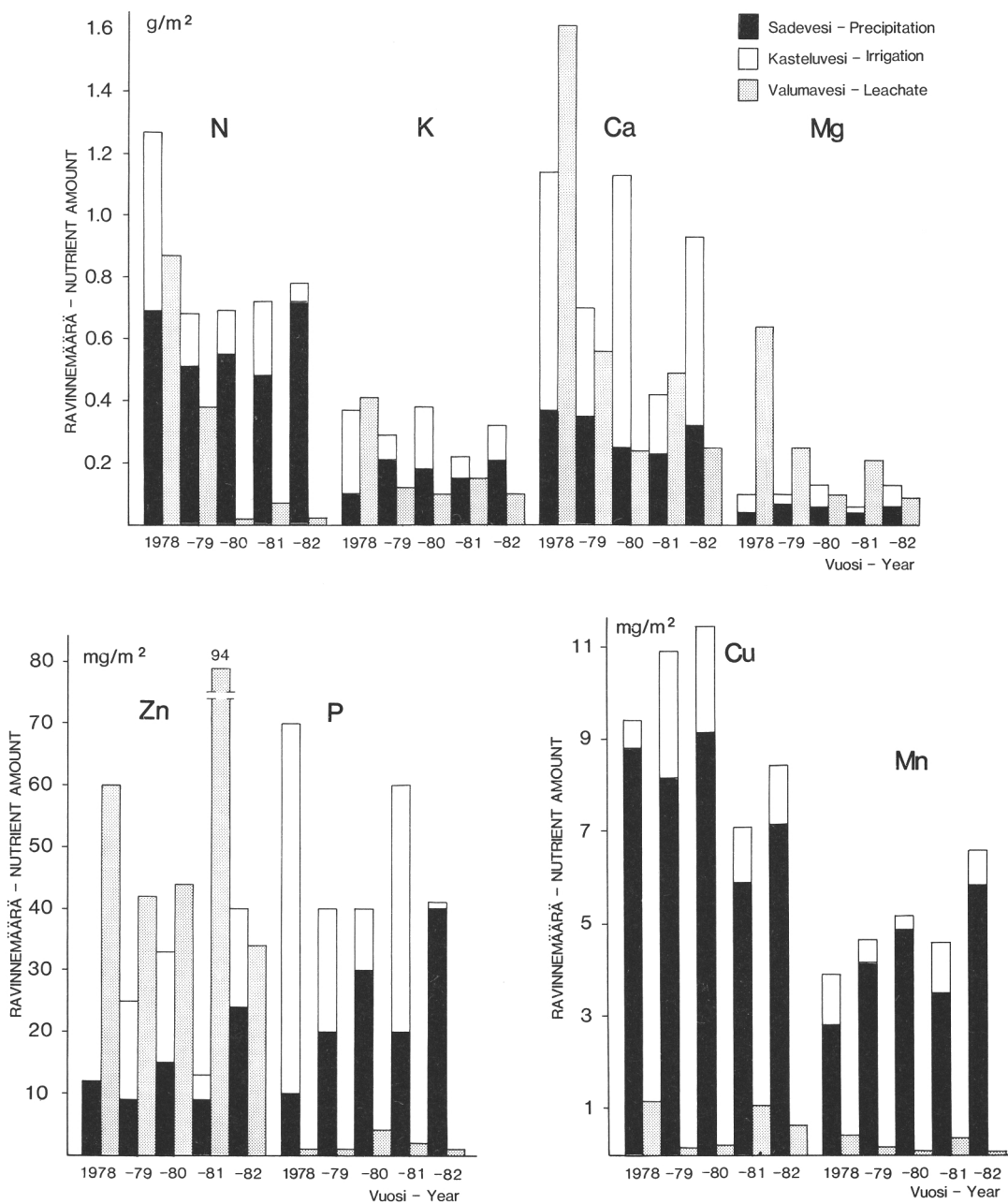
Valumaveden fosforipitoisuus oli ensimmäisenä vuonna pienempi kuin myöhemmin tutkimusjakson aikana. Fosforipitoisuus kohosi hetkellisesti lannoituksen jälkeen ainoastaan toisena vuonna. Valumaveden kalium-, kalsium- ja magnesiumpitoisuus alkoi ensimmäisen vuoden jälkeen laskea. Eri käsittelyjen välillä ei ollut eroja ko. ravinteiden pitoisuuksissa. Lannoituksen vaikutusta valumaveden kaliumpitoisuuteen ei voitu havaita.

Tutkituista ravinteista huuhtoutui erään kalsiumia: ensimmäisenä vuonna keskimäärin $1,6 \text{ g/m}^2$ ja sen jälkeen $0,2\text{--}0,6 \text{ g/m}^2/\text{v}$ (kuva 9). Typeä huuhtoutui toisena vuonna $0,4 \text{ g/m}^2$ ja sen jälkeen ainoastaan $0,02\text{--}0,07 \text{ g/m}^2/\text{v}$. Kaliumia huuhtoutui toisesta vuodesta lähtien $0,1\text{--}0,2 \text{ g/m}^2/\text{v}$ ja fosforia $0,001\text{--}0,004 \text{ g/m}^2/\text{v}$. Hivenaineista huuhtoutui sinkkiä selvästi enemmän kuin kuparia ja mangaania. Karsiston (1970) sekä Karsiston ja Ravelan (1971) metsitettyjä turvemaita koskeissa lannoitustutkimuksissa

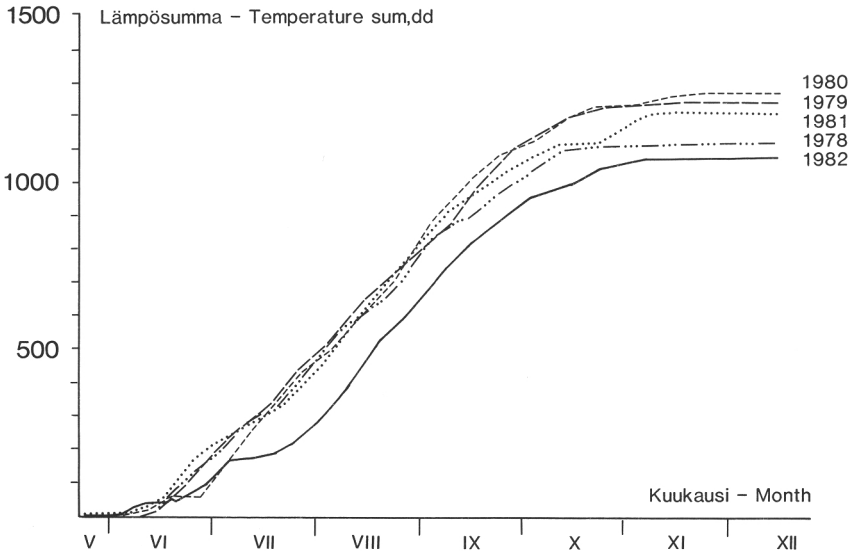
kaliumia on huuhtoutunut $0,2 \text{ g/m}^2/\text{v}$, ja fosforia $0,003\text{--}0,007 \text{ g/m}^2/\text{v}$. PK-lannoitus on kohottanut ojitettujen soiden valumaveden fosforipitoisuutta (Ahti 1983). Fosforipitoisuus on ollut lannoitusta edeltänyttä tasoa korkeampi vielä 13—15 vuotta lannoituksen jälkeen. Korkeita kaliumpitoisuuksia on ollut valumavedessä ainoastaan lannoitusvuoden aikana. Kaikenkaikkiaan on Liesnevan ojitusalueelta huuhtoutunut vuosittain toukolokakuun aikana keskimäärin fosforia $0,01 \text{ g/m}^2$ ja kaliumia $0,06 \text{ g/m}^2$ (Ahti 1983).

33. Lämpötila

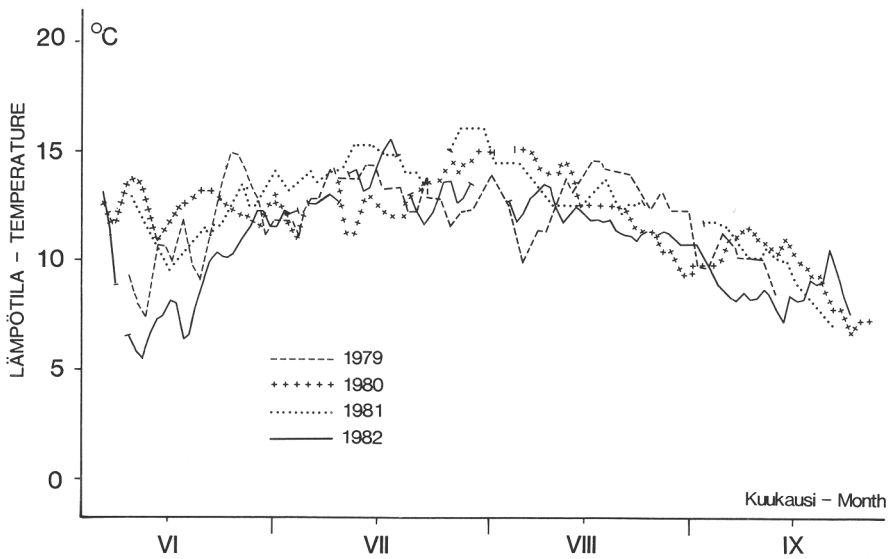
Kasvukausittaiset ilman lämpösummat on esitetty kuvassa 10. Vuoden 1980 poikkeuksellisen kylmä toukokuu haittasi pajujen kasvun alkamista. Maan lämpötila vaihteli 15 cm syvyydessä välillä $6\text{--}16^\circ\text{C}$ (kuva 11).



Kuva 9. Koaloille vuosittain sade- ja kasteluvedessä tulneiden sekä huuhtoutuneiden ravinteiden määrä. Kasteluvedessä koaloille tulleen sinkin pitoisuutta ei v. 1978 määritetty.
 Fig. 9. Annual amounts of nutrients added to the sample plots in rainfall and irrigation and removed in the leachate. Amount of Zn added in irrigation was not determined in 1978.



Kuva 10. Lämpösomman kehitys tutkimusjakson aikana.
 Fig. 10. Progression of the temperature sum in different growing seasons.



Kuva 11. Maan lämpötöila 15 cm syvyydessä vuosina 1979—1982.
 Fig. 11. Soil temperature at a depth of 15 cm in 1979—1982.

4. PAJUN VUOTUINEN BIOMASSAN TUOTOS

41. Pituuskasvu

Pajun pistokkaat olivat istutushetkellä keskimäärin 25 cm mittaisia. Pistokkaiden juurtumiseen kuluu n. 3 viikkoa (Rossi 1979 a ja b), joten vesojen pituuskasvu pääsi alkamaan vasta heinäkuussa. Pistokkaista juurtui ensimmäisenä vuonna n. 75 % ja niihin kehittyi 1—2 keskimäärin n. 80 cm:n pituista vesaa (taulukko 4). Juurtumatta jääneiden pistokkaiden tilalle istutettiin toisen kasvukauden alussa uudet, yksivuotiaat vesipajun kannot.

Toisena ja kolmantena vuonna pajun vesat olivat käsittelyssä II selvästi lyhyempiä kuin käsittelyssä I (kuva 12). Neljäntenä ja viidentenä vuonna, jolloin lannoitemäärät olivat molemmissa käsittelyissä yhtäsuuret, ei vesojen pituuksissa ollut enää selviä eroja eri käsittelyjen välillä.

