

FOLIA FORESTALIA 653

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1986

JYRKI HYTÖNEN

FOSFORILANNOITELAJIN VAIKUTUS VESI-
PAJUN BIOMASSATUOTOKSEEN JA RAVIN-
TEIDEN KÄYTTÖÖN TURPEENNOSTOSTA
VAPAUTUNEELLA SUOLLA

EFFECT OF SOME PHOSPHORUS FERTILI-
ZERS ON THE BIOMASS PRODUCTION AND
NUTRIENT UPTAKE OF *SALIX* 'AQUATICA' IN
A PEAT CUT-AWAY AREA



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

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

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Aarne Nyysönen
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittaja <i>Editor</i>	Tommi Salonen

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 kymmenellä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtionmetsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 tutkimusalueeseen 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 ten 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 653

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1986

Jyrki Hytönen

FOSFORILANNOITELAJIN VAIKUTUS VESIPAJUN BIOMASSATUOTOKSEEN JA RAVINTEIDEN KÄYTTÖÖN TURPEENNOSTOSTA VAPAUTUNEELLA SUOLLA

Effect of some phosphorus fertilizers on the biomass production
and nutrient uptake of *Salix 'Aquatica'* in a peat cut-away area

Approved on 11.4.1986

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	3
21. Koejärjestelyt	3
22. Mittaukset	4
23. Kuivamassan laskenta	4
3. TULOKSET	6
31. Kasvualustan ominaisuudet	6
32. Kuolleisuus, pituus ja läpimitta, kasvustojen tiheys ja vesojen paleltuminen	7
33. Biomassatuotos	8
34. Eri kasvosien typpi-, fosfori- ja kaliumpitoisuudet	11
35. Massa- ja puustotunnusten riippuvuus kasvualustan ominaisuuksista ja eri kasvosien ravinnepitoisuuksista	11
36. Kasvustoon sitoutuneiden ravinteiden määrä	13
4. TULOSTEN TARKASTELUA	14
KIRJALLISUUS — REFERENCES	15
SUMMARY	16
LIITTEET — APPENDICES	19

HYTÖNEN, J. 1986. Fosforilannoitelajin vaikutus vesipajun biomassatuotokseen ja ravinteiden käyttöön turpeennostosta vapautuneella suolla. Summary: Effect of some phosphorus fertilizers on the biomass production and nutrient uptake of *Salix* 'Aquatika' in a peat cut-away area. *Folia For.* 653: 1—21.

Tutkimuksessa tarkasteltiin kolmen fosforilannoitelajin (superfosfaatti, raakafosfaatti, apatiitti) vaikutusta kalkitulla suonpohjan turpeella kasvatetun vesipajun (*Salix* 'Aquatika') biomassatuotokseen, eri kasvosien ravinnepitoisuuksiin ja kasvustoon sitoutuneiden ravinteiden määrään. Lisäksi pajuja lannoitettiin myös tyrellä ja kaliumilla, mikä muodosti lannoittamattomien koeruutujen ohella vertailukäsittelyn.

Ilman lannoitusta pajut eivät kasvaneet kalkitulla (pH 5,9) kasvualustalla, vaan vain 5 % oli mittaushetkellä elossa. Fosforilannoitelajeista ainoastaan superfosfaatti lisäsi pajujen kasvua. Kaksivuotiaiden superfosfaatilla lannoitettujen pajujen lehtimassa oli kolme, kuorimassa neljä ja puuaineen massa viisi kertaa niin suuri kuin muulla tavoin lannoitettujen pajujen. Kaksivuotiaiden tyrellä, kaliumilla ja superfosfaatilla lannoitettujen pajujen kokonaismassasta (13,1 t/ha) oli lehtien ja kuoren osuus 23 % ja puuaineen 54 %.

Käytetyistä fosforilannoitelajeista ainoastaan superfosfaatti lisäsi pajujen lehtien, puuaineen ja kuoren fosforipitoisuuksia. Samalla eri kasvosien kaliumpitoisuudet alenivat hieman. Superfosfaatilannoitus lisäsi myös kasvualustan liukoisen fosforin määrää.

Yksivuotiaiden pajujen tuotoksesta oli paleltunut 0,2—0,4 t/ha, mikä vastasi 23—45 % lehdettömästä maanpäällisestä biomassasta.

The effect of three phosphorus fertilizers (superphosphate, rock phosphate, apatite) on the biomass production, mineral nutrient contents of leaves, bark and wood and on the amount of nutrients bound in the stands of *Salix* 'Aquatika' was studied on a limed cut-away area of Paloneva (64°27'N, 25°26'E). Also nitrogen and potassium were applied. NK-fertilized and unfertilized plots were used as comparison treatments.

Without fertilization willow did not grow on limed (pH 5.9) peat. Over 95 % of them died during the experiment. As far as the phosphorus fertilizers were concerned, easily soluble superphosphate was the only one that gave any response. The leaf mass of two-year-old willow was three times, bark mass four times and wood mass five times as high with superphosphate as with other phosphorus fertilizers. The proportion of leaves and bark was 23 % and wood 54 % out of the total above-ground mass (13.1 t/ha) of two-year-old willow fertilized with superphosphate, nitrogen and potassium.

Superphosphate was the only phosphorus fertilizer that increased the phosphorus content of leaves, wood and bark. At the same time the potassium contents of these compartments diminished slightly. Fertilization with superphosphate increased the amount of soluble phosphorus in soil.

One-year-old willow shoots were damaged by the frost on average 26 cm down from the tops. The amount of frozen mass was estimated at 0.2—0.4 t/ha comprising 23—45 % of the leafless above-ground biomass of one-year-old shoots.

ODC 537 + 176.1 *Salix* 'Aquatika' + 232.425.1 + 238
ISBN 951-40-0737-9
ISSN 0015-5543

Helsinki 1986. Valtion painatuskeskus

1. JOHDANTO

Lyhytkiertoviljelyyn, mm. pajujen intensiiviseen massatuotantoon sopivina alueina on pidetty turpeennostosta vapautuvia suonpohjia (Pohjonen 1980). Turpeennoston päättyessä alueet ovat tasaisia, eikä niillä aluksi ole kilpailevaa kasvillisuutta. Sarkaojitus on kuitenkin usein vajavainen (Kaunisto 1982). Jäljelle jääneen turvekerroksen paksuus vaihtelee pohjamaan pinnanmuodoista, kivisyydestä ja nostotekniikasta riippuen. Turve on yleensä verrattain maatonut ja sisältää runsaasti orgaanisesti sitoutunutta tyypeä (Kaunisto 1982, Hytönen 1984). Sen sijaan fosforia, kaliumia ja muita kivennäisravinteita turpeessa on vähän.

Pajujen on hyvin kasvaakseen todettu tarvitsevan runsaasti tyypeä ja muitakin ravinteita (Kaunisto 1983). Osittain tästä syystä pajun kasvatuksessa on huomio keskittynyt runsastyyppiin suonpohjan turpeisiin (Kaunisto m.t.). Tyypilannoitus edisti kuitenkin Kauniston (1983) kasvihuonekokeessa fosforin ja kaliumin ohella pajujen kasvua suonpohjankin turpeessa, eikä tyypeä ilmeisesti vapautunut riittävästi pajujen käyttöön. Suonpohjan turpeen pH lienee myös ilman maanparannusaineiden käyttöä liian alhainen pajujen juuristojen hyvälle kehitykselle (Ericsson ja Lindsjö 1981).

Paju pystyy käyttämään paitsi suuria tyypimääriä myös runsaasti fosforia ja kaliumia (Kaunisto 1983, Saarsalmi 1984). Koska poh-

jaturpeessa on vähän fosforia ja kaliumia, jouduttaneen lyhytkiertoviljelmää lannoittamaan näillä ravinteilla. Käytettävissä on useita fosforilannoittelajia, jotka poikkeavat toisistaan fosforipitoisuudeltaan, liukoisuudeltaan ja hinnaltaan. Soiden metsänlannoituksessa fosforilannoittelajin valinnalla on todettu olevan tärkeä merkitys: superfosfaatti lisää nopeimmin kasvua, mutta vaikuttaa puuston kasvuun lyhyemmän ajan kuin raa-kafosfaatti (Karsisto 1973, 1976a, 1976b, Paavilainen 1979). Hyviä tuloksia on saatu myös kotimaisilla apatiiteilla (Karsisto 1973, 1976b, Paavilainen 1979).

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan kolmen fosforilannoittelajin vaikutusta kalkitulla suonpohjan turpeella kasvatetun vesipajun biomassatuotokseen, eri kasvinosien ravinnepitoisuuksiin sekä kasvustoon sitoutuneiden ravinteiden määrään.

Tutkimus kuuluu osana Pera-projektin C-osaprojektiin, jossa selvitetään mm. energiaviljelmien vesi- ja ravinnetalouden järjestelyä. Koe suunniteltiin ja perustettiin Metsäntutkimuslaitoksen ja Kemira Oy:n yhteistyönä. Kenttäkokeen perustamisesta huolehti Per-Johan Bäckström ja työn toteuttamisen eri vaiheissa avustivat Esa Heino, Seppo Lassila, Väinö Saarelainen, Seppo Vihanta, Maire Ala-Pönttiö ja Keijo Polet. Englanninkieliset tekstinosat tarkasti Leena Kaunisto. Käsikirjoituksen ovat lukeneet Eero Paavilainen, Erkki Lipas, Seppo Kaunisto ja Ilari Lumme tehden siihen varteenotettuja korjaus- ja muutosehdotuksia. Kemira Oy:lle, kaikille edellä mainituille samoin kuin muillekin tutkimuksessa avustaneille esitän parhaat kiitokseni.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

21. Koejärjestelyt

Koealue sijaitsee Palonevalla (64°27'N, 25°26'E) Ruukin kunnan alueella turpeennostosta vapautuneella suolla. Alue on ojitettu 45 m:n levyisiin sarkoihin turpeennoston yhteydessä. Koetta perustettaessa ojomaita tasattiin saroille. Dolomiittikalkkia levitettiin kesäkuun alussa 1981 koko alueelle kalkituskärryillä 6000 kg/ha

ja sekoitettiin maahan traktoriäkeellä. Lannoituskäsittelyt, jotka satunnaistettiin täydellisesti neljänä toistona, on esitetty taulukossa 1. Saralle sijoitettiin kaksi 15 m × 15 m:n koealaa vierekkäin. Koe lannoitettiin kesäkuussa 1981 ja lannoitus uusittiin samoilla lannoittelajilla ja -määrillä keväällä 1983. V. 1983 ei kuitenkaan toistettu hivenlannoitusta ja Siilinjärven apatiitti levitettiin vasta elokuun alussa.

Taulukko 1. Lannoitus- ja maanparannusainekäsittelyt.
Table 1. Fertilization and soil amelioration treatments.

Koodi Code	Dolomiittikalkki Dolomite lime	N	K	P	Hivenseos ⁵⁾ Micronutrient
	6 t/ha 1981	200 kg/ha	166 kg/ha 1981 & 1983	87 kg/ha	200 kg/ha 1981
0	X	—	—	—	—
NK ¹⁾	X	X	X	—	X
NKPsf ²⁾	X	X	X	X	X
NKPrf ³⁾	X	X	X	X	X
NKPap ⁴⁾	X	X	X	X	X

1) N = Oulunsalpietari — Calcium ammonium nitrate (27,5 % N), K = kalisuola — Potassium chloride (49,8 % K). Vuonna 1983 lisäksi flogobiittiä (K 36 kg/ha) — in 1983 also flogobite (K 36 kg/ha).

2) Psf = superfosfaatti — Superphosphate (8,7 % P). NK kuten yllä — NK as above.

3) Prf = raakafosfaatti — Rock phosphate (14,8 % P). NK kuten yllä — NK as above.

4) Pap = Siilinjärven apatiitti — Siilinjärvi apatite (15,7 % P). NK kuten yllä — NK as above.

5) 7,1 % K, 3,1 % S, 0,7 % Na, 9,8 % Fe, 1,1 % B, 12,8 % Cu, 5,5 % Mn, 5,5 % Zn, 1,4 % Mo.