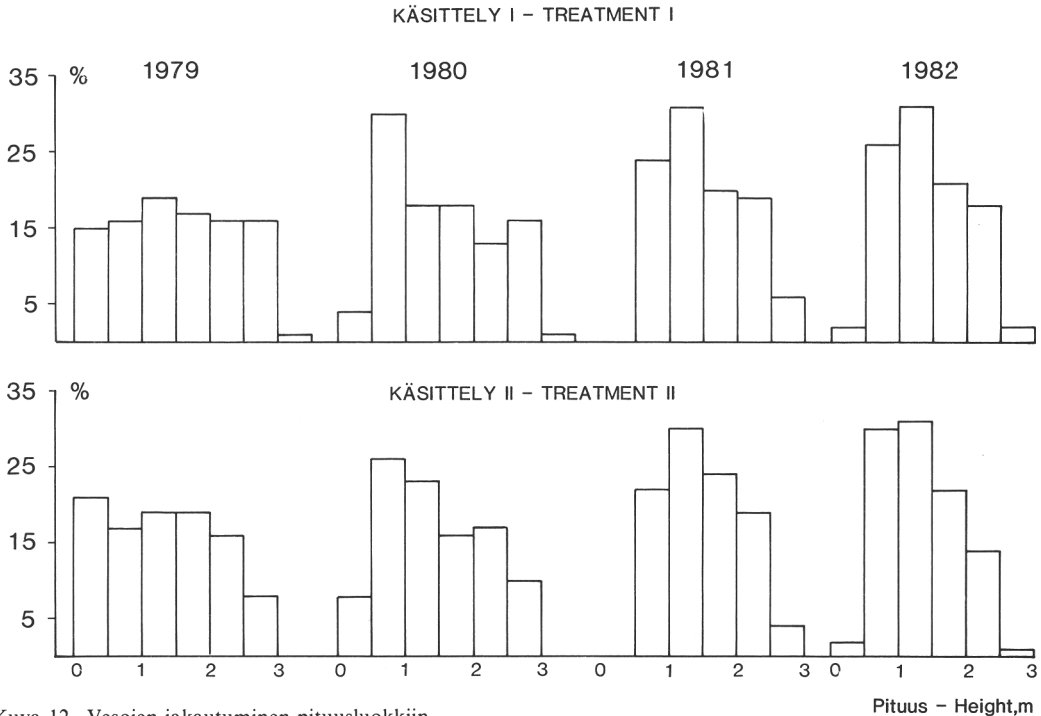
Vesojen keskimääräinen pituus lisääntyi

tasaisesti elokuun puoliväliin asti (kuva 13). Tämän jälkeen kasvu hidastui, mutta jatkui syyskuun loppupuolelle asti. Kussakin kannoissa oli keskimäärin 7—10 vesaa (taulukko 4). Kannoista kuoli vuosittain käsittelyssä I 3—8 % ja käsittelyssä II 1—3 % (taulukko 4).

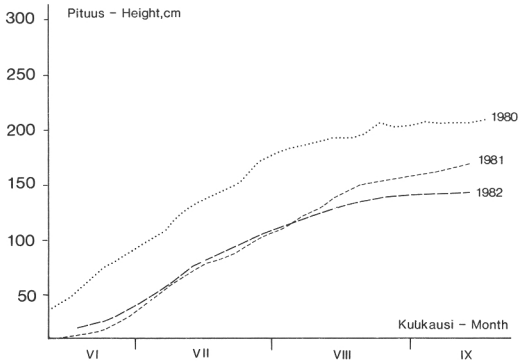
Taulukko 4. Vesojen lukumäärä/kanto sekä kantojen kuolleisuus ($\bar{x} \pm s_x$) tutkimusjakson aikana.

Table 4. Number of shoots/stump and stump mortality ($\bar{x} \pm s_x$) during the course of the study.

Vuosi Year	Vesoja/kanto Shoots/stump		Kantojen kuolleisuus % (kumulatiivinen) Stump mortality, % (cumulative)	
	Käsittely — Treatment I	II	Käsittely — Treatment I	II
1978	1	1	23 ± 4	27 ± 5
	Täydennysistutus keväällä 1979 Supplementary planting in spring 1979			
1979	7	6	3 ± 1	3 ± 2
1980	8	8	11 ± 8	5 ± 2
1981	7	8	18 ± 3	5 ± 3
1982	9	10	21 ± 5	6 ± 1

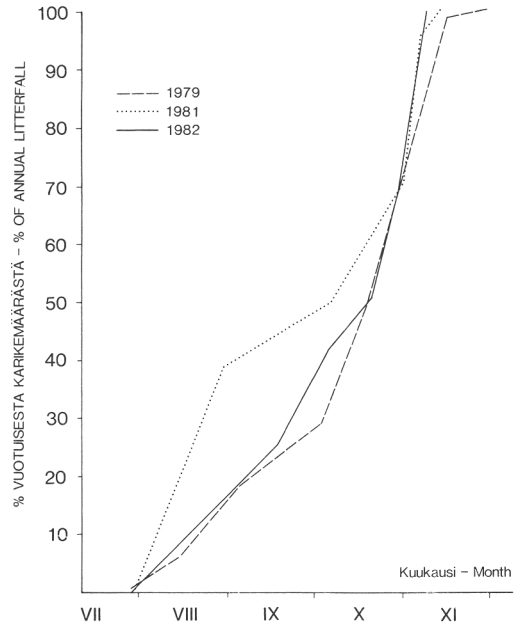


Kuva 12. Vesojen jakautuminen pituusluokkiin.
Fig. 12. Distribution of the shoots into height classes.



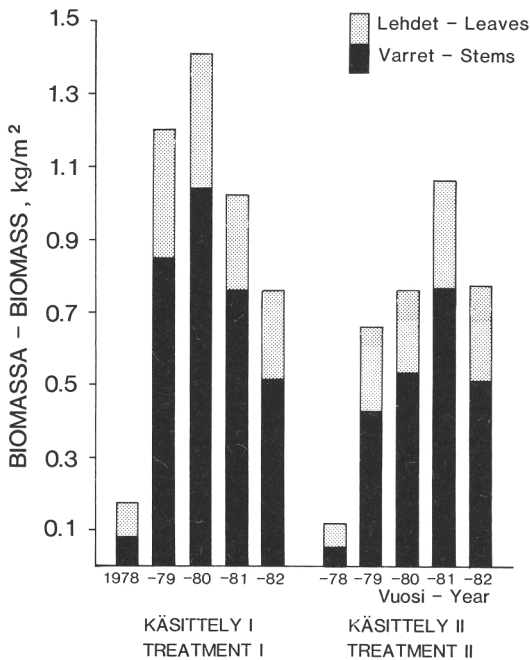
Kuva 13. Vesojen keskimääräinen pituuden kehitys vuosina 1980, 1981 ja 1982.

Fig. 13. Mean height development of the stems in 1980, 1981 and 1982.



Kuva 15. Maahan palautuneen karikkeen määrä (kumulatiivinen) vuosina 1979, 1981 ja 1982.

Fig. 15. Amount of litter (cumulative) reaching the ground in 1979, 1981 and 1982.



Kuva 14. Pajun vuotuinen kuiva-ainetuotos tutkimusjakson aikana.

Fig. 14. Annual dry biomass production of willow during the course of the study.

42. Biomassa

Myöhäisestä istutusajankohdasta sekä melko suuresta pistokkaiden kuolleisuudesta johtui, että pajun biomassan tuotos jäi ensimmäisenä vuonna vaatimattomaksi (kuva 14). Lehtien osuus biomassasta oli tuolloin keskimäärin 57 %.

Osaksi valon, osaksi veden puutteen johdosta osa lehdistä kellastui ja varisi jo heinäelokuun aikana. Ensimmäistä vuotta lukuunottamatta varisseiden lehtien määrä lisättiin elokuun lopussa määritettyyn lehtibiomassaan.

Toisena vuonna biomassatuotos oli käsittelyssä I $1.2 \pm 0.1 \text{ kg/m}^2$ ja kolmantena vuonna $1.4 \pm 0.1 \text{ kg/m}^2$ (kuva 14). Käsittelyssä II biomassatuotos oli toisena ja kolmantena vuonna selvästi pienempi kuin käsittelyssä I, mikä johtui todennäköisesti siitä, että käsittelyssä II lannoitemäärä oli liian pieni. Lehtien osuus biomassasta oli toisena ja kolmantena vuonna käsittelyssä I 29 % ja 26 % sekä käsittelyssä II 36 % ja 30 %.

Neljäntenä ja viidentenä vuonna ei biomassatuotoksessa enää ollut eroja eri käsittelyjen välillä. Biomassatuotos oli käsittelyssä I

neljäntenä vuonna $1.0 \pm 0.1 \text{ kg/m}^2$ ja viidentenä vuonna $0.8 \pm 0.04 \text{ kg/m}^2$ sekä lehtien osuus biomassasta 26 % ja 32 % vastaavasti (kuva 14). Käsittelyssä II biomassan tuotos oli neljäntenä vuonna $1.1 \pm 0.2 \text{ kg/m}^2$ ja viidentenä vuonna $0.8 \pm 0.03 \text{ kg/m}^2$ sekä lehtien osuus biomassasta 28 % ja 32 % vastaavasti.

Vertailuna esitetyille biomassatuotosta koskeville tuloksille mainittakoon, että niinikään Suonenjoen tutkimusasemalla 1-vuoden kiertojalla kasvatetun vesipajukasvuston varsien biomassatuotos oli toisena vuonna $0,65 \text{ kg/m}^2$ ja koripajukasvuston neljäntenä vuonna $0,7 \text{ kg/m}^2$ vastaavasti (Pihlström 1982).

Valtaosa pajun lehdistä säilyi vihreinä pitkälle syksyyn. Lehdet varisivat pääasiassa vasta loka-marraskuussa (kuva 15), jolloin hallan vaurioittamat lehdet olivat muuttu-

neet tummanruskeiksi. Vuosittain tuli lehtikariketta maahan seuraavasti:

vuosi	karikkeen määrä g/m^2
1979	191 ± 3
1981	223 ± 1
1982	195 ± 6

Vuonna 1980 lumi tuli aikaisin ja karikkeiden keruu jouduttiin lopettamaan jo lokakuun lopussa. Osa pajun lehdistä varisi jo kesällä. Syyskuun alkuun mennessä oli v. 1981 varissut jopa 40 % sekä vuosina 1979 ja 1982 keskimäärin 16 % kyseisinä vuosina kaikenkaikkiaan varisseista lehdistä (kuva 15).

Juuriston biomassaa ei tässä tutkimuksessa määritetty. Pihlströmin (1982) mukaan juurten osuus pajun kokonaisbiomassasta on 18—20 %, Sirénin ja Sivertssonin (1976) mukaan n. 15 %.

5. PAJUN VUOTUINEN RAVINTEIDEN OTTO JA VEDEN KÄYTTÖ

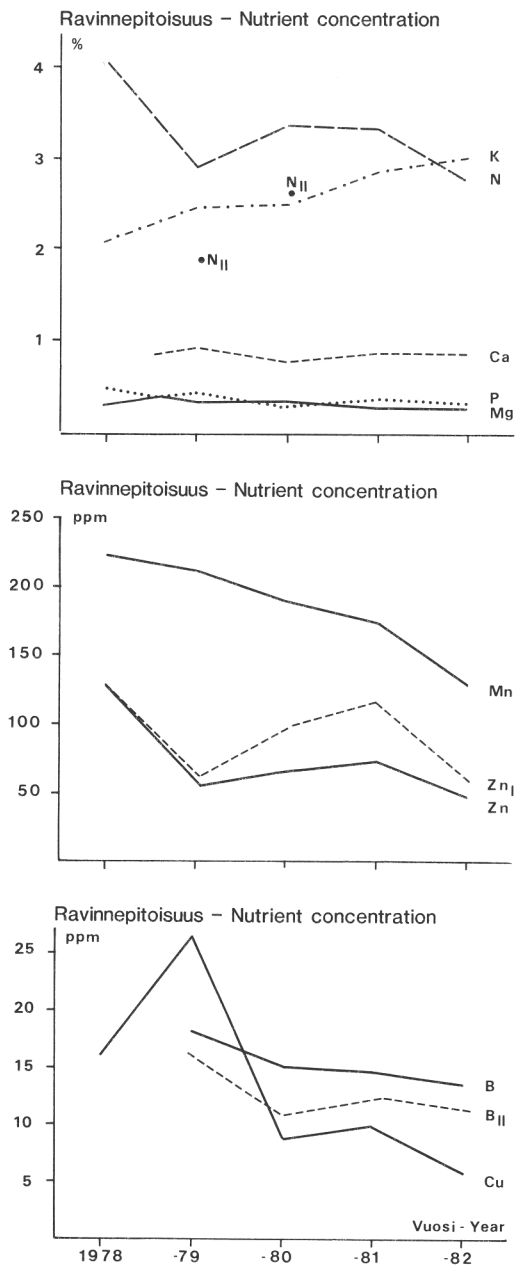
51. Biomassaan vuosittain sitoutuneet ravinnemäärät

Lehtien ravinnepitoisuudet olivat korkeammat kuin varsien (kuvat 16 ja 17). Ero lehtien ja varsien pääravinnepitoisuuksissa oli suhteellisesti suurempi kuin ko. kasvinosien hivenainepitoisuuksissa. Lehdissä typpipitoisuus oli korkeampi kuin kaliumpitoisuus, varsissa tilanne oli päinvastainen.