Vesipajun (*Salix 'Aquatica'*, kloni E4856) 20 cm:n pituiset pistokkaat istutettiin valmiiksi tehtyihin reikiin 3.—17.6.1981 turpeen ollessa vielä märkää. Riviväli oli 70 cm ja pistokkaiden väli rivissä oli 35 cm. Istutustiheys oli näin 4,1 pistokasta neliometrille. Pistokkaat oli varastoitu koneellisesti jäähdetytyssä kylmähuoneessa.

Ensimmäisen kasvukauden jälkeen vesät kaadettiin ja syntynyttä uutta kasvustoa kasvatettiin kaksi kasvukautta. Kesällä 1982 koelaeuella torjuttiin rikkaruohoja puutarhajyrsimellä riviväleistä. Marraskuussa 1982 koelaeuella aidiittiin.

22. Mittaukset

Runkolokusarja määritettiin käyttäen systemaattista otantaa siten, että lokakuussa v. 1982 otos otettiin istutettujen pajurivien suuntaisesti käyttäen otosyksikkönä istutettua pistokasta ja lokakuussa v. 1983 mittanauhalla mitattua 1,5 m:n pituista jaksoa. Otantaväli valittiin sellaiseksi, että näytealojen määrä v. 1983 oli 5—10 kpl kullakin koeruudulla ja että otos jakautui tasaisesti koko ruudun alueelle. Vesoja mitattiin kumpanakin vuonna 200—270 kpl kaikilta koeruuduilta. Vesoista mitattiin niiden pituus maan tasalta verson huippuun senttimetrin tarkkuudella ja läpimitta yhden millimetrin tarkkuudella kymmenen senttimetrin korkeudelta (ks. Nilsson 1982, Hytönen 1985). Kaikki 20 cm pidemmät vesat mitattiin. Samalla saatiin tietoa kasvustojen tiheydestä (vesoja kpl/m²), vesomisesta (vesoja/kanto) ja kuolleisuudesta. Mitatun alueen pinta-ala laskettiin v. 1982 istutustiheyden ja v. 1983 jaksojen pituuden, lukumäärän ja rivivälin perusteella. Koeruutujen reunoilta jätettiin kaksi riviä mittausten ulkopuolelle mahdollisen reunavaikutuksen eliminoimiseksi (ks. Stott ym. 1983).

Kuivamassayhtälöiden laskemiseksi otettiin punnitusvesoja kaikilla mittauskerroilla (v. 1982 käsittelyitäin syyskuun lopussa ja v. 1983 lokakuun alussa koko alueelta). Koeput kaadettiin kymmenen senttimetrin korkeudelta maasta, suljettiin lehtineen muovipusseihin ja -säkkeihin ja kuljetettiin laboratorioon. Vuonna 1982 koeputa otettiin n. 30 kappaletta kultakin käsittelyltä (yhteensä 120 kpl) ja v. 1983 koko kokeelta yhteensä 51 kpl. Koevesoista mitattiin läpimitta millimetrin tarkkuudella kaatokorkeudelta ja pituus senttimetrin tarkkuudella. Vuoden 1982 koeputa erotettiin lehdet ja

vesot, vuoden 1983 koeput kuorittiin ja erotettiin lehdet, kuori ja puuaine. Vuoden 1983 koeputa oli myöhäisen korjuujankohdan vuoksi lehtiä jo hieman varissut. Lehtiä kuivattiin yksi vuorokausi 80 °C:ssa ja versoja ja kuorta 1—2 vrk 105 °C:n lämpötilassa, minkä jälkeen niiden kuivamassa mitattiin 0,1 gramman tarkkuudella. Koeputien tunnuksia on esitetty liitetaulukossa 1.

Keväällä 1983, kun lehdet olivat alkaneet kehittyä, inventoitiin vesojen latvaosien paleltumiset mittaamalla vesojen paleltuneen latvaosan ja terveen tyviosan pituudet, vesojen tyviläpimitta sekä läpimitta paleltuman kohdalta. Samalla kerättiin paleltuneita vesojen latvasia paleltuneen kuivamassan määrittämistä varten koevesoiksi. Näistä mitattiin pituus, läpimitta sekä kuivamassa.

Turpeen paksuus mitattiin kultakin koelalalta viidestä kohdasta: lävistäjiltä n. 5 m:n etäisyydeltä koeruudun nurkista ja keskipisteestä. Turpeen paksuus vaihteli koko koelaeuella välillä 60—160 cm, keskiarvon ollessa 100 cm (s = 25 cm). Lumen paksuus, joka mitattiin 11.3.1983 kaikilta koeruuduilta viidestä systemaattisesti valitusta kohdasta kuten turpeen paksuuskin, vaihteli 40 ... 80 cm:iin.

Elokuun lopussa v. 1983 otettiin kaikilta koeruuduilta lehtinäytteet pajujen yläosien lehdistä, ei kuitenkaan aivan latvasta. Syyskuussa v. 1983 otettiin vesänäytteet (vähintään viisi vesaa koeruudulta), joista erotettiin puuaine ja kuori. Näytteistä määritettiin Viljavuuspalvelu Oy:ssä typpi-, fosfori- ja kaliumpitoisuudet. Syksyllä 1983 kerättiin kaikilta koelaloilta 0—10 cm:n pintaturvekerroksesta turvenäytteet, jotka koostettiin viidestä systemaattisesti eri puolilta koelaa otetusta osanäytteestä. Niistä analysoitiin Viljavuuspalvelu Oy:ssä kokonais-, nitraatti- ja ammoniumtyppi, happamalla ammoniumasetaatilla (pH 4,65) uutettu kalium, kalsium, magnesium ja fosfori, johtoluku ja pH.

Vuoden 1983 kasvukausi oli keskimääräistä lämpimämpi. Vuonna 1982 kesäkuu oli keskimääräistä kylmempi ja kuun puolivälissä koelaeuella oli halloja.

23. Kuivamassan laskenta

Biomassaositteille (lehdet, puu, kuori) ratkaistiin kuivamassayhtälöt, jotka olivat muotoa $Y = ax^b e$ (ks. Björklund ja Ferm 1982, Hytönen 1985). Vakiotermien

ratkaisemiseksi yhtälöt muutettiin logaritmiseen lineaariseen muotoon. Muunnoksen aiheuttama pieni aliarvio korjattiin lisäämällä vakioon a korjauskertoimen $s^2/2$ (Meyer 1941), missä s on yhtälön jäännöshajonta. Korjauksen vaikutus oli vähäinen. Malleissa tutkittiin selitettävänä tunnuksina vesojen pituutta, tyviläpimittaa ja pituuden ja tyviläpimitan neliön tuloa. Näistä pituus osoittautui massaa huonommin selittäväksi tunnukseksi (ks. Hytönen 1985). Vuoden 1982 koepuuaineisto yhdistettiin, koska eri käsittelyille lasketut yhtälöt eivät eronneet toisistaan F-testillä verrattaessa merkitsevästi.

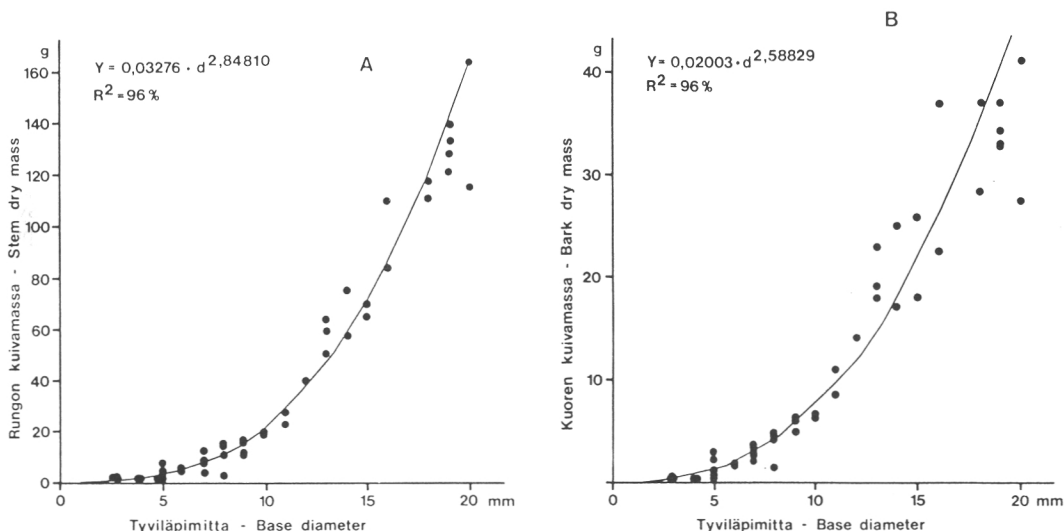
Koalakohtaiset kuivamassat laskettiin yhtälöiden jäännösvaihtelukuvatarkastelun jälkeen summaamismenetelmällä käyttäen runkolukusarjaa sekä taulukossa 2 esitettyjä pituuden ja tyviläpimitan neliön tuloon perustuvia yhtälöitä. Paleltuneille latvaosien koevesoille ratkaistiin kuivamassayhtälöt sekä kuivamassayhtälöä ja runkolukusarjaa käyttäen koalakohtaiset paleltuneiden vesanosien kuivamassat vastaavalla tavalla. Kaksivuotiaiden koevesojen tyviläpimitan ja lehdeettömän maanpäällisen kuivamassan sekä kuorimassan riippuvuus on esitetty kuvissa 1A ja 1B.

Taulukko 2. Vesipajun 1- ja 2-vuotiaiden vesojen kuivamassayhtälöt. Yhtälöt ovat muotoa $Y = ax^{bh}$, jotka on logaritimuunnoksen jälkeen korjattu kertoimella $s^2/2$. Y = massa (g), d = tyviläpimita (0,1 m, mm), h = pituus (cm), a ja b = vakioita, V = yhtälön variaatiokerroin.

Table 2. Dry mass equations for 1- and 2-year-old sprouts of *Salix 'Aquatica'*. Equations have the form $Y = ax^{bh}$, which after logarithmic transformation have been corrected with $s^2/2$. Y = mass (g), d = diameter at base (mm), h = height, V = coefficient of variation.

Kasvin osa, Y Compartment	Vesojen ikä Age of sprouts a	N	X = d ² h				X = d			
			a	b	R ² %	V	a	b	R ² %	V
Runko 1) Stem 1)	1	120	0,00307	0,91680	98	10,6	0,00986	3,26082	91	20,8
	2	51	0,00286	0,96382	97	29,0	0,03276	2,84810	96	35,0
Lehdet Leaves	1	120	0,00832	0,74920	83	25,8	0,02084	2,68042	79	29,2
	2	51	0,01087	0,71727	64	122,9	0,08085	2,05420	60	135,9
Puuaine Wood	2	51	0,00117	1,01503	97	31,2	0,01541	2,99554	96	38,9
Kuori Bark	2	51	0,00225	0,87367	97	30,4	0,02003	2,58829	96	33,1
Paleltuneet latvat Frozen tops	1	37	0,00423	0,88817	97	21,9				

1) Lehdetön maanpäällinen massa (puuaine ja kuori) — Leafless above-ground mass (wood and bark)



Kuva 1. Kaksivuotiaiden koevesojen lehdeettömän maanpäällisen kuivamassan (A) ja kuorimassan (B) riippuvuus vesojen tyviläpimitasta.

Fig. 1. Dependence of the above-ground leafless dry mass (A) and bark mass (B) on base diameter of two-year-old sprouts.

Rungon, puuaineen ja kuoren sekä lehtimassan laskemiseksi käytettiin samaa mallia, koska tällöin eri massaositteiden yhteenlaskettavuus on parempi (Kozak 1970). Puuaineen massan ja kuoren massan omilla yhtälöillä saatujen lehdettömän maanpäällisen kokonaisuuden ja vastaavalla lehdettömän maanpäällisen massan yhtälöillä saatujen massa-arvioiden ero oli vain -0,5 ... 0,4 %. Mallien additiivisuus oli näin ollen var-

sin hyvä. Kaksivuotiaalle pajuille laskettu lehtimassayhtälö oli kuitenkin melko epävarma. Yleensäkin lehtimassan ennustettavuus on huomattavasti huonompi kuin kokonaisuuden (ks. Alemdag 1980, Schlaegel 1982, Ferm 1985). Lisäksi tässä tutkimuksessa kaikkia lehtiä ei koepuiden myöhäisen korjuuajankohdan vuoksi saatu talteen.

3. TULOKSET

3.1. Kasvualustan ominaisuudet

Kalkituksen jälkeen kasvualustan pH vaihteli 5,4:n ja 6,4:n välillä ja oli näin Ericssonin ja Lindsjön (1981) pajun juurten kasvulle laboratoriotutkimuksessa määrittämän optimaaliseen (5,0—6,0) rajoissa ja jopa sen yläpuolellakin. Kaunisto (1983) tosin ei havainnut kasvihuonekokeessa Ericssonin ja Lindsjön (1981) kuvailemaa korkean pH:n haitallista vaikutusta 6,6 pH:ssakaan käytettäessä puuntuuhkaa. Lannoituskäsitteilyt eivät vaikuttaneet pH:hon. Ennen kalkitusta ei maanäytteitä otettu, eikä pH:ta määritetty. Saman turpeennostosta vapautuneen alueen käsittelemättömiltä osilta otettujen näytteiden pH:n keskiarvoksi on esitetty 4,9 (Hytönen 1984). Myös Kurjen (1982) Oulun maatalouskeskuksen alueen saraturvepelloilta esittämään 5,1:een verrattuna pH on korkea. Vaihtuvan kalsiumin määrä (680—1090 mg Ca/l) oli kuitenkin huomattavan alhainen em. Kurjen aineistoon (\bar{x} = 1250 mg Ca/l) verrattuna. Käsittelemättömillä alueilla samalla turve-

tuotannosta vapautuneella alueella on vaihtuvan kalsiumin määrä ollut keskimäärin 618 mg/l (Hytönen 1984).

Kasvualustan helppoliukoisen fosforin määrään vaikutti eniten superfosfaattilannoitus (taulukko 3). Erot muihin lannoiteisiin ja lannoittamattomaan vertailukäsittelyyn nähden olivat moninkertaiset ja Tukeyn testillä keskiarvoja toisiinsa verrattaessa merkitsevät 0,05 %:n riskillä. Raakafosfaatti- ja apatiittilannoitus kohottivat vain hieman maan helppoliukoisen fosforin määrää verrattuna kumpaankin fosforilannoittamattomaan vertailukäsittelyyn. Kaunistonkaan (1983) kasvihuonekokeessa lannoitus raakafosfaatilla ei sanottavasti vaikuttanut maan liukoisen fosforin määrään, vaan jopa raakafosfaatin ja kalkin määrän kaksinkertaistuksessa liukoisen fosforin määrä väheni merkittävästi sekä suopellon turpeessa että polttoturpeessa. Sen sijaan tuhkalannoitetuissa koejäsenissä kasvualustan liukoisen fosforin määrä kohosi voimakkaasti tuhkan määrän lisääntyessä (Kaunisto 1983). Tämän tutki-

Taulukko 3. Turpeen eräiden ominaisuuksien keskiarvo ja hajonta koalueella.
Table 3. Mean and standard deviation of some peat properties.

Mitattu ominaisuus Measured property	Lannoitus — Fertilization											
	0		NK		NKPsf		NKPrf		NKPap		F	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s		
pH	5,9	0,1	5,8	0,5	6,1	0,4	6,0	0,2	6,2	0,2	1,4	
Johtoluku — Conductivity, 10 mS/cm	0,8 ^a	0,1	1,4 ^a	0,3	1,9 ^b	0,1	1,5 ^a	0,3	1,6 ^a	0,3	12,4 ^{***}	
Liukoinen — Soluble P, mg/l	1,9 ^a	1,0	1,7 ^a	0,1	18,0 ^b	14,7	2,6 ^a	0,4	2,5 ^a	1,5	4,6*	
Vaihtuva — Exchangeable K, mg/l	5,0 ^a	0,0	60,0 ^b	14,7	53,8 ^b	22,5	65,0 ^b	9,1	66,3 ^b	12,5	13,7 ^{***}	
Vaihtuva — Exchangeable Ca, mg/l	675 ^a	65	794 ^a	134	1088 ^b	148	781 ^a	38	931 ^a	155	7,3 ^{**}	
Vaihtuva — Exchangeable Mg, mg/l	244	33	261	73	336	81	264	18	331	86	2,1	
NH ₄ -N, mg/l	12,0	5,7	15,5	3,1	15,0	3,2	16,3	6,0	13,5	3,0	0,6	
NO ₃ -N, mg/l	9,5 ^a	1,7	22,0 ^b	4,5	23,8 ^b	8,6	20,8 ^b	8,9	24,3 ^b	3,2	3,9*	
Tot. N, %	2,69	0,07	2,61	0,06	2,56	0,13	2,68	0,05	2,56	0,05	2,6	
Turveysyvyys — Peat depth, cm	91	11	104	30	95	23	114	32	108	11	0,7	

Taulukko 4. Puustotunnuksia.
Table 4. Tree characteristics.

Tunnus Characteristic	Kasvuston ikä Age of stand a	NK x	s	Lannoitus — Fertilization						F
				NKPrf x	s	NKPsf x	s	NKPrf x	s	
Elävien vesojen pituus, cm Height of living sprouts, cm	1	50,1 ^a	2,1	77,9 ^b	8,4	53,8 ^a	2,8	49,4 ^a	1,6	30,0 ^{***}
— „ —	2	71,8 ^a	11,3	131,9 ^b	5,4	76,1 ^a	19,8	60,2 ^a	14,3	21,7 ^{***}
Elävien vesojen tyviläpimitta, mm Base diameter of living sprouts, mm	1	4,7 ^a	0,1	5,8 ^b	0,3	4,9 ^a	0,2	4,7 ^a	0,2	28,8 ^{***}
— „ —	2	5,8 ^a	0,8	9,9 ^b	0,5	6,1 ^a	1,3	5,2 ^a	1,1	18,8 ^{***}
Vesominen, vesoja kpl/kanto Sprouting, no. of sprouts/stump	1	6,3 ^a	0,6	8,9 ^b	1,2	6,2 ^a	0,8	5,0 ^a	0,8	13,6 ^{***}
— „ —	2	9,9	2,9	9,1	1,3	9,6	3,2	8,1	0,7	0,5
Tiheys, vesoja kpl/m ² Density, no. of sprouts/m ²	1	25,5 ^a	1,6	35,6 ^b	5,8	24,6 ^a	4,6	20,3 ^a	3,2	10,2 ^{**}
— „ —	2	39,3	12,5	37,1	5,4	36,9	11,0	32,6	2,7	0,4
Kuolleita vesoja No. of dead sprouts/m ²	2	6,7 ^a	2,0	12,8 ^b	2,4	8,1 ^{ab}	3,9	6,1 ^a	2,5	4,7 [*]

muksen aineistossa vain superfosfaatin muodossa fosforilannoituksen saaneiden pajujen kasvualustan liukoisin fosforin pitoisuus ylitti Kurjen (1982) Oulun maatalouskeskuksen saraturvepelloille esittämät arvot.

Vaihtuvan kaliumin määrä oli 10 ... 13 kertaa suurempi kalisuolalla lannoitetussa kuin lannoittamattomassa turpeessa. Kalisuolalla lannoitettujen pajujen kasvualustan vaihtuvan kaliumin pitoisuus oli samantasoinen ja vaihtuvan magnesiumin pitoisuus oli hivenen korkeampi kuin em. Kurjen vertailuaineistossa.

Turpeen kokonaistyyppipitoisuus oli verrattain korkea, keskimäärin 2,6 % (vrt. Kaunisto 1979, 1982, 1983, Ferm ja Kaunisto 1983, Hytönen 1984, Lumme ym. 1984). Tyypilannoitus ei vaikuttanut NH₄-tyypin määrään, eikä lannoittamattoman ja tyypilannoitettujen kasvualustojen ammoniumtyypipitoisuuden välillä ollut tilastollisesti merkitsevää eroa (taulukko 3). Tyypilannoitettujen kasvualustojen nitraattityypipitoisuus oli sen sijaan yli kaksinkertainen tyypilannoittamattomiin verrattuna. Kauniston (1981) kasvihuonekokeessa tyypilannoitus Oulunsalpietarilla lisäsi kasvualustan NH₄- ja NO₃-tyypipitoisuutta kaikissa tapauksissa.

32. Kuolleisuus, pituus ja läpimitta, kasvustojen tiheys ja vesojen palttuminen

Kuolleisuus (vesattomien kantojen ja kantojen, joissa oli vain kuolleita vesoja osuus)

inventoitiin syksyllä 1982 vesojen ollessa yksivuotiaita. Kalkitulla alustalla, mutta ilman lannoitusta kasvaneista pajuista oli tuolloin kuollut 95,5 %. Syynä suureen kuolleisuuteen ei ollut alhainen pH (ks. Ericsson ja Lindsjö 1981, Kaunisto 1983), sillä kalkituksen jälkeen kasvualustan pH oli keskimäärin 5,9 (taulukko 3). Kalkitus voi päinvastoin lisätä kuolleisuutta, koska luontaisen fosforin liukoisuus laskee pH:n muuttuessa 4:stä 5,5:een (Lakanen ym. 1970). Lannoitetuilla koeruu-
duilla kuolleisuus oli vain 1,2—4,4 %.

Ainoastaan NKPsf-lannoitus lisäsi pajujen läpimitan ja pituuden kasvua (taulukko 4). Erot muihin koejäseniin olivat tilastollisesti erittäin merkitsevät. Ensimmäisen kasvukauden jälkeen NKPsf-lannoitetut pajut olivat muita pajuja 25 cm pidempiä ja 1 mm:n paksumpia ja toisen kasvukauden jälkeen n. 60 cm pidempiä ja n. 4 mm paksumpia. Vesojen pituuden ja läpimitan kehitys ilman fosforilannoitusta oli samanlainen kuin Prf- ja Pap-lannoitettujen pajujen.

Kasvustojen tiheys vesomisen jälkeen oli suuri. Kun pistokkaita istutettiin 4,1 kpl/m² oli kaksivuotiaissa pajutiheiköissä peräti 33 ... 39 vesaa neliometrillä. Ensimmäisen kasvukauden jälkeen NKPsf-lannoitetut pajut vesoiivat paremmin kuin muut ja myös kasvustojen tiheys oli suurempi. Erot olivat tilastollisesti merkitseviä (taulukko 4). Toisen kasvukauden loppuun mennessä erot kuitenkin tasoittuivat siten, että muilla tavoin lannoitettuihin kasvustoihin syntyi uusia vesoja. Tämä lisävesominen johtui ilmeisesti syksyn

Taulukko 5. Paleltuneiden vesojen tunnuksia.
Table 5. Characteristics of frozen sprouts.

Tunnus Characteristic	NK		Lannoitus — Fertilization NKPsf		NKPrf		NKPap		F
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	
Terveen vesan osuuden pituus, cm Length of healthy part of sprouts, cm	21,9 ^a	6,6	55,0 ^b	8,6	23,9 ^a	10,6	20,8 ^a	10,3	12,9***
Paleltuneen latvaosan pituus, cm Length of frost damaged shoot top, cm	24,4	1,1	28,2	1,9	28,2	5,3	24,9	5,0	1,2
Vesan läpimitta paleltuneen ja terveen osan rajalla, mm Diameter of sprouts at point of frost damage, mm	4,1	0,1	4,0	0,2	4,2	0,3	3,8	0,3	2,2
Paleltuneen vesan massa, g/kpl Mass of frozen sprout, g/sprout	1,1 ^a	0,1	1,7 ^b	0,2	1,4 ^a	0,4	1,0 ^a	0,2	7,0**
Paleltunut massa, t/ha Frozen mass, t/ha	0,21 ^a	0,03	0,37 ^b	0,04	0,26 ^a	0,06	0,18 ^a	0,04	15,4***
Paleltuneen massan osuus kokonaisrunko- massasta, % Share of frozen mass in total stem mass, %	43,4 ^a	6,0	23,0 ^b	5,9	45,4 ^a	8,3	44,6 ^a	9,2	8,4**

tai talven aikana tapahtuneesta paleltumisesta, minkä seurauksena lähelle maanpinnan rajaa paleltuneet pajut vesoivat uudelleen. Superfosfaatilla lannoitettujen pajujen vesoja paleltui eniten (taulukko 4), mutta ne eivät paleltuneet tyvelle asti, jolloin niitä ei laskettu uusiksi vesoiksi. Toisen kasvukauden jälkeen kuolleita vesoja oli huomattavan paljon.