Varsien ravinnepitoisuudet sekä lehtien typpi-, fosfori- ja sinkkipitoisuus olivat ensimmäisenä vuonna korkeammat kuin myöhemmin tutkimusjakson aikana. Lehtien kuparipitoisuus oli toisena vuonna poikkeuksellisen korkea. Toisen vuoden syksyllä oli sekä varsien typpi-, fosfori- ja kaliumpitoisuus että lehtien typpi- ja kaliumpitoisuus pienin, mutta alkoi sen jälkeen, lannoituksen lisääntyessä kohota. Lehtien typpi-, fosfori- ja kaliumpitoisuus oli neljäntenä vuonna keskimäärin 3,4; 0,4 ja 2,8 % ja varsien 0,7; 0,2 ja 1,2 % vastaavasti. Päinvastoin kuin lehtien ja varsien muut ravinnepitoisuudet, lehtien kaliumpitoisuus kohosi vielä viidentenä vuonna, jolloin lannoitemäärää pienennettiin. Kaliumia oli tuolloin lehdissä keskimäärin

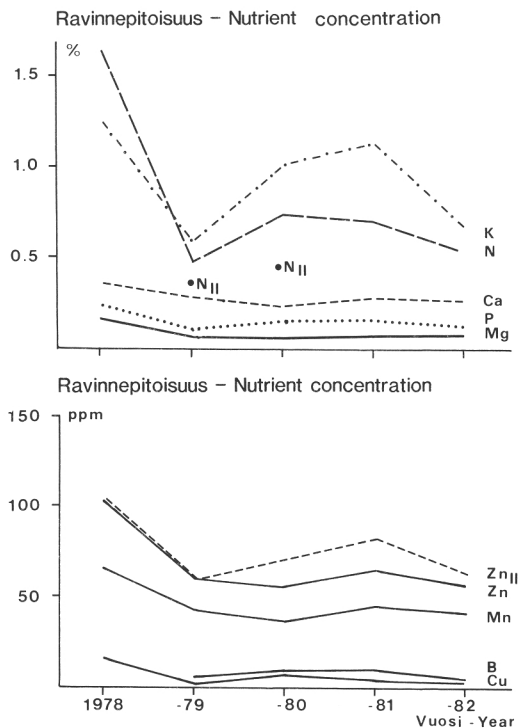
3,0 % ja tyypeä enää 2,8 %. Maan kaliumpitoisuus oli vielä viidentenä vuonna korkea (kuva 4) ja ilmeistä oli, että koska kalium on helposti liikkuva, sitä siirtyi nopeasti kasvien aktiivisiin osiin. Näsin ja Pohjosen (1981) mukaan vesipajun lehtien kaliumpitoisuus kohosi selvästi NPK-lannoituksen seurauksena. Vesipajun lehtien typpi-, fosfori- ja kaliumpitoisuus oli kyseisessä tutkimuksessa 2,6; 0,4 ja 2,2 %. Niinikään kenttäkokeiden pohjalta on vesipajun lehtien typpi-, fosfori- ja kaliumpitoisuudeksi esitetty 3,5; 0,4 ja 3,3 % (Karsisto ym. 1983). Kauniston (1983) kasvihuonekokeessa on koripajun lehtien typpi-, ja fosfori- ja kaliumpitoisuus vaihdellut välillä 0,9—5,2; 0,1—0,6 ja 0,6—2,9 %. Sirénin (1982) mukaan nopeakasvuisten, jalostettujen pajujen typpipitoisuus on lehdissä 3—4 %, kuoressa 1—2 %, runkokuuissa 0,4—0,6 ja juurissa 0,4—0,6 %.

Typpi- ja fosforipitoisuus oli sekä lehdissä että varsissa toisena ja kolmantena vuonna käsittelyssä I korkeampi kuin käsittelyssä II (kuvat 16 ja 17). Hivenaineista lehtien ja varsien sinkkipitoisuus oli koko tutkimusjakson ajan korkeampi käsittelyssä II kuin käsittelyssä I.



Kuva 16. Lehtien keskimääräiset ravinnepitoisuudet. Käsitely I. Kuvaan on merkitty käsittelyn II osalta N vuosina 1979 ja 1980 sekä Zn ja B vuosina 1979–1982, jotka eroavat oleellisesti käsittelyn I vastaavista tuloksista.

Fig. 16. Mean nutrient contents of the leaves. Treatment I. Values for nitrogen (1979 and 1980) and zinc and boron (1979–1982) in treatment II are included in the figures as they differed significantly from the results for treatment I.

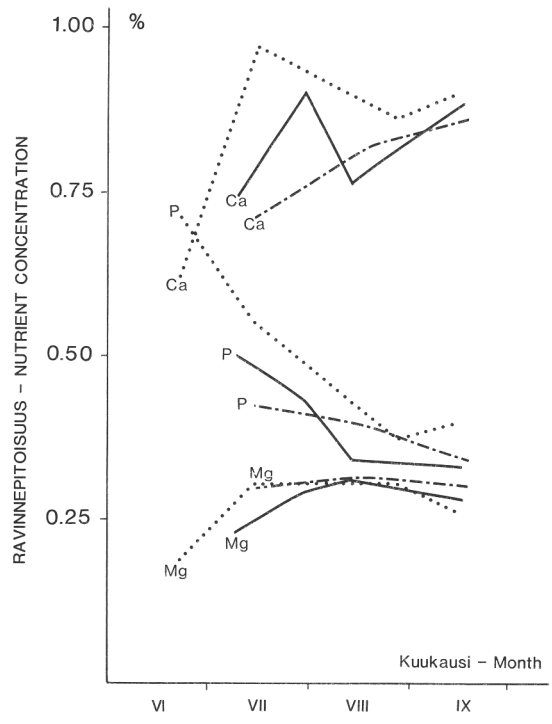
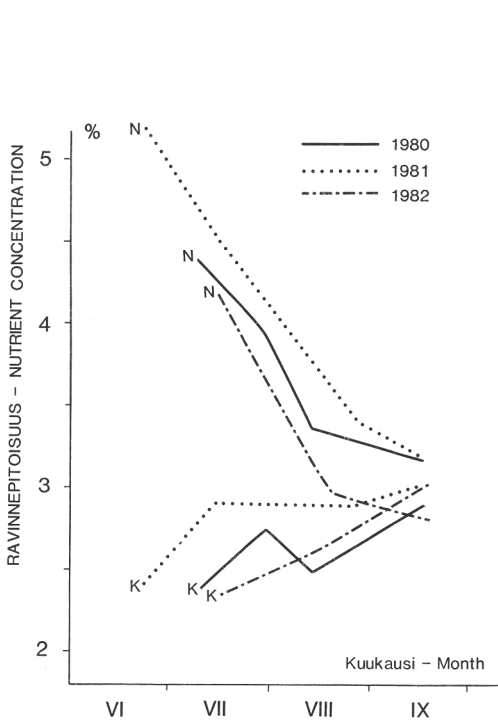


Kuva 17. Varsien keskimääräiset ravinnepitoisuudet (elokuu) tutkimusjakson aikana. Käsitely I. Kuvaan on merkitty käsittelyn II osalta N vuosina 1979 ja 1980 sekä Zn vuosina 1979–1982, jotka eroavat oleellisesti käsittelyn I vastaavista tuloksista.

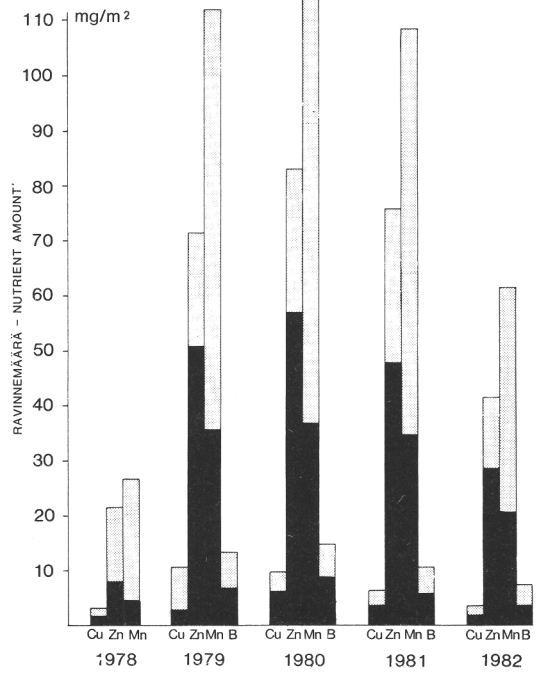
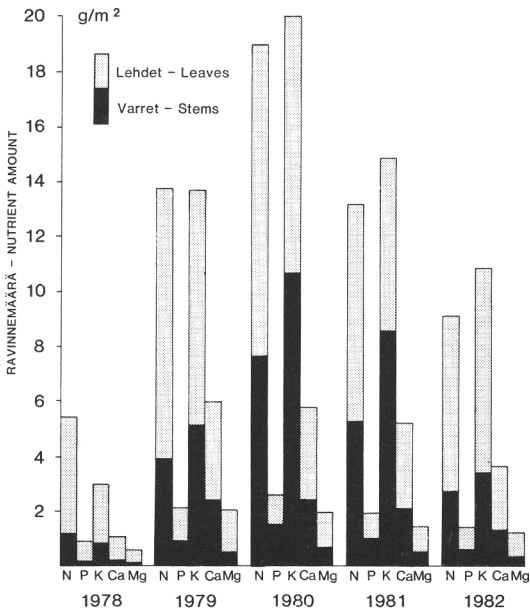
Fig. 17. Mean nutrient contents of the shoots (in August) during the course of the experiment. Treatment I. Values for nitrogen (1979 and 1980) and zinc (1979–1982) in treatment II are included in the figures as they differed significantly from the results for treatment I.

Tutkimuksessa seurattiin myös ravinteiden kasvukauden aikaista vaihtelua. Lehtien typi- ja fosforipitoisuus laski kasvukauden loppua kohti, kaliumpitoisuus oli puolestaan kasvukauden alussa matalin (kuva 18). Sinkkipitoisuus oli kasvukauden alussa korkeimmillaan ja alkoi sen jälkeen laskea kasvukauden loppua kohti. Muuta säännönmukaisuutta ei hivenainepitoisuuksissa kasvukauden aikana ilmennyt.

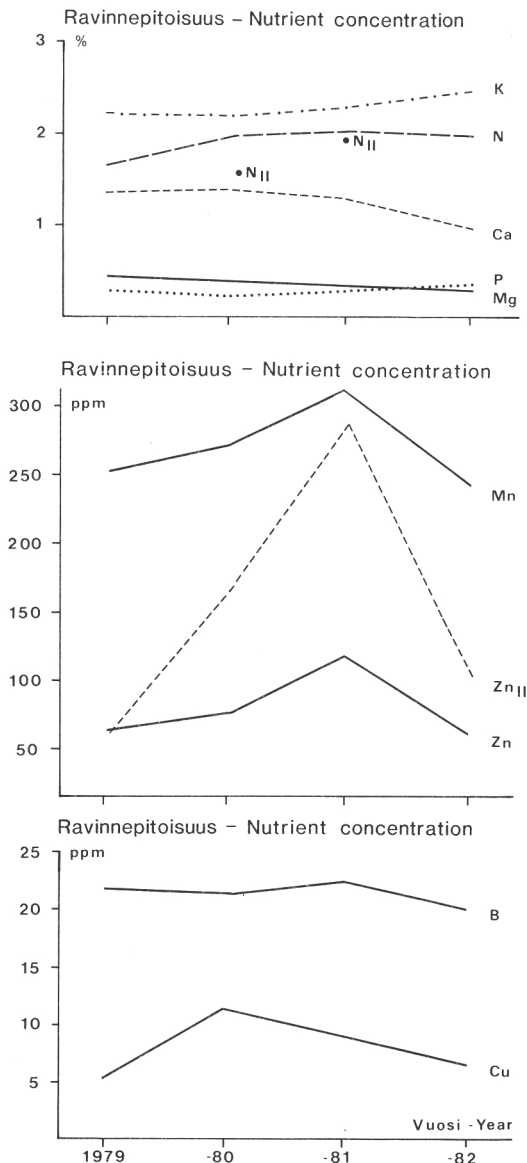
Pajuihin sitoutuneiden ravinteiden määrä laskettiin eri puunosien ravinnepitoisuuksien ja vastaavien puunosien kuivamassojen avulla (kuva 19). Huomattavaa tuloksissa oli, että kaliumia oli pajussa toisesta vuodesta lähtien joko yhtä paljon tai jopa enemmän kuin tyypeä. Toisena vuonna lehtiin oli sitoutunut poikkeuksellisen runsaasti kuparia. Pääravinteisiin verrattuna sitoutui kuparia, sinkkiä ja booria suhteellisesti enemmän varsiin kuin lehtiin.