Yksivuotiaiden vesojen latvapaleltumien inventoinnin tuloksia on esitetty taulukossa 5. Parhaiten kasvaneiden, superfosfaatilla lannoitettujen pajujen vesojen paleltumattoman terveen osan pituus oli suurin, 55 cm. Eri tavoin lannoitettujen pajujen paleltuneiden latvaosien pituudet ($\bar{x} = 26$ cm) ja paksuudet ($\bar{x} = 4$ mm) paleltuneen versonosan rajalta eivät poikenneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan. Sen sijaan keskimääräisen paleltuneen vesan latvaosan massa oli suurin NKPsf-lannoitetuilla koeruuduilla. Lumen paksuuden ja paleltuneen versonosan massan välinen korrelaatio oli positiivinen ($r = 0,548^*$). Vesojen latvaosat olivat ilmeisesti paleltuneet ennen lumen tuloa. Paleltuneen vesanosan massan ja maan liukoisen fosforin määrän välillä oli positiivinen, merkitsevä vuorosuhde (liite 2). Regressioanalyysissä riippuvuutta kuvasi suora $Y = 0,022X + 1,15$ ($F = 8,11^*$, $R^2 = 36,7\%$). Puuaineen ja lehtien fosforipitoisuuden ja keskimääräisen paleltuneen vesanosan massan välinen vastavuussuhde oli merkitsevä ja positiivinen sekä lehtien kaliumpitoisuuden ja keskimääräisen

paleltuneen vesan latvaosan massan vastavuussuhde negatiivinen (liite 3). Lehtien ja puuaineen ravinesuhteista K/P-suhde korreloi parhaiten paleltuneen vesanosan massan kanssa. Askeltavassa regressioanalyysissä paleltuneen vesanosan massaa selittäväksi tekijäksi eri kasvinosien ravinnepitoisuuksista tuli malliin puun fosforipitoisuus ($Y = 1,043X + 0,720$, $F = 9,66^{**}$, $R^2 = 49,1\%$).

Taulukon 2 yhtälöllä lasketun paleltuneen massan määrä oli 0,18—0,37 t/ha (taulukko 5). Eniten paleltunutta massaa oli parhaiten kasvaneissa NKPsf-lannoitetuissa pajukasvustoissa. Syynä oli huomattavasti suurempi vesojen määrä ensimmäisen kasvukauden jälkeen sekä paleltuneen vesanosan suurempi massa. Paleltuneen massan osuus lehdettömästä kokonaiskuivamassasta oli suuri: 23 % superfosfaatilla lannoitetuissa pajukasvustoissa, muissa peräti 43—45 %.

33. Biomassatuotos

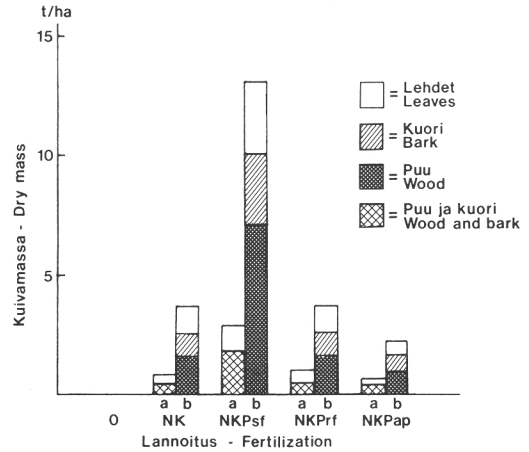
Pajut eivät kasvaaneet kalkitulla kasvualustalla ilman lannoitusta (kuvat 2 ja 3), vaan 95,5 % kuoli tarkastelujakson aikana. Fosforilannoitelajeista ainoastaan superfosfaatti (NKPsf) lisäsi pajujen kasvua merkitsevästi verrattuna pelkkään NK-lannoitukseen (taulukko 6, kuvat 2 ja 4). Apatiitilla lannoitetut pajut kasvoivat jopa hieman heikommin kuin NK-lannoitetut pajut.

Yksivuotiaiden NKPsf-lannoitettujen paju-

jen kokonaismassa (lehtineen) ensimmäisen kasvukauden jälkeen oli 2,9 t/ha ja muulla tavoin lannoitettujen pajujen kokonaismassa oli 0,7—1,0 t/ha. Superfosfaatilla lannoitettujen yksivuotiaiden pajujen lehtimassa oli 3,0 ja lehdetön runkomassa 3,6 kertaa suurempi kuin muulla tavoin lannoitettujen pajujen. Kaksivuotiaiden, NKPsf-lannoitettujen pajujen kokonaismassa lehdet mukaanlukien oli 13,1 t/ha. Muulla tavoin lannoitettujen pajujen kokonaismassa toisen kasvukauden jälkeisenä syksynä oli 2,2—3,6 t/ha. Superfosfaatilla lannoitettujen pajujen lehtimassa oli toisen kasvukauden jälkeen 3,1, kuorimassa 4,0 ja puuaineen massa peräti 5,0 kertaa niin suuri kuin vastaavat massat muilla koejäsenillä.

NKPsf-lannoitettujen pajujen toisen kasvukauden lehdetön maanpäällinen kuivamassatuotos oli peräti 4,8 (muulla tavoin lannoitettujen pajujen 2,7 ... 4,1) kertaa niin suuri kuin ensimmäisen kasvukauden tuotos.

Kuiva-ainetuotoksesta oli huomattava osa lehdissä ja kuoressa. Mitä suurempi kasvusto oli, sitä pienempi oli näiden ositteiden osuus. Yksivuotiaassa kasvustossa NKPsf-lannoitettujen pajujen kokonaismassasta lehtien osuus oli 40,7 % (muulla tavoin lannoitetuilla pajuilla keskimäärin 42,9 %). Kaksivuotiaiden superfosfaatilla lannoitettujen pajujen lehti-



Kuva 2. Vesipajujen kuivamassa ensimmäisen (a) ja toisen (b) kasvukauden jälkeen.

Fig. 2. Dry mass of willows after the first (a) and second (b) growing season.

massan osuus kokonaismassasta oli 23,1 %, kuorimassan 22,9 % ja puuaineen massan 54,0 %. Muilla koejäsenillä lehtimassan (31,6 %) ja kuorimassan (23,5 %) osuus oli suurempi ja vastaavasti puuaineen massan osuus pienempi (44,9 %).

Taulukko 6. Kasvustojen massatunnuksia.
Table 6. Dry mass of stands.

Tunnus Characteristic	Kasvuston ikä Age of stand	Lannoitus — Fertilization								F
		NK		NKPsf		NKPrf		NKPap		
	a	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	
Lehtimassa, t/ha Leaf mass	1	0,38	0,04	1,14	0,37	0,44	0,11	0,31	0,05	15,7***
Runkomassa, t/ha ¹ Stem mass ¹	1	0,49	0,06	1,74	0,64	0,59	0,16	0,40	0,07	14,5***
Kokonaismassa, t/ha Total mass	1	0,87	0,10	2,89	1,01	1,02	0,27	0,71	0,11	15,0***
Lehtimassa, t/ha Leaf mass	2	1,12	0,11	3,03	0,68	1,09	0,30	0,72	0,31	26,3***
Kuorimassa, t/ha Bark mass	2	0,87	0,11	3,01	0,71	0,86	0,33	0,53	0,29	29,5***
Puuaineen massa, t/ha Wood mass	2	1,64	0,27	7,10	1,74	1,66	0,78	0,96	0,62	31,9***
Runkomassa, t/ha ¹ Stem mass ¹	2	2,51	0,38	10,11	2,45	2,52	1,11	1,48	0,90	31,2***
Kokonaismassa, t/ha Total mass	2	3,62	0,47	13,14	3,11	3,60	1,38	2,20	1,22	30,0***

¹) Lehdetön maanpäällinen massa (puuaine ja kuori) — Leafless above-ground mass (wood and bark)



Kuva 3. Etualalla lannoittamaton koeruutu.
Fig. 3. Unfertilized plot in the foreground.



Kuva 4. Etualalla raakafosfaatilla (NKPrf) ja taustalla superfosfaatilla (NKPsf) lannoitettuja pajuja.
Fig. 4. Willows fertilized with rock phosphate (NKPrf) in the foreground and with superphosphate (NKPsf) in the background.

34. Eri kasvosien typpi-, fosfori- ja kaliumpitoisuudet

Fosforilannoitelajeista superfosfaatti nosti lehtien fosforipitoisuutta tilastollisesti merkitsevästi verrattuna täysin lannoittamattomaan tai NK-lannoitettuun koejäseneseen sekä muihin fosforilannoitelajeihin (kuva 5). Sen sijaan apatiitilla ja raakafosfaatilla lannoitettujen pajujen lehtien fosforipitoisuus oli vain hieman korkeampi kuin täysin lannoittamattomien tai NK-lannoitettujen pajujen. Nämä erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. NPKsf-lannoitettujenkin pajujen lehtien fosforipitoisuus oli selvästi alhaisempi kuin Näsin ja Pohjosen (1982), Saarsalmen (1984) sekä Hytösen (1985) aineistoissa.

Pajun lehtien typpipitoisuus oli alhaisin (3,3 %) täysin lannoittamattomilla koealoilla, poiketen tilastollisesti merkitsevästi muista käsittelyistä (kuva 5). Typpilannoitettujen pajujen lehtien typpipitoisuus oli 3,6—3,9 %. Vesipajujen lehtien typpipitoisuus oli selvästi suurempi kuin Saarsalmen (1984) tai Näsin ja Pohjosen (1981) aineistossa sekä hieman korkeampi kuin Hytösen (1985) lietalannostuskokeessa.

Superfosfaatilannoitus laski pajujen lehtien kaliumpitoisuuden tilastollisesti merkitsevästi alhaisemmaksi kuin muut fosforilannoitelajit (kuva 5). Lannoittamattomien pajujen lehtien kaliumpitoisuus oli alhaisin (0,88 %). Ero NKPsf-lannoitukseen (K-pitoisuus 1,37 %) ei kuitenkaan ollut merkitsevä. Tämän tutkimuksen vesipajujen lehtien suurin kaliumpitoisuus oli samantasoinen kuin Näsin ja Pohjosen (1981) aineistossa, mutta huomattavasti alhaisempi kuin Saarsalmen (1984) esittämä.

Eri tavoin lannoitettujen ja lannoittamattomienkin pajujen kuoren ravinnepitoisuudet eivät poikenneet toisistaan tilastollisesti merkitsevästi (kuva 5). Kuoren typpipitoisuus oli keskimäärin 2,1—2,2 %, fosforipitoisuus 0,12—0,22 % sekä kaliumpitoisuus 0,7—1,1 %. Superfosfaatilla lannoitettujen pajujen kuoren fosforipitoisuus oli korkeampi kuin muilla fosforilannoitelajeilla lannoitettujen pajujen, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Kuoren typpipitoisuus oli korkea, kuitenkin alhaisempi kuin lehtien, sen sijaan kuoren fosforipitoisuus oli NKPsf-lannoitusta lukuunottamatta jopa korkeampi kuin lehtien.

Puun ravinnepitoisuudet olivat selvästi alhaisempia kuin kuoren (kuva 5). Puun typpi-

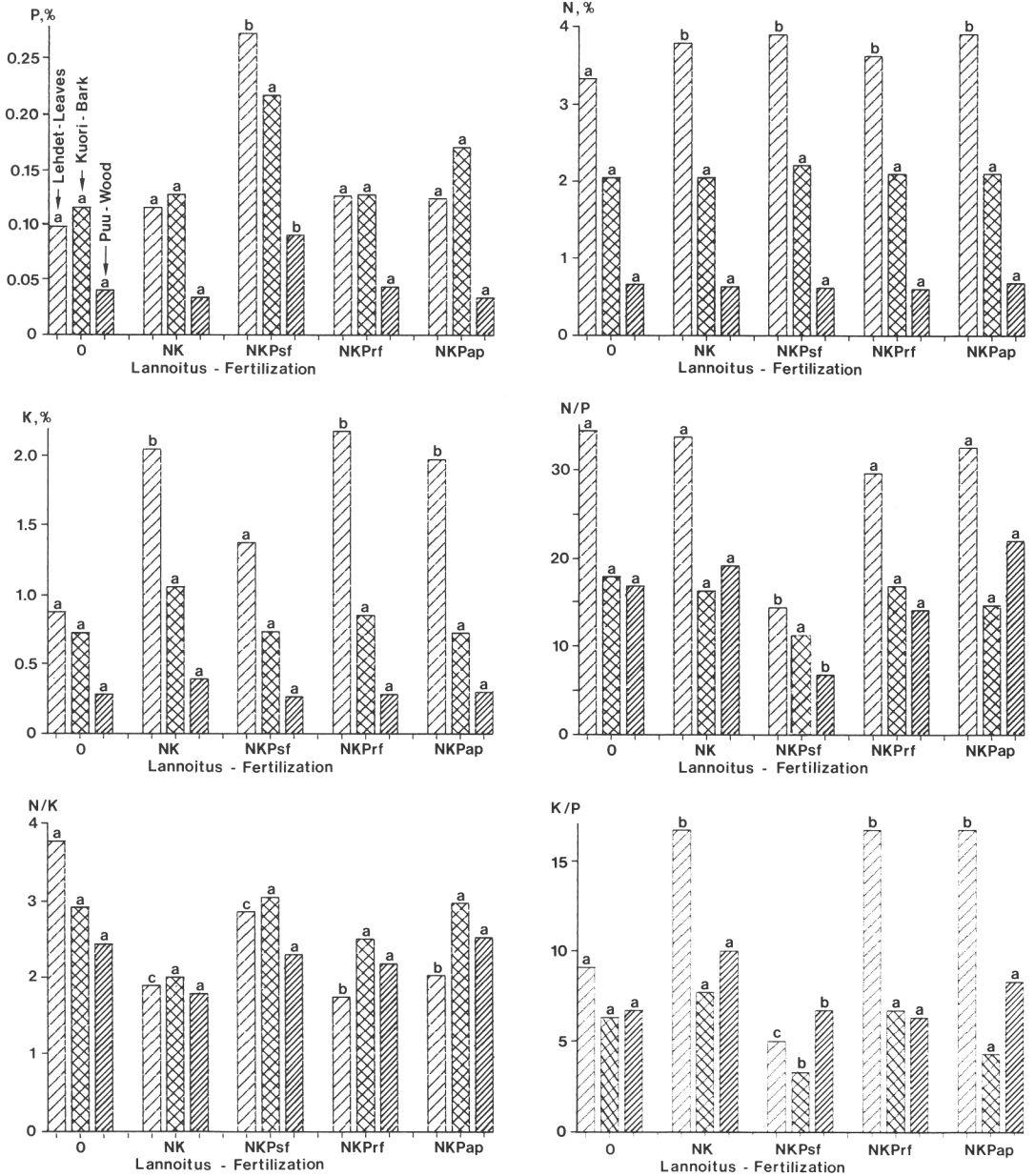
pitoisuus oli 0,6—0,7 %, fosforipitoisuus 0,03—0,09 % ja kaliumpitoisuus 0,3—0,4 %. Fosforilannoitelajeista ainoastaan superfosfaatti nosti puuaineen fosforipitoisuutta tilastollisesti merkitsevästi. Muita fosforilannoitteita käytettäessä puuaineen fosforipitoisuudet eivät poikenneet täysin lannoittamattomien tai NK-lannoitettujen pajujen puuaineen fosforipitoisuuksista. Eri tavoin lannoitettujen pajujen puuaineen typpi- ja kaliumpitoisuudet eivät poikenneet toisistaan. Lannoittamattomien ja superfosfaatilla lannoitettujen pajujen puuaineen kaliumpitoisuus oli alhaisin vaikkakaan erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

NKPsf-lannoitettujen pajujen lehtien, kuoren ja puuaineen N/P-suhde oli alhaisin. Ero oli Tukeyn testillä keskiarvoja verrattaessa merkitsevä vain lehtien ja puuaineen ravinne-suhteiden osalta. Lehtien N/P-suhde oli korkea verrattuna Hytösen (1985) aineistoon, jossa suurimmalla lietemäärällä (120 m³/ha) lannoitettujen pajujen N/P-suhde kivennäismaalla oli 11—12 ja Normaali Y-lannoksella lannoitettujen vain 7—8. NKPsf-lannoitus nosti tämän tutkimuksen pajujen lehtien, kuoren ja puuaineen N/K-suhdetta ja laski K/P-suhdetta verrattuna muihin fosforilannoitelajeihin.

35. Massa- ja puustotunnusten riippuvuus kasvualustan ja eri kasvosien ravinnepitoisuuksista

Kasvualustan liukaisen fosforin määrä korreloi positiivisesti lehtien, kuoren ja puuaineen fosforipitoisuuksien kanssa (liite 4). Myös maan vaihtuvan kalsiumin määrän ja eri kasvosien fosforipitoisuuksien välillä oli merkitsevä positiivinen vuorosuhde. Kasvualustan nitraattitypen määrän ja lehtien typpipitoisuuden välillä oli positiivinen tilastollisesti merkitsevä vuorosuhde. Sen sijaan turpeen totaalitypen ja lehtien typpipitoisuuden välinen korrelaatio oli negatiivinen ja melkein merkitsevä. Myös maan vaihtuvan kaliumin määrän ja lehtien kaliumpitoisuuden välinen korrelaatio oli positiivinen ja tilastollisesti erittäin merkitsevä.

Mitatuista maan ominaisuuksista eräiden massa- ja puustotunnusten kanssa korreloivat parhaiten maan liukaisen fosforin ja vaihtuvan kalsiumin määrät, fosfori tilastollisesti erittäin merkitsevästi ja kalsium melkein merkitsevästi (liite 2). Askeltavassa re-



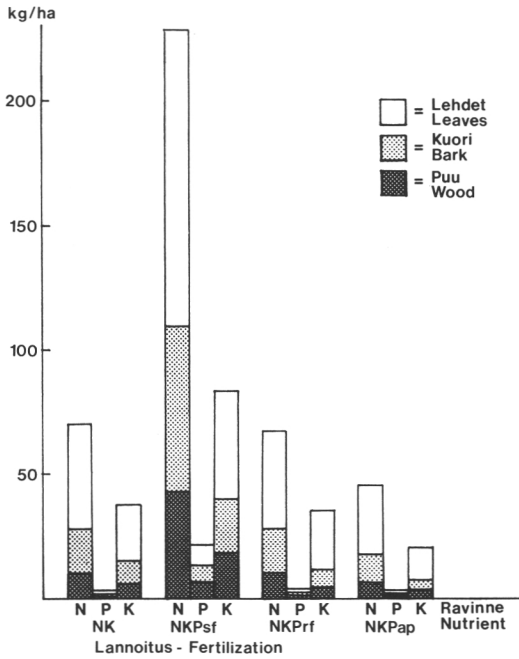
Kuva 5. Eri tavoin lannoitettujen vesipajujen lehtien, kuoren ja puuaineen typpi-, fosfori- ja kaliumpitoisuudet sekä ravinnesuhteet. Samalla kirjaimella merkitty ne lehtien, kuoren ja puun ravinnepitoisuudet tai ravinnesuhteet, jotka eivät poikkea toisistaan ($p = 0,05$).

Fig. 5. Nitrogen, phosphorus and potassium content and nutrient ratios of leaves, bark and wood of differently fertilized willows. Nutrient contents or ratios of leaves, bark and wood marked with the same letter do not differ from each other ($p = 0,05$).

gressioanalyysissä tuotosta selittäväksi muutujiksi malliin tulivat mukaan kasvualueen liukoisesta fosforista (x_1) ja vaihtuvan kaliumin (x_2) määrät. Lehtettömän maanpäällisen kuivamassan riippuvuutta kasvualueen o-

naisuudesta kuvasi tasoa $Y = 33,36(x_1) - 11,35(x_2) + 904,21$ ($F = 20,61^{***}$, $R^2 = 72,3\%$).

Lehtien fosforipitoisuus korreloi positiivisesti ja erittäin merkitsevästi eräiden massa-



Kuva 6. Kaksivuotiaisiin pajukasvustoihin sitoutuneiden ravinteiden määrä.

Fig. 6. Amount of nutrients bound in two-year-old willow stands.

Taulukko 7. Kaksivuotiaisiin eri tavoin lannoitettuihin vesipajukasvustoihin sitoutuneiden ravinteiden määrä.

Table 7. Amount of nutrients bound in differently fertilized two-year-old willow stands.

Ravinne Nutrient	Lannoituskäsitely — Fertilization treatment			
	NK	NKPsf	NKPrf	NKPap
N, kg/t	19,5	17,3	18,7	20,7
P, kg/t	0,8	1,6	0,9	1,0
K, kg/t	10,6	6,3	9,8	9,5

ja puustotunnusten kanssa (liite 3). Lehtien typpipitoisuuden ja massa- ja puustotunnusten välinen vuorosuhde oli sen sijaan vähäinen. Kuoren ja puuaineen ravinnepitoisuuksista fosforipitoisuus ja K/P-suhde korreloivat parhaiten massa- ja puustotunnusten kanssa. Puuaineen osalta vuorosuhteet olivat

tilastollisesti erittäin merkitseviä. Askeltavassa regressioanalyysissä lehdetöntä maanpäällistä kuivamassaa selitti parhaiten puuaineen fosforipitoisuus. Riippuvuutta kuvasi suora $Y = 1438,94x - 270,70$ ($F = 41,88^{***}$, $R^2 = 78,8\%$).

36. Kasvustoon sitoutuneiden ravinteiden määrä

Pajuihin kahden kasvukauden jälkeen sitoutuneiden ravinteiden määrät laskettiin eri tavoin lannoitettujen pajujen lehtien, kuoren ja puuaineen ravinnepitoisuuksien ja kuivainemassojen keskiarvoja käyttäen. NKPsf-lannoitettuihin pajuihin ravinteita oli sitoutunut selvästi eniten (kuva 6). Noin puolet ravinteista oli sitoutunut lehtiin. Pajujen kuoreen ravinteita oli sitoutunut selvästi enemmän kuin puuaineseen. Tosin lehtinäytteet otettiin pajujen yläosista, missä lehtien kaliumipitoisuus on alaisempi ja fosforipitoisuus korkeampi kuin alaosan lehdistä (Kaakinen 1983). Lehtien osalta tuloksiin saattaakin sisältyä kaliumin osalta aliarviota ja fosforin osalta yliarviota. Lisäksi myöhäisen keräysajankohdan vuoksi osa ravinteista oli jo saattanut siirtyä lehdistä muihin kasvinosiin.

Kahden kasvukauden ikäisiin NKPsf-lannoitettuihin vesipajuihin oli yhtä tuotettua biomassayksikköä kohti sitoutunut enemmän fosforia, mutta vähemmän typpeä ja kaliumia kuin muulla tavoin lannoitettuihin pajuihin (taulukko 7). Määrät ovat fosforin osalta, kun fosforilannoitteena käytettiin superfosfaattia, samantasoiset kuin Saarsalmen (1984) yksivuotiaille pajuille ja hieman alaisemmat kuin Fermin (1985) yksi- ja kaksivuotiaille vesipajuille esittämät arvot. Typpeä tämän tutkimuksen pajuihin oli sitoutunut tuotettua biomassayksikköä kohti huomattavasti enemmän kuin Saarsalmen (1984) tai Fermin (1985) kokeissa. Kaliumin määrä, etenkin NKPsf-lannoitetuissa pajuisissa, on erityisen alhainen verrattuna Saarsalmen arvioon, mutta samantasoinen Fermin tulosten kanssa.