Kuva 18. Lehtien pääravinnepitoisuuksien kasvukauden aikainen vaihtelu.
 Fig. 18. Mean variation in the macronutrient contents of the leaves during vegetation period.



Kuva 19. Pajukasvustoon vuosittain sitoutuneiden ravinteiden määrä tutkimusjakson aikana.
 Fig. 19. Annual amounts of nutrients bound in the willow biomass during the course of the experiment.



Kuva 20. Varisseiden lehtien keskimääräiset ravinnepitoisuudet tutkimusjakson aikana. Käsittely I. Kuvaan on merkitty käsittelyn II osalta N vuosina 1980 ja 1981 sekä Zn vuosina 1979—1982, jotka eroavat oleellisesti käsittelyn I vastaavista tuloksista.
 Fig. 20. Mean nutrient contents of the leaves shed during the course of the experiment. Treatment I. Values for nitrogen (1980 and 1981) and zinc (1979-1982) in treatment II are included in the figures as they differed significantly from the results for treatment I.

Taulukko 5. Lehtikarikkeessa maahan vuosittain palautuneiden ravinteiden määrä ($\bar{x} \pm s_x$) tutkimusjakson aikana.

Table 5. Amount of nutrients ($\bar{x} \pm s_x$) returned to the soil in litter during the course of the study.

Ravinne Nutrient	Vuosi — Year			
	1979	1980	1981	1982
N g/m ²	3,2 ± 0,1	2,6 ± 0,4	4,5 ± 0,0	4,1 ± 0,1
P „	0,5 ± 0,0	0,3 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,6 ± 0,0
K „	4,3 ± 0,2	3,3 ± 0,4	4,7 ± 0,1	4,8 ± 0,2
Ca „	2,5 ± 0,1	2,0 ± 0,2	2,9 ± 0,0	1,8 ± 0,0
Mg „	0,8 ± 0,0	0,5 ± 0,1	0,8 ± 0,0	0,6 ± 0,0
Cu mg/m ²	1,1 ± 0,2	1,7 ± 0,7	2,0 ± 0,2	1,3 ± 0,1
Zn „	11,9 ± 1,4	10,9 ± 5,4	27,5 ± 9,9	12,2 ± 2,3
Mn „	47,1 ± 5,4	38,9 ± 0,0	75,2 ± 3,9	46,5 ± 5,3
B „	4,2 ± 0,2	3,1 ± 0,4	5,1 ± 0,1	4,1 ± 0,3

Taulukko 6. Karikesadossa vuosittain maahan palautuneiden ravinteiden määrä prosentteina kasvillisuuteen sitoutuneista ravinteista. Tulokset on esitetty vuosien 1979, 1981 ja 1982 keskiarvona ($\bar{x} \pm s_x$).

Table 6. Amount of nutrients returned annually to the ground in litter as a percentage of the total amount of nutrients bound in the vegetation. Mean values ($\bar{x} \pm s_x$) for 1979, 1981 and 1982.

Ravinne — Nutrient	%
N g/m ²	34 ± 6
P „	33 ± 6
K „	36 ± 4
Ca „	49 ± 4
Mg „	45 ± 4
Cu mg/m ²	26 ± 8
Zn „	27 ± 6
Mn „	62 ± 10
B „	45 ± 7

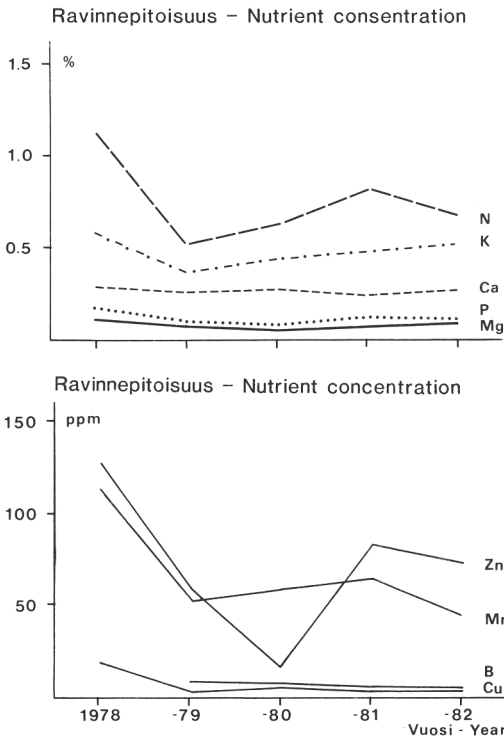
52. Lehtikarikkeessa maahan palautuneet ja biomassan korjuussa poistuneet ravinne määrät

Kesällä ja syksyllä varisseiden lehtien ravinnepitoisuuksissa ei ollut merkittäviä eroja, joten tulokset esitetään tässä vuosittaisten keruujaksojen keskiarvoina (kuva 20). Varisseiden lehtien kalsium- ja hivenainepitoisuudet olivat korkeammat kuin vihreissä lehdisissä. Keruujaksoittain maahan palautuneet ravinne määrät laskettiin yhteen, jolloin saatiin tulokset vuotta kohti (taulukko 5). Karikkeessa palautui maahan biomassan sitoutuneista pääravinteista suhteellisesti eniten kalsiumia ja magnesiumia, hivenaineista mangaania ja booria (taulukot 5 ja 6). Karikkeessa palautui maahan enemmän kaliumia kuin typpeä.

Biomassan korjuussa kasvupaikalta poistui vuosittain osa kasvillisuuteen sitoutuneis-

Taulukko 7. Biomassan korjuussa vuosittain poistuneiden ravinteiden määrä ($\bar{x} \pm s_x$) tutkimusjakson aikana.
 Table 7. Amount of nutrients ($\bar{x} \pm s_x$) removed in annual harvesting of the biomass during the course of the study.

Ravinne Nutrient	1978	1979	Vuosi — Year 1980	1981	1982
N g/m ²	0,9 ± 0,2	5,0 ± 0,4	7,2 ± 0,5	5,7 ± 0,3	3,3 ± 0,3
P ”	0,1 ± 0,0	0,9 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,6 ± 0,1
K ”	0,4 ± 0,1	3,2 ± 0,2	5,1 ± 0,4	3,4 ± 0,1	3,0 ± 0,1
Ca ”	0,2 ± 0,1	2,1 ± 0,1	3,2 ± 0,3	1,9 ± 0,2	1,4 ± 0,1
Mg ”	0,1 ± 0,0	0,6 ± 0,0	0,6 ± 0,0	0,5 ± 0,0	0,4 ± 0,0
Cu mg/m ²	1,8 ± 0,8	2,6 ± 0,2	5,5 ± 0,4	3,6 ± 0,5	1,7 ± 0,1
Zn ”	8,6 ± 2,7	52,9 ± 1,5	59,1 ± 4,6	51,2 ± 8,7	30,4 ± 3,8
Mn ”	7,4 ± 2,0	46,9 ± 0,8	39,4 ± 6,7	39,2 ± 7,0	21,7 ± 2,7
B ”	—	6,5 ± 0,3	7,3 ± 0,5	5,3 ± 0,4	3,6 ± 0,2



Kuva 21. Varsien keskimääräiset ravinnepitoisuudet (marraskuu) tutkimusjakson aikana.
 Fig. 21. Mean nutrient contents of the stems (in November) during the course of the experiment.

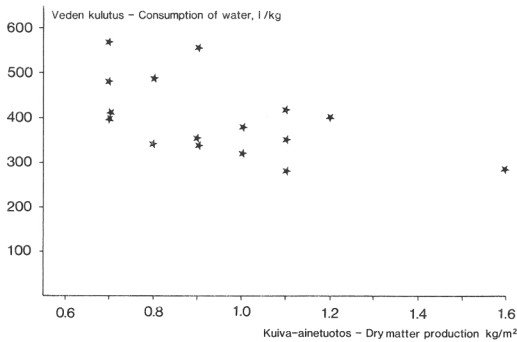
ta ravinteista (taulukko 7). Ennen lehtien varisemista osa niiden sisältämistä ravinteista oli siirtynyt muihin puunosiin. Varsien typpi-, fosfori- ja mangaanipitoisuus oli lehtien varistua korkeampi, kaliumpitoisuus puolestaan pienempi, kuin elokuussa (kuva 21). Ilmeistä on, että helppoliukoista kaliumia oli syksyn aikana huuhtoutunut varsien pinnalta. Mahdollisesti osa kaliumista oli siirtynyt

juuriin. Vertailuna mainittakoon, että Bakerin ja Blackmonin (1977) mukaan haavan, *Populus deltoides*, oksien ja rungon kaliumpitoisuus pysyi lehtien kellastuttua muuttumattomana, vaikka lehtien kaliumpitoisuus pieneni. Juurten kaliumpitoisuus sen sijaan samanaikaisesti kohosi.

53. Pajun veden käyttö

Kasvien veden kulutukseen vaikuttavat mm. kasvilaji ja juuriston koko, kasvuston tiheys sekä maan fysikaaliset ominaisuudet. Kasvien veden kulutusta kuvataan usein nk. transpiraatiokertoimen avulla, millä tarkoitetaan sitä vesimäärää, jonka kasvi tai kasvusto tarvitsee tietyn biomassayksikön (1 vettä/kg kuiva-ainetta) tuottamiseen. Eri puulajien transpiraatiokertoimiksi on saatu (Larcher 1975): tammi 340, koivu 320, mänty 300, lehtikuusi 260, kuusi 230, pyökki 170. Viljakasvit kuluttavat Suomessa keskimäärin 350–400 l vettä/kg tuotettua kuiva-ainetta, mikä vastaisi n. 250 mm veden tarvetta kasvukauden aikana (Lampinen 1983).

Koaloilta valuneen veden määrää päätettiin seuraamaan keskimäärin toukokuun alussa, jolloin altaiden valuntaputket avattiin. Keväällä lumen sulamisesta johtuvan runsaan veden aikana, jolloin kasvuston veden tarve oli vielä vähäinen, valuminen oli runsasta (kuva 7). Valuminen jatkui runsaana vielä kesäkuussa johtuen osaksi lannoituksen liittyvästä kastelusta. Viimeistään heinäkuun puolivälissä kasvusto oli jo niin tiheää, että se pystyi käyttämään kaiken koaloille tulleen veden. Valuminen alkoi uudelleen vasta marraskuussa, lukuunottamatta



Kuva 22. Veden kulutus (l) tuotettua kuiva-ainekiloa kohti vuosina 1979—1982.

Fig. 22. Consumption of water per kilogram dry matter produced during 1979—1982.

kolmatta vuotta, jolloin maa jäättyi pian kasvukauden päätyttyä. Vettä valui keskimäärin joulukuun loppuun eli maan jäätymiseen asti, jolloin altaiden valuntaputket suljettiin.