4. TULOSTEN TARKASTELUA

Kalkituksen jälkeen kasvualustan pH oli hyvin Ericssonin ja Lindsjön (1981) pajujen juurten kasvuille esittämällä pH-optimialueella ainakin turpeen pintaosissa. Kuitenkin pajut kasvoivat erittäin huonosti ja vain 5 % oli elossa kalkitussa, mutta lannoittamattomassa turpeessa. Haapaveden Piipsannevan turpeennostosta vapautuneella alueella pajujen on todettu kuolevan muutamassa vuodessa ilman kalkitusta ja lannoitusta (Hytönen 1982). Kasvualustassa oli liukoista fosforia huomattavasti enemmän lannoitettaessa superfosfaatilla kuin lannoitettaessa kokonaisfosforin osalta vastaavilla raakafosfaatti- tai apatiittimäärillä. Vaihtuvaa kaliumia oli lannoittamattomilla koeruuduilla vain vajaa kymmenesosa siitä mitä kaliumlannoitetuilla koeruuduilla.

Abioottisista tuhoista etenkin kasvukaudenaikaiset hallat ja talven pakkaset saattavat aiheuttaa huomattavia tuotostappioita. Viljeltyjen pajulajien usein eteläinen alkupe-
rä, kasvun jatkuminen pitkälle syksyn pak-
kasiin asti, voimakas lannoitus sekä tärkeim-
pien potentiaalisten kasvupaikkojen, kuten
turvemaiden ja turvetuotannosta vapautu-
neiden suonpohjien hallanarkuus lisää palel-
tumisriskiä. Christerssonin ym. (1982) tutki-
milla kaikilla pajulajeilla alkoi solujen jää-
kristallimuodostus -2° ... -4° C lämpötilas-
sa, minkä seurauksena kasvavat kasvinosat
kuolivat. Tämänkin tutkimuksen pajut voitu-
ivat v. 1982 alkukesän halleissa. Varsinai-
sesti vesojen latvojen paleltuminen tapahtui
kuitenkin vasta syksyn tai alkutalven pakkas-
ten aikana ennen lumen tuloa. Yksivuotiaista
pajuista paleltui keskimäärin 26 cm:n pitui-
nen osa pajujen latvasta. Keskimääräisen palel-
tuneen vesanosan massa oli suurin NKPSf-
lannoitetuilla koeruuduilla ja maan liukoisien
fosforin määrä sekä puun ja lehtien fosforipi-
toisuus korreloikin positiivisesti paleltuneen
vesanosan massan kanssa. Sen sijaan puun ja
lehtien kaliumpitoisuuden ja paleltuneen ve-
sanosan massan välinen korrelaatio oli negatiivinen. Rossin (1977) havaintojen mukaan
sama vesipajuklouni (E4856) oli Suonenjoella

eräs kestävimmistä. Tosin täysin vauriotto-
mia taimia ei ollut ja noin puolella vesoista
oli 1/4 verson latvasta paleltunut ja loppuilla
vielä enemmän. Tämän tutkimuksen yksi-
vuotiaan pajutiheikön tuotoksesta oli palel-
tunut 0,18—0,37 t/ha. Tämä vastasi 23 %
NKPSf-lannoituksen saaneiden pajujen en-
simmäisen vuoden massasta ja peräti 43—
45 % muilla tavoin lannoitettujen pajujen
massasta. Paleltuneiden latvaosien massa oli
mittaushetkellä vielä käyttökelpoista. Tutki-
muksessa ei arvioitu kuinka nopeasti latva-
osat katkeavat ja putoavat maahan, joten palel-
tuminen aiheuttamaa todellista satomenety-
stä ei saatu arvioiduksi. Rossi (1982) on in-
ventoinut erällä pajuviljelmällä hirvien syö-
män latvabiomassan määrän. Satomenety-
(0,7 %) oli pieni verrattuna tässä esitettyihin
paleltuneen massan osuuksiin. Paleltumisen
johti vesojen voimakkaaseen haarautumiseen
seuraavan kasvukauden aikana sekä maahan
asti paleltuneiden vesojen osalta uusien vesojen
syntymiseen.

Yksivuotiaiden pajujen lehdetön maan-
päällinen kuivamassa oli parhaalla lannoit-
uskäsittelyllä (NKPSf) 1,7 t/ha ja kaksivuotiaiden
10,1 t/ha. Mielenkiintoista on, että turpeennostosta
vapautuneelle alueelle luontaisesti syntyneen
koivikon keskimääräinen vuotuinen kuivamassa-
tuotos voi olla yhtä suuri kuin tämän tutki-
muksen kaksivuotiaiden vesipajujenkin (Ferm ja
Kaunisto 1983). Tässä tutkimuksessa toisen
vuoden lehdetön maanpäällinen kuiva-ainetuotos
oli huomattavia vaurioita aiheuttaneesta palel-
tumisesta huolimatta 3—5 kertaa niin suuri kuin
ensimmäisen vuoden tuotos ja lietelannoitettujen
vesipajujen (Hytönen 1985) toisen vuoden
tuotos oli kuusinkertainen ensimmäisen
vuoden tuotokseen verrattuna. Tämä antaa epä-
varmasti talvehtivien kloonienkin osalta ai-
hetta harkita kasvatuksen jatkamista use-
amman vuoden kiertoajalla.

Yksivuotiaassa kasvustossa lehtimassan
osuus kokonaismassasta oli 41—44 % ja
kaksivuotiaassa 23—32 %. Mitä suurempi oli
kokonaistuotos, sitä pienempi oli lehtien

osuus. Saarsalmen (1984) lysimetrikokeessa istutuksenjälkeisen kasvukauden tuotoksesta (lehdetön tuotos 0,8 t/ha) oli lehtimassan osuus 57 % ja seuraavina vuosina vesomisen jälkeen lehtimassan osuus laski 26—36 %:iin. Tämän tutkimuksen kaksivuotiaassa, NKPsf-lannoitetussa kasvustossa kuorimassan osuus oli kokonaisuudessaan 23 % ja 30 % lehdetömästä maanpäällisestä massasta. Lehti- ja kuorimassan suhteellisen suuret osuudet vaikuttavat pajujen käyttökelpoisuuteen esimerkiksi energiapuuksi sekä osaltaan korostavat useamman vuoden kiertoajan edullisuutta.

Käytetyistä fosforilannoitteista ainoastaan superfosfaatti nosti selvästi lehtien, kuoren ja puuaineen fosforipitoisuuksia ja laski merkittävästi lehtien ja hieman myös kuoren ja puun kaliumipitoisuuksia. Muut fosforilannoitelajit, raakafosfaatti ja apatiitti, nostivat vain hieman lehtien fosforipitoisuutta, mutta erot fosforilannoittamattomaan koeyksikköön eivät olleet tilastollisesti merkitsevät. Ravinepitoisuuksien erot näkyivät selvimmän lehdissä. Kalilannoitus nosti selvästi lehtien kaliumipitoisuutta. Lehtien korkea N/P-suhte saattaa viitata lannoituksen epätasapainoisuuteen näiden ravinteiden osalta, etenkin ottaen huomioon turpeen korkean typpipitoisuuden ja suuret lannoitemäärät. Superfosfaatilannoitus laski merkittävästi N/P-suhteita. Typpi ei todennäköisesti muodostunut minimiravinteeksi pajujen kasvun kannalta. Tässä, kuten Kaunistonkin (1983) tutkimuksessa, pajun runkokuoren ja kuoren ravinepitoisuudet olivat monikymmenkertaisia mäntyyn ja koivuun verrattuna (ks. Mälkönen 1974, 1977, Paavilainen 1980).

Lehtien ja kuoren suuren osuuden sekä näiden ja puuaineen korkeiden ravinepitoisuuksien johdosta kasvustoon oli sitoutunut ravinteita huomattavan paljon. Tyypeä oli NKPsf-lannoitettuihin pajuihin sitoutunut 228 kg/ha, fosforia 21 kg/ha ja kaliumia 84 kg/ha. Lehtien osalta tuloksiin on suhtauduttava varauksella, sillä ravinemääritykset tehtiin vain vesojen yläosien lehdistä ja lehtibiomassan määrä lienee myöhäisen korjuuajankohdan vuoksi hieman aliarvioitu. Lehtien osuus biomassatuotoksesta oli 23 %, mutta lehdissä oli sitoutuneesta tyypeä ja kaliumista yli puolet ja fosforista 40 %. Fermin (1985) kaatopaikalla kasvatettujen ja jätevedellä kasteltujen pajujen lehdissä oli hieman suurempi osuus sitoutuneista ravinteista. Tutkimuksen mukaan pajut käyttävät tyypeä, mutta myös fosforia ja kaliumia huo-

mattavan paljon (ks. myös Kaunisto 1983, Saarsalmi 1984, Ferm 1985).

Fosforilannoitelajeista (superfosfaatti, raakafosfaatti, apatiitti) ainoastaan superfosfaatti lisäsi pajujen kasvua. Tutkitut fosforilannoitelajit poikkesivat liukoisuudeltaan toisistaan huomattavasti. Karsiston (1976b) mukaan superfosfaattia voidaan pitää helppo- ja nopealiukoisena, raakafosfaattia vaikea- ja hidasliukoisena ja apatiittia erittäin vaikea- ja hidasliukoisena fosforilannoitteena. Kemiallisilta ominaisuuksiltaan erilaiset fosforilannoitteet soveltuvat eri tavalla pH:ltaan ja kalkkipitoisuudeltaan toisistaan poikkeaville suotyypeille (Karsisto 1976b). Suometsien lannoitukseen on todettu soveltuvan hidasliukoisenkin lannoitteen kuten raakafosfaatin ja apatiitin, mutta superfosfaatilla on saatu nopein reaktio (Huikari 1964, Paarlahti ja Karsisto 1968, Karsisto 1973, 1976a, 1976b, Paavilainen 1979). Sen sijaan nurmen pintalannoitukseen, etenkin kalkitulla suopellolla, on superfosfaatti todettu soveliaammaksi kuin hidasliukoiset thomas- ja hienofosfaatti (Takala 1958, 1961).

Tässä tutkimuksessa raakafosfaatti- ja apatiittilannoituksen vaikutuksen puuttuminen saattaa johtua liian lyhyestä vaikutusajasta näiden lannoitelajien kohdalla ja kasvualustan korkeasta pH:sta. Apatiittilannoituksen uusimisen myöhäisempi ajankohta on myös saattanut vaikuttaa siihen, että NKPsf-lannoitettujen pajujen tuotos jäi pieneksi verrattuna jopa pelkkään NK-lannoitukseen. Kalkitus on saattanut hidastaa apatiitin liukenemistä, sillä happamissa oloissa apatiitin liukoisuus on parempi (Karsisto 1973, 1976b, Salonen 1968). Salosen (1968) ruukkukokeissa kalkitus esti täysin apatiitin vaikutuksen. Karsisto (1976b) on myös todennut apatiitin kasveille käyttökelpoiseen muotoon tuleminen osittain estyneen saraturpeessa. Jos pajun lyhytkiertoviljely suonpohjan turpeessa vaatii kasvualustan pH:n nostamista kalkitsemalla välille 5,0—6,0 (ks. Ericsson ja Lindsjö 1981), on apatiitin käyttökelpoisuus tällöin huono. Kauniston (1982) kolmelta turvetuotantoalueelta keräämässä aineistossa suonpohjan turpeen pH vaihteli välillä 3,6—4,6. Tämä tutkimus ei myöskään puolla raakafosfaatin käyttöä.

Intensiivisessä lyhytkiertoviljelyssä kiertoajat ovat hyvinkin lyhyitä, jopa yksi vuosi (Pohjonen 1980). Tämän vuoksi voimakkaan reaktion saaminen jo heti lannoitusvuonna on tärkeää. Lyhyessä ajassa saatavat reaktiot

vaativat nopeatehoisia lannoitteita (Karsisto 1976b). Maatalouden lannoitustutkimuksissa on todettu, että maksimisatoon pyrittäessä ei hidasliukoisen hienofosfaatin kohdalla ole pystytty määrän nostamisella korvaamaan nopean alkuvaikutuksen puutetta (Karsisto 1973). Tässä tutkimuksessa esitetyt tosin vain yhdeltä turpeennostosta vapautuneelta suonpohjalta olevat tulokset viittaavat nopea-

liukoisten fosforilannoitteiden parempaan soveltuvuuteen lyhytkiertoviljelyssä (ks. myös Kaunisto 1983). Tosin Kihniön Aitonevalla tätä tutkimusta happamammalla kasvualustalla sijaitsevassa kokeessa raakafosfaatin ja superfosfaatin vaikutukset eivät eronneet toisistaan (Kaunisto 1985). Tulokset kaipaavatkin tuekseen vielä lisäselvityksiä erilaisilta kasvualustoilta.

KIRJALLISUUS — REFERENCES

- Alemdag, I. S. 1982. Above-ground dry matter of jack pine, black spruce, white spruce and balsam fir trees at two localities in Ontario. *The Forestry Chronicle* 58(2): 26—30.
- Christersson, L. 1982. Energiskogen och den grymma verkligheten. *Forskning och Framsteg* 7(1982): 7—11.
- , von Fircks, H. R. & Sennerby-Forsse, L. 1982. Frost damage in energy forestry. Analysis of the problem and plan for future work. *Sveriges Lantbruksuniversitet, Projekt energiskogsodling, Teknisk Rapp.* 28: 1—16.
- Björklund, T. & Ferm, A. 1982. Pienikokoisen koivun ja harmaalepän biomassa ja tekniset ominaisuudet. Abstract: Biomass and technical properties of small-sized birch and grey alder. *Folia For.* 500: 1—37.
- Ericsson, T. & Lindsjö, I. 1981. Tillväxtens pH-beroende hos några energiskogsarter. Abstract: The influence of pH on growth and nutrition of some energy forest tree species. *Sveriges Lantbruksuniversitet, Projekt energiskogsodling. Teknisk Rapp.* 11: 1—7.
- Ferm, A. 1985. Jätevedellä kasteltujen lehtipuiden alkukehitys ja biomassatuotos kaatopaikalla. Summary: Early growth and biomass production of some hardwoods grown on sanitary landfill and irrigated with leachate water. *Folia For.* 641: 1—35.
- & Kaunisto, S. 1983. Luontaisesti syntyneiden koivumetsiköiden maanpäällinen lehdetön biomassatuotos entisellä turpeennostoalueella Kihniön Aitonevalla. Summary: Above-ground leafless biomass of naturally generated birch stands in a peat cut-over area at Aitoneva, Kihniö. *Folia For.* 558: 1—32.
- Huikari, O. 1964. Erilaisten fosfori- ja typpilannoitteiden soveltuvuudesta ojitettujen suometsien lannoitukseen. *Leipä Leveämmäksi* 12(1): 13—17.
- Hytönen, J. 1982. Istutustiheyden ja lannoituksen vaikutus vesipajun (*Salix* cv. *aquatica*) kuiva-ainetuotukseen ja kasvuston kehitykseen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 70: 67—77.
- 1984. Energiapajujen lannoituksesta entisillä turvetuotantoalueilla. Summary: The fertilization of energy willow plantations growing on worked-out peat extraction fields. *Suo* 35(4—5): 114—118.
- 1985. Teollisuuslietteellä lannoitetun vesipajun lehdetön maanpäällinen biomassatuotos. Abstract: Leafless above-ground biomass production of *Salix* 'Aquatica' fertilized with industrial sludge. *Folia For.* 614: 1—16.
- Kaakinen, S. 1983. Vesipajun lehtien ravinnepitoisuuden vaihtelusta turpeentuotannosta vapautuneella suolla. Luk-tutkielma. Moniste Oulun Yliopiston kasvitieteen laitoksella. 22 s.
- Karsisto, K. 1968. Eri fosforilannoitelajien soveltuvuus suometsien lannoitukseen. Summary: Using various phosphatic fertilizers in peatland forests. *Suo* 19(6): 104—111.
- 1973. Esitulkoksia suometsien fosforilannoitelajikokeista. *Metsäntutkimuslaitoksen Pyhäkosken tutkimusasetaman tiedonantoja* 4: 1—28.
- 1976a. Puuston elpyneisyyden vaikutus lannoitustulokseen. Pyhäkosken tutkimusasetaman tiedonantoja 15: 29—36.
- 1976b. Fosforilannoitelajit suometsien lannoituksessa. *Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusasetaman tiedonantoja* 6: 1—252.
- Kaunisto, S. 1979. Alustavia tuloksia palaturpeen kuivatuskentän ja suonpohjan metsityksestä. Summary: Preliminary results on afforestation of sod peat drying fields and peat cut-over areas. *Folia For.* 404: 1—14.
- 1982. Afforestation of peat cut-away areas in Finland. *Proc. Int. Symp. IPS Commission IV and II, Minsk 1982.* 144—153.
- 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 differently fertilized peats in greenhouse. *Folia For.* 551: 1—34.
- (toim.) 1985. Metsätyökokeet Kihniön Aitonevalla. Afforestation experiments at Aitoneva, Kihniö. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 177: 1—53.
- Kozak, A. 1970. Methods for ensuring additivity of biomass components by regression analysis. *For. Chron.* 46: 402—404.
- Kurki, M. 1982. Suomen peltojen viljavuudesta III. Viljavuuspalvelu Oy:ssä vuosina 1955—1980 tehtyjen viljavuustutkimusten tuloksia. Summary: On the fertility of Finnish tilled fields in the light of investigations of soil fertility carried out in the years 1955—1980. Helsinki. 181 s.
- Lakanen, E., Sillanpää, M., Kurki, M. & Hyvärinen, S. 1970. Maan viljavuustekijäin keskinäiset vuorosuhteet maalajeittain. Summary: On the interrelations of pH, calcium, potassium and phosphorus in Finnish soil tests. *J.Sci. Agric.Soc.Finl.* 42(1): 59—67.

- Lumme, I., Tikkanen, E., Huusko, A. & Kiukaanniemi, E. 1984. Pajun lyhytkiertoviljelyn biologiasta ja viljelyn kannattavuudesta turpeennostosta poistuneella suolla Limingan Hirvinevalla. Summary: On the biology and economical profitability of willow biomass production on an abandoned peat production area. Oulun Yliopisto C 54: 1—79.
- Meyer, H. A. 1941. A correction for a systematic error occurring in the application of the logarithmic volume equation. Res. Pap. Pennsylvania State For. School 7: 1—3.
- Mälkönen, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. Seloste: Vuotuinen primäärituotos ja ravinteisuuden 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.
- Nilsson, L.-O. 1982. Determination of current energy forest growth and biomass production. Sveriges Lantbruksuniversitet, Projekt energiskogsodling, Teknisk Rapport 27: 1—36.
- Näsi, M. & Pohjonen, V. 1981. Green fodder from energy forest farming. Maataloustiet. aikauskirja 53: 161—167.
- Paarlahti, K. & Karsisto, K. 1968. Koetuloksia kaliummetafosfaatin, raakafosfaatin ja superfosfaatin käyttökelpoisuudesta suometsien lannoituksessa. Summary: On the usability of potassium metaphosphate, raw phosphate, rock phosphate and superphosphate in fertilizing peatland forests. Folia For. 55: 1—17.
- Paavilainen, E. 1979. Turvemaiden metsänlannoitus-tutkimuksista. Summary: Research on fertilization of forested peatlands. Folia For. 400: 29—42.
- 1980. Effect of fertilization on plant biomass and nutrient cycle on a drained dwarf shrub pine swamp. Seloste: Lannoituksen vaikutus kasvibiomassaan ja ravinteiden kiertoon ojitetulla isovarpuisella rämeellä. Commun. Inst. For. Fenn. 98(5): 1—71.
- Pohjonen, V. 1980. Energiapajun viljelystä vanhoilla turvetuotantoalueilla. Summary: On the energy willow farming on the old peat industry areas. Suo 31(1): 7—9.
- Rossi, P. 1977. Kesällä 1976 juurrutettujen paju- ja poppelikloonien vauriot talven 1976—77 jälkeen Suomenjoen taimitarhalla. Moniste Metsäntutkimuslaitoksen Suomenjoen tutkimusasemalla. 3 s.
- Rossi, P. 1982. Hirvien aiheuttamat satomenetykset pajuvielmällä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 76: 1—12.
- 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.
- Salonen, M. 1968. Apatite as a phosphorus fertilizer. Maatal. tiet. aikakirja 40(4): 209—218.
- Satoo, T. & Madgwick, H.A.I. 1982. Forest biomass. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. 152 s.
- Schlaegel, B. E. 1982. Boxelder (*Acer negundo* L.) biomass component regression analysis for the Mississippi delta. Forest Sci. 28(2): 355—358.
- Stott, K. G., Parfitt, R. I., McElroy, G. & Abernathy, W. 1983. Productivity of coppice willow in biomass trials in the U.K. In: Strub, A., Chartier, P. & Schleser, G. (ed.) Energy from Biomass, 2nd E. C. Conference. Applied Science Publishers. s. 230—235.
- Takala, M. 1958. Suoviljelysten fosfaatilannoituksesta. Summary: On phosphate fertilization peat soil. Suoviljely-yhdistyksen vuosikirja 63: 30—38.
- 1961. Super-, thomas- ja hienofosfaatin vaikutuksesta mutasuolla. Summary: On the effects of superphosphate, basic slag and hyperphosphate on fen soil. Maat. tiet. aikak. 33: 57—64.

Total of 43 references

SUMMARY

Effect of some phosphorus fertilizers on the biomass production and nutrient uptake of *Salix 'Aquatica'* in a peat cut-away area

Material

The effect of three phosphorus fertilizers (superphosphate, rock phosphate, apatite) on the biomass production, mineral contents of leaves, bark and wood and on the amount of nutrients bound in stands of *Salix 'Aquatica'* grown in a peat cut-away area of Paloneva (64°27'N, 25°26'E) was studied.

The average depth of the peat was 100 cm, and the area was drained using 45 m drain spacing. At the beginning of June 1981 peat was limed with 6 000 kg/ha

dolomite. Twenty centimetre-long cuttings of *Salix 'Aquatica'* (clone V769 originating from Lieto) were planted in density of 4.1 cuttings per square metre (distance between rows 70 cm and distance between cuttings in the rows 35 cm). Besides phosphorus, willow was fertilized with nitrogen and potassium. Fertilizer treatments presented in Table 1 were replicated four times (plot size 15 m × 15 m). The experiment was fertilized in June 1981 and the fertilization was repeated with the same fertilizers and amounts in spring 1983. After the first growing season in October 1982 the

sprouts were cut and the new coppice was grown for two growing seasons.

The diameter and height of willow were determined in autumn 1982 and 1983 by measuring 200–270 sprouts on every plot using systematic sampling. Willow was also measured in spring 1983 after detecting frost-damaged shoot tops. Height was measured from ground level to shoot top and diameter at height of 10 cm above ground. Sample sprouts were taken (120 in 1982, 51 in 1983). Their diameter at stump level and total length were measured. Leaves, and in 1983 also bark, were separated from wood (App. 1). Leaves were then oven dried at 80 °C for 24 hours and stems and bark at 105 °C for 24–48 hours and dry mass was measured with 0.1 g accuracy.

Allometric biomass equations ($Y = ax^{be}$) were developed for the dry mass of leaves, bark and wood using logarithmic linear transformation. The small underestimate caused by logarithmic transformation was corrected by adding a correction term $s_e^2/2$ to constant. Height, diameter and their combinations were studied as independent variables. Diameter alone gave better fit than height, addition of height as the second variable improved fit only slightly. The dependence of the leafless above-ground mass and bark on diameter is presented in Fig. 1. The dry mass of leaves, bark and wood on the plots was determined using summation technique and equations presented in Table 2.

At the end of August 1983 leaf samples and in September bark and wood samples were collected and analyzed for their nitrogen, phosphorus and potassium content. Soil samples were taken in autumn 1983 and analyzed for total, ammonium and nitrate nitrogen, exchangeable potassium, calcium and magnesium, ammonium-acetate, soluble phosphorus, electrical conductivity and pH.