Pajukasvuston veden käyttö (evaporaatio + transpiraatio) tuotettua biomassakiloa kohti laskettiin kasvukauden aikana koelaitteille tulleen ja niiltä valuneen veden määrän sekä biomassatuotoksen perusteella. Veden käyttö tuotettua biomassayksikköä kohti oli runsasta kun biomassatuotos oli pieni, mutta vähentyi kun biomassatuotos lisääntyi (kuva 22). Paju käytti vettä keskimäärin 350 l, kun biomassatuotos oli vähintään 1 kg/m² (taulukko 8). Pajujen käyttämän veden ja maasta haihtuneen veden osuutta ei tässä tutkimuk-

Taulukko 8. Pajun veden käyttö litroina tuotettua biomassayksikköä kohti. Sulkeissa lysimetrikoealojen keskimääräinen biomassan tuotos (kg/m²).

Table 8. Consumption of water (in litres) per unit biomass produced by willow. Mean biomass production (kg/m²) obtained in the lysimeter experiment is given in parentheses.

Vuosi — Year	Veden kulutus l/kg biomassa Water consumption l/kg biomass	
	Käsittely — Treatment	
	I	II
1979	365 (1,1)	526 (0,8)
1980	347 (1,4)	492 (0,9)
1981	331 (1,0)	311 (1,0)
1982	443 (0,7)	370 (0,7)

sessä voitu erottaa. Ilmeistä kuitenkin on, että tiheässä pajukasvustossa ei maan pinnalta haihtuneen veden määrä ole suuri. Kastelua lisäämällä biomassatuotosta olisi mahdollisesti voitu kohottaa. Vertailuna esitetyille tuloksille mainittakoon, että kasvihuoneolosuhteissa koripajun veden käyttö tuotettua biomassayksikköä kohti oli pienillä biomassatuotoksilla runsasta mutta vähentyi käyräviivaisesti kokonaistuotoksen lisääntyessä ja muuttui verraten vakiotasolle (300—350 l/kg) kuiva-ainetuotoksen ollessa 0.8—1.6 kg/m² (Kaunisto 1983). Evaporaation osuus veden kokonaiskulutuksesta oli tällöin 15—20 %.

6. TULOSTEN TARKASTELU

6.1. Vuotuinen biomassatuotos

Lyhytkiertopuun biomassatuotoksen määrittämiseen ei ole vielä vakiintunut mitään tiettyä menetelmää. Heinonen ja Ferm (1983) ovat tutkineet biomassan määrittämiseen liittyviä virhelähteitä ja sitä kautta pyrkineet löytämään yksinkertaisen menetelmän biomassan mittaamiseksi. Mikäli pajua kasvatetaan yhden vuoden kiertoaikaa käyttäen, voidaan varsibiomassa luotettavimmin määrittää biomassan korjuun yhteydessä. Pihlströmin (1982) mukaan varsien pituuden ja eri puunosien kuivamassan väliseen riippuvuuteen

perustuva regressioyhtälö kuvaa vesipajun lehti-, kuori-, puu- ja kokonaisbiomassaa, mikäli vesat eivät ole haaraisia. Olennaisesti edellisestä ei poikkea regressioyhtälö, joka perustuu vesojen pituuteen, tyviläpimitaan ja kuivamassaan edellyttäen, etteivät kyseessä ole haaroittuneet vesat (Pihlström 1982). Toisaalta Olssonin ja Flower-Elliksen (1980) mukaan pelkkä varren tyviläpimitan ja kuivamassan väliseen riippuvuuteen perustuva regressioyhtälö kuvaa parhaiten varren kuivamassaa. Cannel ja Smith (1980) esittävät, että lyhytkiertoviljelykokeissa voidaan määrittää biomassaa, kun tiedetään puuston ikä ja

tiheys. Kuitenkin edellä esitetty menetelmä ei sovellu yhden vuoden kiertoajalla kasvatettaville energiametsäviljelmille (Pihlström 1982).

Tässä tutkimuksessa lehti- ja varsibiomassan määrittäminen perustui vuosittain kasvinäytteen oton yhteydessä, elokuun lopussa, määritettyyn varsien pituuden ja varsien/lehtien kuivamassan väliseen riippuvuuteen. Käytettyjen regressioyhtälöiden selitysaste oli lähes poikkeuksetta yli 90 %. Yhtälöiden selitysasteet olivat korkeammat varsille kuin lehdistä. Vesipajun kasvu voi Suomen oloissa jatkua jopa lokakuulle asti (Pohjonen ym. 1980, Pihlström 1982). Tästä syystä varsibiomassaa laskettaessa, elokuun lopussa määritettyihin regressioyhtälöihin sijoitettiin pituuksiksi syyskuun lopussa mitattujen vesojen pituudet. Lehtibiomassan ei sen sijaan enää oletettu muuttuvan syyskuussa.

Kokeen perustamisvuonna pistokkaat istutettiin vasta kesäkuun puolivälissä, mikä oli noin kuukautta myöhemmin kuin tavallisesti. Osaksi tästä johtui, että biomassatuotos jäi ensimmäisenä vuonna pieneksi. Osaksi lienee myös synynä se, että vaikka kasvualustana käytetty turve oli ravinteiden pidättymisen kannalta sopiva kasvualusta, se ei ollut pistokkaiden juurtumisen ja alkukehityksen kannalta hyvä (Rossi 1979 a ja b). Kasvualustan pH oli koko tutkimusjakson ajan 5—6 eli pajun kasvatuksen kannalta optimaalinen (Ericsson ja Lindsjö 1981). Maan kosteuspitoisuus laski kolmantena ja viidentenä vuonna heinäkuussa selvästi alle 70 %:iin ja pajut kärsivät veden puutteesta. Tämä ilmeni alalehtien kellastumisena ja varisemisena. Todennäköistä on, että tämä heikensi myös biomassan tuotosta.

Biomassatuotos oli vuosina 1979—1982 käsittelyssä I keskimäärin 1,1 kg/m² ja käsittelyssä II 0,9 kg/m². Lehtien osuus biomassasta oli keskimäärin 30 %. Heino ja Pohjonen (1981) ovat arvioineet, että hyvissä olosuhteissa, riittävän tiheästi vesoneen kasvuston varsien vuotuinen kuiva-ainetuotos olisi 10—20 tn/ha (1—2 kg/m²). Istutustiheys vaikuttaa pajukasvuston biomassatuotokseen ensimmäisenä vuonna (Pohjonen 1974). Pohjois-Irlannissa vesipajun vuotuisiksi tuotokseksi on saatu keskimäärin 11,4 tn/ha kun istutustiheys oli 0,35 × 0,7 m, 12,4 tn/ha kun istutustiheys oli 0,7 × 0,7 m ja 11,6 tn/ha kun istutustiheys oli 1 × 1 m (Stott ym. 1982). Kiertoajan pituus (1—3 v) ei vaikutta-

nut vuotuisen biomassatuotokseen kun istutustiheys oli 0,35 × 0,7 m. Suuremmilla istutustiheyksillä vuotuinen biomassan tuotos sen sijaan lisääntyi kiertoajan pidentyessä.

Koska pajuvielmien perustamis- ja hoitokustannukset ovat suuret, on luontaisesti syntyneiden pajukoiden hyödyntämiseen kiinnitetty huomiota, vaikkei niillä mahdollisesti saavutettaisikaan yhtä suuria biomassatuotoksia kuin viljelmillä. Luontaisesti syntyneessä pajukossa varsien kasvu oli voimakkaimmillaan 15 vuoden iässä, jolloin se oli n. 0,7 kg/m²/v (Issakainen 1982).

Toisena ja kolmantena vuonna pajut saivat käsittelyssä II (lannoite annettiin kiinteänä) vähemmän lannoitetta kuin käsittelyssä I (lannoite annettiin liuoksena). Tästä seurasi, että maan fosforin-, kaliumin- ja liukoksen typen pitoisuus samoin kuin pajun biomassan tuotos oli käsittelyssä II pienempi kuin käsittelyssä I. Ilmeistä on, että tässä tutkimuksessa ei ollut merkitystä sillä annettiin lannoite kiinteänä vai liuoksena, koska kiinteän lannoituksen saaneita koealoja kasteltiin vastaavalla vesimäärällä kuin liuoslannoituksen saaneita koealoja. Ilmeistä lisäksi on, että käsittelyssä II pajut eivät saaneet riittävästi ravinteita, sillä neljäntenä vuonna, jolloin lannoitemäärää selvästi lisättiin suureni myös biomassan tuotos. Viidentenä vuonna, jolloin lannoitemäärää molemmissa käsittelyissä puolestaan pienennettiin, pieneni myös biomassan tuotos. Mahdollista lisäksi on, että kantojen biomassan tuotoskyky alkaa iän myötä heiketä, mikä ilmeni ensimmäisten vuosien suurempana biomassan tuotoksena käsittelyssä I jo neljäntenä vuonna. Kantojen kuolleisuus oli koko tutkimusjakson ajan suurempi käsittelyssä I kuin II. Neljäntenä ja viidentenä vuonna, jolloin lannoitemäärät olivat molemmissa käsittelyissä samat, ei eroja biomassatuotoksessa eri käsittelyjen välillä enää ollut.

62. Pajuekosysteemin vuotuinen ravinnetase

Energiametsäviljelyssä kasvatetaan lyhyellä kiertoajalla nopeakasvuisia lehtipuita, joiden ravinnetarve on suuri. Biomassan korjuun yhteydessä kasvupaikalta poistuu ravinteita, jotka on korvattava. Pajun ravinnetarpeen selvittämiseksi tutkittiin ravinteiden kiertoa pajuekosysteemin eri osissa (taulukko 9). Biomassaan sitoutuneiden ravinteiden

Taulukko 9. Ravinteiden kierto pajuekosysteemissä tutkimusjakson aikana. Tulokset on esitetty vuosien 1979—1982 keskiarvona. *Karike: keskiarvo vuosilta 1979, 1981 ja 1982.

Table 9. Cycling of nutrients in the willow ecosystem during the course of the study. Mean values for 1979–82. *Litter: mean for 1979, 1981 and 1982.

Ravinnetaseen osa Component of nutrient balance	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	B
Maanpäälliseen biomassaansa sitoutuneet — Bound in the aboveground biomass	13,8	2,1	14,9	5,2	1,7	7,5	67,9	99,0	11,5
Ekosysteemiin tulleet Input to the ecosystem									
Lannoitus — Fertilization	19,5	4,2	17,4	0,0	0,5	17	22	90	24
Kastelu — Irrigation	0,2	0,02	0,1	0,5	0,1	1,8	13,4	0,7	—
Sadevesi — Precipitation	0,6	0,03	0,2	0,3	0,1	7,6	14,4	4,6	—
	20,3	4,2	17,7	0,8	0,7	26,4	49,8	95,3	
Maahan palautuneet Input into the soil									
Karike — Litter*	3,9	0,6	4,6	2,4	0,7	1,5	17,2	56,3	4,4
Lehtien pinnalta huuhtoutuneet Leaching from foliage	-0,1	+0,01	+0,5	+0,1	+0,04	-0,7	-3,6	+0,8	—
	3,8	0,6	5,1	2,5	0,7	0,8	13,6	57,1	
Ekosysteemistä poistuneet Losses from the ecosystem									
Maasta huuhtotuneet Leaching from soil	0,1	0,002	0,1	0,4	0,2	0,6	53,5	0,2	—
Biomassan korjuussa poistuneet Biomass harvesting	5,3	0,9	3,7	2,2	0,5	3,4	48,4	36,8	5,7
	5,4	0,9	3,8	2,6	0,7	4,0	101,9	37,0	

määrän tulisi luonnollisesti olla yhtä suuri kuin karikkeessa maahan palautuneiden, lehtien pinnalta huuhtoutuneiden sekä biomassan korjuussa kasvupaikalta poistuneiden ravinteiden määrä yhteensä. Vaikka koe oli suunniteltu lysimetriperiaatteen mukaisesti, ei se kuitenkaan ollut täysin suljettu systeemi, sillä esimerkiksi biomassatuotukseen ja karikkeiden määrän laskemiseen liittyi virhelähteitä (ks. luku 22). Niinikään biomassan korjuussa poistuneiden ravinteiden laskemisessa käytettiin marras-joulukuussa määritettyjä varsien ravinnepitoisuuksia. Ilmeistä kuitenkin on, että erityisesti kaliumia oli huuhtoutunut syksyn aikana lehtien ja varsien pinnalta, mitä ei tässä tutkimuksessa kuitenkaan otettu huomioon. Mahdollista lisäksi on, että osa varsien ravinteista oli siirtynyt juuriin.

Typpeä, fosforia ja kaliumia annettiin lannoitteena keskimäärin suhteessa 100:20:84. Yhden kuiva-ainekilon tuottamiseen paju käytti enemmän kaliumia kuin typpeä (taulukko 10). Vertailuna voidaan esittää, että ravinnesuhteiltaan likimain optimaalisissa olosuhteissa kasvukammiossa kasvatettu vesipaju sisälsi kokeen lopussa, noin kahdeksan viikon ikäisenä, typpeä, fosforia ja kaliumia suhteessa 100:14:72 (Ericsson 1981 b). On

kuitenkin muistettava, että kyse oli nuorista kasveista, joiden maanpäälliset suhteet olivat vielä käytännön pajuviljelmiin verrattuna poikkeavat. Ericssonin (1981 b) mukaan paju pystyi ottamaan ravinteita tehokkaasti ja tästä syystä soveltuisi lyhytkiertoviljelyyn hyvin.

Paju käytti vuosittain tuotettua biomassakiloa kohti kaliumia yli kaksi ja fosforia lähes kaksi kertaa niin paljon kuin koivulle ja lepälle on aiemmin esitetty (taulukot 10 ja 11). Typpeä paju käytti vähemmän kuin leppä, mutta enemmän kuin koivu. Myös Viro (1955) oli todennut pajun lehtien korkean kaliumpitoisuuden muihin lehtipuihin verrattuna. Vastaavasti laboratorio-olosuhteissa on havaittu pajun suurempi kaliumin tarve koivuun ja leppään verrattuna (Ingestad 1979, 1980, Ericsson 1981 a ja b).

Osa ravinteista poistui kasvualustasta huuhtoutumalla. Koaloilta valuneen veden samoin kuin niiltä huuhtoutuneiden ravinteiden määrä jäi pieneksi. Pelkästään sadeveden mukana kasvit saivat kalsiumia, magnesiumia ja sinkkiä lukuunottamatta enemmän ravinteita kuin niitä maasta huuhtoutui. Viron (1953) mukaan Suomessa sadeveden mukana tulevat ravinteet korvasivat n. 46 % huuhtoutuneesta kaliumista, n. 56 % fosforista ja n. 83 % kalsiumista.

Taulukko 10. Pajun ravinteiden käyttö ($\bar{x} \pm s_x$) tuotet-
tua biomassayksikköä kohti.

Table 10. Consumption of nutrients ($\bar{x} \pm s_x$) per unit
biomass produced by willow.

Ravinne — Nutrient	
N g/kg	12,4 ± 0,4
P ”	1,9 ± 0,0
K ”	13,6 ± 0,8
Ca ”	4,8 ± 0,2
Mg ”	1,5 ± 0,1
Cu mg/kg	7 ± 1
Zn ”	62 ± 4
Mn ”	91 ± 6
B ”	11 ± 0

Pajuviljelmän lannoitustarpeen arvioimi-
sessa on lähtökohtana se, että korvataan bio-
massan korjuussa poistuvat ravinteet. Kui-
tenkin on muistettava, että mikään viljelmä
ei kykene käyttämään kaikkia saamia rav-
inteita. Huuhtoutumisen lisäksi osa ravin-
teista voi muuttua maassa kasveille käyttö-
kelvottomaan muotoon ja osa tyydestä haiht-
tua jo lannoituksen yhteydessä ammoniakki-
na. Puusto ottaa lannoitetyypistä taimikoissa
yleensä vajaat 10 % ja varttuneimmassakin
puustossa vain 20—25 % (Paavilainen 1979).
Lisäksi on muistettava, että vaikka osa kas-
veihin sitoutuneista ravinteista palautuu leh-
tikarikkeessa maahan, ne eivät kuitenkaan
välttämättä tule heti kasvien käyttöön (esim.
Edmonds 1980). Pajun lehtikarikkeesta hajo-
si 11 kk aikana keskimäärin noin neljännes ja
18 kk aikana noin puolet.

7. YHTEENVETO

Tutkimuksessa seurattiin biomassan tuo-
tosta, ravinteiden (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn,
Mn, B) kiertokulkua vesipajuekosysteemissä
(*Salix 'Aquatica Gigantea'*) sekä pajun veden
käyttöä viiden vuoden aikana. Biomassan ja
siihen sitoutuneiden ravinteiden osalta tar-
kastelu rajoitettiin kasvuston maanpäällisiin
osiin.

Suonenjoen tutkimusasemalle perustettiin
kesäkuussa 1978 kahdeksan 5,8 × 5,8 m suu-
ruista koelataa, joista neljä muodosti lysimet-
rin. Kasvualustana oli n. 0,3 m paksuinen
kalkittu rahkaturvekerros, johon pajun pistok-
kaat istutettiin 0,5 m välein. Biomassa
korjattiin vuosittain.

Taulukko 11. Eri puulajien ravinteiden käyttö tuotet-
tua biomassayksikköä kohti.

Table 11. Nutrient consumption per unit biomass
produced by different tree species.

Puulaji — Tree species	N	P	K	Ca
<i>Alnus incana</i> , OMT 35 v. — a (Mälkönen & Saarsalmi) käsikirjoitus manuscript	16,6	1,1	5,5	5,9
<i>Alnus incana</i> , OMaT 35 v. — a (Mälkönen & Saarsalmi) käsikirjoitus manuscript	18,4	1,1	5,2	6,1
<i>Betula</i> spp. (Mälkönen 1977)	9,3	0,8	4,0	4,8
<i>Pinus sylvestris</i> 28—47 v. — a (Mälkönen 1974)	4,4	0,5	2,4	1,8
Puut keskimäärin <i>Trees on the average</i> (Ehwald 1957)	4—7	0,3—0,6	1—5	3—9

Pajun ravinteiden käytön selvittämistä
koskevat tutkimukset tulisi jatkossa ulottaa
koskemaan eri lannoitemäärien ja levitysker-
tojen vaikutusta eri pajulajeihin. Tyyppiä lu-
kuunottamatta pajuviljelelmä voisi saada tar-
vitsemansa ravinteet energiapuun polton yh-
teydessä syntyvän puun tuhkan mukana.
Tuhka on suositeltava lannoite, koska siinä
on kasvin tarvitsemia ravinteita optimaalisissa
suhteissa. Niinikään tuhkan maan pH:tta
kohottava vaikutus on pajun kasvatuksen
kannalta eduksi.

Lähtökohtana oli, että ravinteita lisättäi-
siin kasvualustaan niin paljon, että ne var-
masti riittäisivät tulevan kasvukauden tarpei-
siin, käyttämättä kuitenkaan yliannostusta.
Käsittelyjä oli kaksi. Käsittelyssä I lannoite
annettiin kertalevityksenä, kiinteänä. Pajut
saivat vuosina 1979—82 lannoituksessa ra-
vinteita vuosittain keskimäärin seuraavasti:
N 19,5, K 17,4, P 4,2, Mg 0,5 g/m² sekä Mn
90, B 24, Zn 22 ja Cu 17 mg/m². Käsittelyssä
II lannoite annettiin neljänä levityskertana:
kolmena ensimmäisenä vuonna liuoksena,
myöhemmin kiinteänä: Lannoitemäärä oli
käsittelyssä II kolmena ensimmäisenä vuon-
na pienempi kuin käsittelyssä I.

Sade- ja kasteluedessä maahan tulleiden ravinnemäärien selvittämiseksi kokeelle asetettiin sademittareita. Lysimetrien avulla mitattiin maasta huuhtoutuneiden ravinteiden määrää. Karikkeissa maahan palautuneiden ravinteiden määrää selvitettiin karikelaatikoiden avulla. Karikkeiden hajoamisnopeuden selvittämiseksi kokeelle asetettiin pajun lehtikariketta sisältäviä pusseja, joiden painon vähenemistä seurattiin. Kasvualustan ravinne- ja kosteuspitoisuus sekä pH määritettiin kasvukausittain 3—6 kertaa. Lisäksi seurattiin kasvualustan lämpötilan muuttumista 15 cm syvyydessä vuosittain. Biomassa määritettiin vuosittain ja määrittäminen perustui lehti- ja varsien kuivamassan ja varsien pituuden väliseen riippuvuuteen.

Biomassan määrityksen yhteydessä otettiin lehti- ja varsinäytteet ravinneanalyysejä varten. Pajun sisäisen ravinnekierron selvittämiseksi otettiin varsinäytteet ravinneanalyysejä varten myös lehtien varistua.

Tulokset on esitetty yksinkertaisuuden vuoksi ainoastaan käsittelyn I osalta, mikäli eri käsittelyjen välillä ei ilmennyt oleellisia eroja tai käsittelyn II tulosten esittämisellä ei muutoin ollut oleellista merkitystä.

Biomassan tuotos oli vuosina 1979—1982 käsittelyssä I keskimäärin 1,1 kg/m² ja käsittelyssä II 0,9 kg/m². Lehtien osuus biomassasta oli keskimäärin 30 %.

Paju käytti tuotettua biomassakiloa kohti ravinteita vuosittain keskimäärin seuraavasti: K 13,6, N 12,4, Ca 4,8, P 1,9, Mg 1,5 g sekä Mn 91, Zn 62, B 11 ja Cu 7 mg. Merkittävää oli, että yhden biomassakilon tuottamiseen

paju käytti keskimäärin enemmän kaliumia kuin tyypeä. Pajubiomassaan sitoutuneesta kuparista ja sinkistä palautui vuosittain karikkeessa maahan keskimäärin lähes 30 %, tyypestä, fosforista ja kaliumista noin 35 %, kalsiumista, magnesiumista ja boorista 40—50 % sekä mangaanista runsaat 60 %. Biomassan korjuussa poistui kasvupaikalta ravinteita keskimäärin seuraavasti: N 5,3, K 3,7, Ca 2,2, P 0,9, Mg 0,5 g/m² sekä Zn 48, Mn 37, B 6 ja Cu 3 mg/m².

Lannoituksen verrattuna sade- ja kasteluedessä maahan tulleiden ravinteiden määrä oli pieni. Sadevedessä tuli maahan ravinteita vuosittain keskimäärin seuraavasti: N 0,6, Ca 0,3, K 0,2, Mg 0,1, P 0,03 g/m² sekä Zn 14, Cu 8 ja Mn 5 mg/m². Huuhtoutumalla maasta poistuneiden ravinteiden määrällä ei ollut pajun kannalta mainittavaa merkitystä. Pelkästään sadeveden mukana kasvit saivat kalsiumia, magnesiumia ja sinkkiä lukuunottamatta enemmän ravinteita kuin niistä maasta huuhtoutui.

Pajukasvuston veden käyttö tuotettua biomassakiloa kohti laskettiin kasvukauden aikana koelohjalle tulleen ja niiltä valuneen veden määrän sekä biomassatuotoksen perusteella. Veden valuminen oli runsainta keväällä ja myöhään syksyllä. Viimeistään heinäkuun puolivälissä kasvusto oli jo niin tiheää, että se pystyi käyttämään kaiken koelohjalle tulleen veden. Tuotettua biomassakiloa kohti paju käytti vettä keskimäärin 350 l kuin biomassatuotos oli vähintään 1 kg/m². Runsaammalla kastelulla biomassatuotosta olisi mahdollisesti voitu lisätä.

KIRJALLISUUS

- Ahti, E. 1983. Fertilizer-induced leaching of phosphorus and potassium from peatland drained for forestry. Seloste: Lannoituksen vaikutus fosforin ja kaliumin huuhtoutumiseen ojitetuilta soilta. Commun. Inst. For. Fenn. 111: 1—20.
- Baker, J.B. & Blackmon, B.G. 1977. Biomass and nutrient accumulation in a cottonwood plantation — the first growing season. Soil Sci. Soc. Am. J., Vol. 41: 632—636.
- Cajander, A.K. 1917. Metsänhoidon perusteet II. 652 s. Porvoo.
- Cannel, M.G.R. & Smith, R.J. 1980. Yields of minirotation closely spaced hardwoods in temperate regions: Review and appraisal. For. Sci. 26(3): 415—428.
- Derome, J.R.M. 1980. Urea hydrolysis and ammonia volatilization from the humus layer. Laboratory study. Seloste: Urean hydrolysoituminen ja ammoniakkin haihtuminen humuskerroksesta. Laboratoriotutkimus. Commun. Inst. For. Fenn. 86(7): 1—36.
- Edmonds, R.L. 1980. Litter decomposition and nutrient release in Douglas-fir red alder, western hemlock and Pacific silver fir in western Washington. Can. J. For. Res. 10: 327—337.
- Ehwald, E. 1957. Über den Nährstoffkreislauf des Waldes. Deutsche Akad. Landwirtschaftswissenschaften, Berlin. Sitz. ber 6(1).
- Elowson, S. 1981. Produktionsoptimering på sphagnummyr I Försökuppläggning och några preliminära resultat. Sveriges Lantbruksuniversitet. Projekt

- energiskogsodling, Teknisk Rapport 21: 1980: 1—26.
- Ericsson, T. 1981a. Effects of varied nitrogen stress on growth and nutrition in three *Salix* clones. *Physiologia Plantarum* 51: 423—429.
- 1981b. Growth and nutrition of three *Salix* clones in low conductivity solutions. *Physiologia Plantarum* 52: 239—244.
- & Lindsjö, I. 1981. Tillväxtens pH-beroende hos några energiskogsarter. Sveriges Lantbruksuniversitet. Projekt energiskogsodling, Teknisk Rapport 11. 1981: 1—7.
- Gruner, A. 1947. *Der Korbweidenbau, Anbau und Verwertung*. 48 s. Berlin-Charlottenburg.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121: 1—28.
- Hansen, E.A. & Baker, J.B. 1979. Biomass and nutrient removal in short rotation intensively cultured plantations. In *Proc. Symposium on Impact of Intensive Harvesting on Forest Nutrient Cycling*. State University of New York, Syracuse. N.Y. ss. 130—151.
- Heino, E. & Pohjonen, V. 1981. Pajunviljelyopas. Julkaisija Suomen 4H-liitto. 16 s.
- Heinonen, J. & Ferm, A. 1983. Aboveground woody biomass sampling and estimation in dense birch coppice stands. In "Problems in forest biomass mensuration, and growth and yield studies". I.U.F.R.O. S4.01.00 meeting in Orleans (France) on October 3.—7.1983. 8 s.
- Hytönen, J. 1983. Istutustiheyden ja lannoituksen vaikutus vesipajun (*Salix* cv. *aquatica*) kuiva-ainetuotokseen ja kasvuston kehitykseen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 70: 67—77.
- Ingestad, T. & Lund, A.B. 1979. Nitrogen stress in birch seedlings. I. Growth technique and growth. *Physiol. Plant.* 45: 137—148.
- 1979. Nitrogen stress in birch seedlings. II. N, K, P, Ca and Mg nutrition. *Physiol. Plant.* 45: 149—157.
- 1980. Growth, nutrition and nitrogen fixation in grey alder at varied rate of nitrogen addition. *Physiol. Plant.* 45: 373—380.
- Issakainen, J. 1982. Vesakkobiomassan tuotoksesta Pohjois-Suomessa. Summary: Biomass production in young deciduous thickets in North Finland. In: Wood as a raw material for energy production. Symposium papers. *Folia For.* 500: 1—37.
- Järvinen, O. & Haapala, K. 1980. Sadeveden laatu Suomessa 1971—1977. Summary: The quality of wet and dry deposition in Finland according to observations made from 1971 to 1977. 102 s.
- Kaunisto, S. 1983. Koripajun (*Salix viminalis*) biomassatuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö eri tavoin lannoitetuilla turpeilla kasvihuoneessa. Summary: Biomass production of *Salix viminalis* and its nutrient and water consumption on different fertilized peats in greenhouse. *Folia For.* 551: 1—34.
- Karsisto, K. 1970. Lannoituksessa annettujen ravinteiden huuhtoutumisesta turvemailta. *Suom* 3—4: 60—65.
- & Ravela, H. 1971. Metsäojituksen ja lannoituksen vaikutus vesiin. *Teollisuuden metsäviesti* 2: 9—11.
- Karsisto, M., Weber, A. & Skujins, J. 1983. Willow, *Salix* sp. cv. *aquatica*, as an energy tree in southern Finland. I. Biomass production following NPK and wood ash fertilization. Käsikirjoitus Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosastolla. Manuscript in the department of Peatland Forestry of the Finnish Forest Research Institute.
- Kimmins, J.P. 1977. Evaluation of the consequences for future tree productivity of the loss of nutrients in whole tree harvesting. *Forest Ecol. Manage.* 1: 169—183.
- Kurki, M. 1977. Suomen peltojen viljavuuden kehityksestä. *Moniste*. 41 s. Viljavuuspalvelu Oy.
- Lakanen, E. & Erviö, R. 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Acta Agr. Fenn.* 128: 223—232.
- Lampinen, R. 1983. Viljakasvien veden tarve. *Käytännön Maamies* 6: 18—19.
- Larcher, W. 1975. *Physiological plant ecology*. Translated by M.A. Biderman-Thorson. 252 s. Berlin.
- Löyttyneemi, K. & Rousi, M. 1979. Lehtipuutaimistojen hyönteistuhota. *Folia For.* 384: 1—12.
- Makkonen, O. 1975. Puiden lyhytkiertoviljelyn varhaishistoriaa. Summary: Early history of short-rotation forestry. *Silva Fenn.* 9(3): 233—240.
- Mälkönen, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scot pine stands. *Seloste: Vuotuinen primäärituotos ja ravinteiden kiertokulku männikössä*. *Commun. Inst. For. Fenn.* 84(5): 1—87.
- 1977. Annual primary production and nutrient cycle in a birch stand. *Seloste: Vuotuinen primäärituotos ja ravinteiden kiertokulku eräässä koivikossa*. *Commun. Inst. For. Fenn.* 91(5): 1—35.
- & Saarsalmi, A. Lepikon biomassan tuotos ja ravinnetarve. Käsikirjoitus Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosastolla. Manuscript in the department of Soil Science of the Finnish Forest Research Institute.
- Nordberg, S. 1930. Pajun viljelys. Maa- ja metsä IV, *Metsätalous* 2, s. 526—539. Porvoo.
- Näsi, M. & Pohjonen, V. 1981. Green fodder from energy forest farming. *Maataloustiet. aikauskirja* 53: 161—167.
- Olsson, L. & Flower-Ellis, J.G.K. 1980. Structure and some dimensional relations of six clones of *Salix* and one clone of *Populus (trichocarpa × deltoides)* from a clonal trial at Studsvik, Sweden. *Teknisk Rapport* N:o 7.
- Paavilainen, E. 1979. *Metsänlannoitusopas*. Helsinki. 112 s.
- Pihlström, K. 1982. Två videbeständs utveckling i Suonenjoki växtperioden 1981. *Laudatur avhandling för allmän forst-examen maj 1982*. 79 s.
- Pohjonen, V. 1974. Istutustiheyden vaikutus eräiden lyhytkiertoviljelyn puulajien ensimmäisen vuoden satoon ja pituuskasvuun. Summary: Effect of spacing on the first year yield and height increment in some species undergoing short rotation culture. *Silva Fenn.* 8(2): 115—127.
- 1980a. Energiametsät ja energiaviljely. Tutkimus ja tekniikka 2—3: 28—32.
- 1980b. Energiapajujen viljelystä vanhoilla turvetuotantoalueilla. *Suo* 31(1): 7—9.
- , Kauppi, P., Pelkonen, P. & Sirén, G. 1980. Biotic solar energy La biomass. *Le bois et les economies d'énergie*. 80: 7—15.
- Päivänen, J. 1974. Nutrient removal from Scots pine canopy on drained peatland by rain. *Acta For. Fenn.* 139: 1—19.
- Relander, E. 1950. Alkukokemuksia kori- ja vanne-pajun viljelystä maassamme. *Koetoin. ja Käyt.* 7(11): 3—4.

- 1952. Jalopajukokeista saatuja tuloksia Suomessa. Koetoim. ja Käyt. 9(6): 4.
- Remezov, N.P., Bykova, L.N. & Smirnova, K.M. 1955. Biologicheskii krugovorot azota i zolnykh elementov v resnykh nasazhdeniyakh. Trudy inst. lesa 24: 167—194.
- Rossi, P. 1979a. Paju- ja poppelipistokkaiden juurtuminen. Tuloksia vuoden 1976 juurruttamiskokeista. Metsänviljelyn koegaseman tiedonantoja 26: 1—10.
- 1979b. Paju- ja poppelipistokkaiden juurruttaminen taimitarhalla. Kirjallisuuteen ja havaintoihin perustuvat ohjeet. Metsänviljelyn koegaseman tiedonantoja 27: 1—10.
- Schmidt, H. 1935. Zucht und Anbau von Korbweiden. 50 s. Berlin.
- Sippola, J. & Tares, T. 1978. The soluble content of mineral elements in cultivated Finnish soils. Acta Agriculturae Scand. Suppl. 20: 11—25.
- Sirén, G. 1982. Silviculture for energy. Unasylva 34(138): 22—28.
- Sirén, G. & Sivertsson, E. 1976. Vegetativ förmering av norrländska salixarter. Rapp. Uppsats. nr. 80: 1—29. Inst. Skogsförngr. Skogshögsk.
- Stott, K.G., Parfitt, R.I., McElroy, G. & Abernethy, W. 1982. Productivity of coppice willow in biomass trials in UK. Paper presented at: Second EC Energy from Biomass Conference Berlin 20.—23.9. 7 s.
- Tapio, E. 1965. Pajun viljely ja sen mahdollisuudet Suomessa I. Konekirjoite Helsingin yliopiston kasvinviljelytieteen laitoksella. 33 s.
- Teivainen, T. 1979. Eräiden viljeltyjen pajujen kelppaavuus peltomyyrälle (*Microstus agrestis* L.) ruokintakokeiden mukaan. Folia For. 415: 1—7.
- Westman, C.-J. & Hänninen, P. 1977. Kemiallinen maa-analyysi paljasjuuristen taimien tuotannossa — ennakkotiedonanto. Metsänviljelyn koegaseman tiedonantoja 22: 1—16.
- Viro, P.J. 1953. Loss of nutrients and the natural nutrient balance of the soil in Finland. Selostus: Ravinteiden huuhtoutuminen ja maan luontainen ravinnetase Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 42(1): 1—45.
- 1955. Investigations on forest litter. Metsäkariketuokkimuksia. Selostus: Metsäkariketuokkimuksia. Commun. Inst. For. Fenn. 45(6): 1—65.

Total of 61 references

SUMMARY

Biomass production and nutrient and water consumption in *Salix 'Aquatica Gigantea'* plantation

The biomass production, the cycling of nutrients (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, B) and the consumption of water were studied in a water willow (*Salix 'Aquatica Gigantea'*) ecosystem over a period of five years. The part of the study concerned with biomass production and the amounts of nutrients bound in the biomass was restricted to the above-ground parts of the willow stands.

Eight sample plots, each 5.8 × 5.8 m in size, were established at the Suonenjoki Research Station in summer 1978. Four of the sample plots were so-called lysimeters (Fig. 1). The substrate on the sample plots was a layer of limed Sphagnum peat, about 0.3 m thick. The willow cuttings were planted on the plots with a spacing of 0.5 m. The biomass was harvested each year in November/December. Stumps about 5 cm high were left during harvesting.

One of the aims of the experiment was to add nutrients to the substrate in amounts sufficient to satisfy the nutrient requirements of the stand during the growing season, without, however, giving an excess of nutrients. There were two fertilizer treatments. In treatment I the fertilizer was given in solid form in a single dose. The mean amount of nutrients given annually in fertilization during the period 1979—82 were as follows: N 19.5, K 17.4, P 4.2, Mg 0.5 g/m², Mn 90, B 24, Zn 22 and Cu 17 mg/m². The fertilizer in treatment II was given on four separate occasions during each growing season: during the first three years as an aqueous solution, and in the last two years in solid form. The amount of fertilizer given in treatment II was initially smaller, but later on the same as in treatment I.

Rainfall-collecting equipment was set up on the plots in order to be able to determine the amounts of nutrients reaching the sample plots through rainfall and irrigation (Fig. 2). The amount of nutrients leaching from the sample plots was determined using the lysimeters. The amount of nutrients returned to the ground in the litterfall was followed by means of litter traps. The rate of decomposition of the litter was determined using bags containing willow leaf litter which were laid out on the sample plots. The rate of decomposition was determined from the loss in weight as the litter decomposed. The nutrient content and moisture content and pH of the substrate were determined by taking samples 3 to 6 times during the growing season. In addition, variations in the soil temperature at a depth of 15 cm was monitored throughout the growing seasons. The amount of biomass produced each year was determined on the basis of the relationship between the dry weight of the leaves and shoots and the length of the shoots. Leaf and shoot samples were taken in connection with the biomass determinations in order to determine the nutrient content of the biomass. Shoot samples were also taken after the leaves had been shed in order to investigate the internal nutrient cycling in willow. The results for treatment II are not presented in the figures, unless they differed from those for treatment I or there was otherwise no reason to present them.

The pH of the substrate remained between 5 and 6 throughout the course of the study. This value is suitable for the growing of willow. The nutrient content of the substrate is presented in Fig. 4. The biomass production of the willow cuttings was rather small

during the growing season following planting owing to the fact that the cuttings were planted out rather late. The mean biomass production in treatment I was 1,1 kg/m² (including leaves) during 1979—82. The corresponding figure for treatment II, which received less fertilizer during the first three years, was 0,9 kg/m² (Fig. 14). The mean proportion of leaves out of the total biomass was 30 %.

Willow required the following amounts of nutrients to produce 1 kg of biomass annually: K 13,6, N 12,4, Ca 4,8, P 1,9, Mg 1,5 g and Mn 91, Zn 62, B 11 and Cu 7 mg. It is interesting to note that willow required more potassium than nitrogen for each kilogram of biomass produced. Of the nutrients bound in the biomass almost 30 % of the copper and zinc, about 35 % of the nitrogen, phosphorus and potassium, between 40 to 50 % of the calcium, magnesium and boron, and at least 60 % of the manganese was returned annually to the ground in the litterfall. One quarter of the leaf litter had decomposed during the first eleven months, and about half during the first eighteen months. The mean amounts of nutrients removed from the site in harvesting were as follows: N 5,3, K 3,7, Ca 2,2, P 0,9, Mg 0,5 g/m² and Zn 48, Mn 37, B 6 and Cu 3 mg/m².

The amount of nutrients added to the soil along with

the rainfall and irrigation water was small in comparison to the amount given in fertilization. The amounts of nutrients added annually to the soil in the precipitation were as follows (Fig. 9): N 0,6, Ca 0,3, K 0,2, Mg 0,1, P 0,03 g/m² and Zn 14, Cu 8 and Mn 5 mg/m² (the boron content of the rainwater was not determined). The amount of nutrients leached from the soil was of no significance from the point of view of willow. Apart from calcium, magnesium and zinc, the plants received more nutrients from the rainfall than was lost in leaching.

The amount of water consumed by the willows in producing one kilogram of biomass was calculated from the amount of water added to the sample plots during the growing season, the amount of water lost, and the biomass production. The runoff of water was at its greatest in the spring and in late autumn (Fig. 7). The stand was already so dense by the middle of July, that it was able to utilize all the water which reached the sample plots during the growing season. When the biomass production was at least 1 kg/m², the willow plants consumed 350 l of water to produce 1 kg of biomass (Fig. 22). The biomass production could perhaps have been increased by increasing the amount of irrigation.

ODC 176.1 Salix 'Aquatica Gigantea' + 161.1 + 537 + 181.3
ISBN 951-40-0676-3
ISSN 0015-5543

SAARSALMI, A. 1984. Vesipajun biomassan tuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö. Summary: Biomass production and nutrient and water consumption in Salix 'Aquatica Gigantea' plantation. Folia For. 602: 1—29.

The biomass production, the cycling of nutrients (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, B) and the consumption of water were studied in a water willow (Salix 'Aquatica Gigantea') ecosystem over a period of five years. The biomass was harvested each year. The mean biomass production was 1,0 kg/m². Willow required the following amounts of nutrients to produce 1 kg of biomass annually: K 13,6, N 12,4, Ca 4,8, P 1,9, Mg 1,5 g, and Mn 91, Zn 62, B 11 and Cu 7 mg. Apart from Ca, Mg and Zn, the plants received more nutrients from the rainfall than was lost in leaching. When the biomass production was at least 1 kg/m², the willow plants consumed 350 l of water to produce 1 kg of biomass.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Dept. of Soil Science, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland.

ODC 176.1 Salix 'Aquatica Gigantea' + 161.1 + 537 + 181.3
ISBN 951-40-0676-3
ISSN 0015-5543

SAARSALMI, A. 1984. Vesipajun biomassan tuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö. Summary: Biomass production and nutrient and water consumption in Salix 'Aquatica Gigantea' plantation. Folia For. 602: 1—29.

The biomass production, the cycling of nutrients (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, B) and the consumption of water were studied in a water willow (Salix 'Aquatica Gigantea') ecosystem over a period of five years. The biomass was harvested each year. The mean biomass production was 1,0 kg/m². Willow required the following amounts of nutrients to produce 1 kg of biomass annually: K 13,6, N 12,4, Ca 4,8, P 1,9, Mg 1,5 g, and Mn 91, Zn 62, B 11 and Cu 7 mg. Apart from Ca, Mg and Zn, the plants received more nutrients from the rainfall than was lost in leaching. When the biomass production was at least 1 kg/m², the willow plants consumed 350 l of water to produce 1 kg of biomass.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Dept. of Soil Science, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki, Finland.

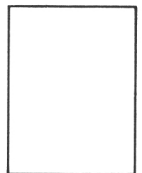
Tilaan kortin kääntöpuolelle merkitsemäni julkaisut (julkaisun numero mainittava).

Please send me the following publications (put number of the publication on the back of the card).

Nimi
Name _____

Osoite
Address _____

Metsäntutkimuslaitos
Kirjasto/Library
Unioninkatu 40 A
SF-00170 Helsinki 17
FINLAND



Folia Forestalia _____

Communicationes Instituti Forestalis Fenniae _____

Huomautuksia

Remarks _____

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema
Parkano Research Station
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland
Puh. — *Phone:* (933) 2912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* 91500 Muhos, 1 kp, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun jalostuskoegasema
Punkaharju Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koegasema
Ojajoki Experimental Station
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema
Kolari Research Station
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland
Puh. — *Phone:* (9695) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* Eteläranta 55
96300 Rovaniemi 30, Finland
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu 10, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 28 331

Kannuksen tutkimusasema
Kannus Research Station
Os. — *Address:* Valtakatu 18
69100 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

Ruotsinkylän jalostuskoegasema
Ruotsinkylä Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland
Puh. — *Phone:* (90) 824 420

1984

- No 580 Paavilainen, Eero & Tiihonen, Paavo: Etelä- ja Keski-Suomen suomensäät vuosina 1951—1981. Peatland forests in southern and Central Finland in 1951—1981.
- No 581 Sirén, Matti: Tutkimustuloksia Norcar HT-440 Turbo harvennustraktorista. Study results of Norcar HT-440 Turbo thinning tractor.
- No 582 Kohmo, Ilkka: Lehtipuuston runkolukusarjat Etelä-Suomen piirimetsälautakuntien alueilla 1977—1982. Statistics on the deciduous growing stock in the Forestry Board Districts of South Finland during the period 1977 to 1982.
- No 583 Saksä, Timo & Lyly, Olavi: Istutustiheyden vaikutus nuoren männikön kehitykseen kuivalla kankaalla. The effect of stocking density on the development of young Scots pine stands on a dry heath.
- No 584 Kalaja, Hannu: An example of terrain chipping system in first commercial thinning. Esimerkki ensiharvennuspuun korjuusta palstahaketusmenetelmällä.
- No 585 Kaunisto, Seppo & Tukeya, Jorma: Kalilannoituksen tarve avosoille perustetuissa riukuasteen männikoissä. Need for potassium fertilization in pole stage pine stands established on bogs.
- No 586 Hakkila, Pentti: Forest chips as fuel for heating plants in Finland. Metsähäke lämpöläitosten polttoaineena Suomessa.
- No 587 Jalkanen, Risto & Kurkela, Timo: Männynversoruosteiden aiheuttamat vauriot ja varhaiset pituuskasvutappiot. Damage and early height growth losses caused by *Melampsora pinitorqua* on Scots pine.
- No 588 Tiihonen, Paavo: Kasvun vaihtelu Pohjois-Karjalan ja Pohjois-Savon piirimetsälautakunnissa valtakunnan metsien 7. inventoinnin perusteella. Growth variation in the Forestry Board Districts of Pohjois-Karjala and Pohjois-Savo according to the 7th National Forest Inventory.
- No 589 Paavilainen, Eero: Typpi ja hivenravinteet ojitettujen rämeiden jatkolannoituksessa. Nitrogen and micronutrients in the refertilization of drained pine swamps.
- No 590 Metsätalastollinen vuosikirja 1983. Yearbook of Forest Statistics, 1983.
- No 591 Elovirta, Pertti & Ihalainen, Ritva: Metsä- ja maatalousammattit nuorten ammattisuunnitelmissa. Young people's professional plans in forestry and agriculture.
- No 592 Lilja, Arja: Ilmavientäisen sinistymisen aiheuttajista ja eräiden fungisidien tehosta niiden torjunnassa. Fungi causing air-borne sap stain in wood and efficiency of some fungicides against them.
- No 593 Parvainen, Jari: Männyn taimilajien menestyminen eri tavoin muokatuilla uudistamisaloilla. The success of different types of pine nursery stock on regeneration sites prepared in different ways.
- No 594 Mäki, Elina: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1982. Removals and flows of commercial roundwood in Finland in 1982 by districts.
- No 595 Metsäntutkimuslaitoksen julkaisut 1983. Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1983.
- No 596 Vuokila, Yrjö, Laasasenaho, Jouko & Ihalainen, Antti: Luonnonmetsien puiden runkokäyrämallien tarkkuus viljelykuusikoissa. The accuracy of stem taper curve functions for natural trees in spruce plantations.
- No 597 Gustavsen, Hans Gustav & Mielikäinen, Kari: Luontaisesti syntyneiden koivikoiden kasvupaikaluokittelu valtapituuden avulla. Site index curves natural birch stands in Finland.
- No 598 Salo, Kauko: Joensuun ja Seinäjoen asukkaiden luonnonmarjojen ja sienten poiminta v. 1982. The picking of wild berries and mushrooms by the inhabitants of Joensuu and Seinäjoki in 1982.
- No 599 Uusvaara, Olli: Hakepuun kosteuden alentaminen ennen haketusta korjuuseen ja varastointiin liittyvien toimenpitein. Decreasing the moisture content of chip wood before chipping; harvesting and storage measures.
- No 600 Rubki uhoda. Rezultaty finsko-sovjetskogo sovmenstnogo nautsnogo issledovanija. Harvennuspuun korjuu. Tuloksia suomalais-neuvostoliittolaisesta yhteistutkimuksesta. Thinning operations. Results from Finnish-Soviet joint research study.
- No 601 Veijalainen, Heikki, Reinikainen, Antti & Kolari, Kimmo K.: Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Kasvuhäiriöprojektin väliraportti. Nutritional growth disturbances of forest trees in Finland. Interim report.
- No 602 Saarsalmi, Anna: Vesipajun biomassan tuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö. Biomass production and nutrient and water consumption in *Salix 'Aquatica Gigantea'* plantation.
- No 603 Palmgren, Kristina: Muokkauksen ja kalkituksen aiheuttamia mikrobiologisia muutoksia metsämaassa. Microbiological changes in forest soil following soil preparation and liming.
- No 604 Pelkonen, Paavo: Temperature response of electrical impedance in poplar cuttings: A preliminary concept. Poppelipistokkaiden impedanssin riippuvuus lämpötilasta: Alustava malli.
- No 605 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1982—84. Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1982—84.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communications Institut Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomisteita koskevat pyynnot osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.

Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.

Myynti: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, puh. (90) 17 341

ISBN 951-40-0676-3
ISSN 0015-5543