Results

After liming peat pH varied between 5.4 and 6.4 (Table 3). Superphosphate increased the amount of easily soluble phosphorus in soil; with rock phosphate and apatite the increase was only slight. Fertilization

with potassium salt increased the amount of exchangeable potassium tenfold in peat. The total nitrogen content of peat was considerably high, the mean being 2.6 %.

Without fertilization 95.5 % of the willows had died, but in fertilized plots mortality was only 1.2 % to 4.4 %. Only fertilization with NKPsf increased the height and diameter growth of willow (Table 4). One-year-old willow shoots were damaged by the frost during autumn or winter an average 26 cm down from the tops. The mass of an average frost damaged shoot top was highest when willow was fertilized with superphosphate (Table 5). The amount of mass damaged by the frost was 0.2–0.4 t/ha and its share of the leafless above-ground mass was 23–45 %.

Without fertilization willow did not grow even on limed peat (Figs. 2 and 3). Superphosphate was the only phosphorus fertilizer that increased the biomass of willow compared with basic NK fertilization (Table 6, Figs. 2 and 4). The above-ground dry mass of willow was 2.9 t/ha after the first and 13.1 t/ha after the second growing season when fertilized with NKPsf. The leaf, bark and wood masses of two-year-old willow were 3, 4 and 5 times higher when fertilized with superphosphate than with other fertilizers.

Only superphosphate increased the phosphorus content of leaves, bark and wood, decreasing simultaneously their potassium content slightly (Fig. 5). The mineral content of wood was lower than that of bark. Out of the measured soil properties the amount of soluble phosphorus correlated best with some mass and tree characteristics (App. 2). In regression analysis the biomass production of willow was best explained with the amount of easily soluble phosphorus and exchangeable potassium in peat.

Willow fertilized with NKPsf contained more mineral nutrients than differently fertilized willow (Fig. 6). The share of leaves in the total above-ground biomass production of two-year-old willow (13.1 t/ha) was 23 %, although containing over half of the nitrogen and potassium and 40 % of the phosphorus bound in the willow. The share of bark in the mass was 23 %, containing 29 %, 30 % and 26 % of the N, P and K bound in the willow. Wood (54 % of total biomass) contained 19 %, 30 % and 22 % out of the total N, P and K, respectively.

Liite 1. Koesojen tunnuksia.
Appendix 1. Characteristics of sample sprouts.

Puutunnus Characteristic	1982			1983		
	\bar{x}	s	Vaihteluväli Range	\bar{x}	s	Vaihteluväli Range
Pituus, cm Height, cm	80,8	26,9	28—150	111,2	62,5	28—228
Tyviläpimitta, mm Base diameter, mm	7,4	1,4	3—12	9,8	5,4	3—20
Runkomassa, g ¹⁾ Stem mass, g ¹⁾	7,5	4,9	1—27	39,1	47,4	1—164
Lehtimassa, g Leaf mass, g	4,7	2,5	1—12	11,1	14,7	1—47
Kuorimassa, g Bark mass, g				11,6	12,9	1—42
Puuaineen massa, g Wood mass, g				27,5	34,8	1—123

1) Maanpäällinen lehdetön massa (puuaine ja kuori) — Above-ground leafless mass (wood and bark)

Liite 2. Eräiden massa- ja puustotunnusten ja maan ominaisuuksien väliset korrelaatiokertoimet. Mukana vain lannoitetut koealat.
Appendix 2. Correlation coefficients between some mass and tree characteristics and soil properties. Only fertilized plots included.

Tunnus Characteristic	Tot. N	NH ₄	NO ₃	Maan ominaisuus — Soil characteristic			Vaihtuva Mg Exchange- able Mg	pH	Johtoluku Conduc- tivity
				Liuk. P Soluble P	Vaihtuva K Exchange- able K	Vaihtuva Ca Exchange- able Ca			
Kokonaismassa — Total mass	-0,277	0,141	-0,024	0,751***	-0,260	0,589*	0,217	0,010	0,408
Lehtimassa — Leave mass	-0,269	0,127	-0,035	0,733***	-0,267	0,585*	0,205	0,012	0,396
Kuorimassa — Bark mass	-0,284	0,115	-0,027	0,749***	-0,269	0,601*	0,225	0,024	0,413
Puuaineen massa — Wood mass	-0,290	0,108	-0,021	0,760***	-0,269	0,610*	0,235	0,030	0,425
Keskipituus — Mean height	-0,189	0,060	-0,027	0,717**	-0,189	0,613*	0,333	0,127	0,379
Keskiläpimitta — Mean diameter	-0,314	0,070	-0,028	0,723**	-0,185	0,643*	0,373	0,156	0,839
Paletuneen vesan massa — Mass of frost damaged sprout top	0,136	-0,175	-0,354	0,606*	-0,002	0,324	0,054	0,051	0,139

Liite 3. Eräiden massa- ja puustotunnusten sekä lehtien, kuoren ja puuaineen ravinnepitoisuuksien tai ravinnesuhhteiden väliset korrelaatiokertoimet. Mukana vain lammoitetut koealat.
Appendix 3. Correlation coefficients between some mass and tree characteristics and nutrient contents and nutrient ratios of leaves, bark and wood. Only fertilized plots included.

Tunnus Characteristic	Lehtien ravinnepitoisuus tai ravinnesuhde Foliar nutrient content or nutrient ratio			Kuoren ravinnepitoisuus tai ravinnesuhde Bark nutrient content or nutrient ratio			Puuaineen ravinnepitoisuus tai ravinnesuhde Wood nutrient content or nutrient ratio											
	N	P	N/P	N	P	N/P	N	P	N/P	N/K	K/P	N/K	K/P					
Kokonaismassa Total mass	0,181	0,891***	-0,582*	-0,819***	0,627**	-0,808***	0,377	0,574	-0,301	-0,540	0,437	-0,573	-0,073	0,903***	-0,305	-0,704*	0,225	-0,629*
Lehtimassa Leaf mass	0,187	0,878***	-0,598*	-0,803***	0,634**	-0,809***	0,382	0,579*	-0,282	-0,547	0,425	-0,566	-0,067	0,878***	-0,308	-0,672*	0,247	-0,610*
Kuorimassa Bark mass	0,202	0,891***	-0,604*	-0,815***	0,644**	-0,820***	0,384	0,587*	-0,294	-0,551	0,436	-0,579*	-0,056	0,892***	-0,302	-0,680*	0,241	-0,614*
Puuaineen massa Wood mass	0,218	0,898***	-0,613*	-0,819***	0,655**	-0,827***	0,384	0,594*	-0,301	-0,555	0,443	-0,587*	-0,050	0,901***	-0,295	-0,686*	0,232	-0,616*
Keskipituus Mean height	0,009	0,901***	-0,502*	-0,880***	0,552*	-0,788***	0,209	0,472	-0,252	-0,531	0,302	-0,510	-0,194	0,848***	-0,399	-0,667*	0,310	-0,642*
Keskiläpimitta Mean diameter	0,033	0,891***	-0,485	-0,869***	0,540*	-0,773***	0,254	0,479	-0,292	-0,515	0,367	-0,535	-0,150	0,835***	-0,405	-0,621*	0,358	-0,633*
Paleltuneen vesan massa — Mass of frost damaged sprout top	-0,035	0,613*	-0,572*	-0,607*	0,581*	-0,679**	0,090	0,335	-0,136	-0,445	0,113	-0,351	-0,309	0,701*	-0,415	-0,676*	0,230	-0,619*

Liite 4. Eräiden maan ominaisuuksien ja lehtien, kuoren ja puuaineen ravinnepitoisuuksien väliset korrelaatiokertoimet.
 Appendix 4. Correlation coefficients between some soil properties and nutrient contents of leaves, bark and wood.

Maan ominaisuus Soil characteristic	Lehtien ravinnepitoisuus Foliar nutrient content			Kuoren ravinnepitoisuus Bark nutrient content			Puuaineen ravinnepitoisuus Wood nutrient content		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
pH	0,230	0,131	-0,058	0,041	0,272	-0,570*	0,335	-0,055	-0,384
Johdoluuku — Conductivity	0,837***	0,553*	0,332	0,372	0,451	-0,241	0,204	0,513	0,068
Tot. N	-0,464*	-0,282	-0,247	-0,369	-0,177	0,141	-0,394	0,041	-0,113
NH ₄	0,196	0,049	0,369	-0,021	0,175	0,072	0,115	0,115	0,084
NO ₃	0,651**	0,318	0,469*	0,133	0,072	-0,128	0,081	0,170	0,077
Liuk. P. — Soluble P	0,396	0,666**	-0,211	0,189	0,590*	-0,279	-0,045	0,783***	-0,227
Vaihtuva K — Exchangeable K	0,693***	0,203	0,735***	-0,127	0,180	0,095	-0,318	0,051	-0,086
Vaihtuva Ca — Exchangeable Ca	0,647**	0,638**	0,026	0,295	0,568*	-0,447	0,188	0,555*	-0,224
Vaihtuva Mg — Exchangeable Mg	0,366	0,351	-0,05	0,234	0,261	-0,491	0,367	0,102	-0,149

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:* Kirkkosaarentie, 91500 Muhos, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

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

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

Ojajoen koasema
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, Finland
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

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

Kannuksen tutkimusasema
Kannus Research Station
Os. — *Address:* PL 44
69101 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

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

- No 632 Norokorpi, Yrjö & Kärkkäinen, Sirpa: Maaston korkeuden vaikutus puusto- ja kasvupaikkatunnuksiin sekä tykkytuhoihin Kuusamossa.
The effect of altitude on stand and site characteristics and crown snow-load damages in Kuusamo in northern Finland.
- No 633 Silfverberg, Klaus & Huikari, Olavi: Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemailla.
Wood-ash fertilization on drained peatlands.
- No 634 Yli-Kojola, Hannu: Metsän ikärakenteen kehitys.
The development of age-class composition.
- No 635 Metsäntutkimuslaitoksen julkaisut 1984.
Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1984.
- No 636 Vuokila, Yrjö: Puuston määrän vaikutus istutuskuusikon kehitykseen, kasvuun ja tuotokseen.
The effect of growing stock level on the development, growth and yield of spruce plantations in Finland.
- No 637 Räsänen, Pentti K., Pohtila, Eljas, Laitinen, Esko, Peltonen, Antti & Rautiainen, Olavi: Metsien uudistaminen kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978—1979 inventointitulokset.
Forest regeneration in the six southernmost forestry board districts of Finland. Results from the inventories in 1978—1979.
- No 638 Ihalainen, Ritva: Opintojen keskeyttäminen metsäalan ammatillisessa koulutuksessa.
The abandonment of studies in vocational training in forestry.
- No 639 Uotila, Antti: Siemenen siirron vaikutuksesta männyn versosyöpäalittiuteen Etelä- ja Keski-Suomessa.
On the effect of seed transfer on the susceptibility of Scots pine to *Ascochyta abietina* in southern and central Finland.
- No 640 Repo, Seppo: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1983—1985.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1983—1985.
- No 641 Ferm, Ari: Jätevedellä kasteltujen lehtipuiden alkukehitys ja biomassatuotos kaatopaikalla.
Early growth and biomass production of some hardwoods grown on sanitary landfill and irrigated with leachate waste-water.
- 1986
- No 642 Rikala, Risto & Petäistö, Raija-Liisa: Lannoituksen vaikutus kouluttujen rauduskoivun taimien ravinnepitoisuuteen, kasvuun ja versolaikkaisuuteen.
Effect of fertilization on the nutrient concentration, growth and incidence of stem spotting in bare-rooted birch transplants.
- No 643 Juntunen, Marja-Liisa: Metsäalan toimihenkilöiden ajankäyttö ja työtehtävät. NSR:n yhteispohjoismaisen projektin "Metsätalouden työorganisaatio" osatutkimus.
The time expenditure and work tasks of forest functionaries. A part study of joint Nordic NSR project "The organization of work in forestry".
- No 644 Saksa, Timo: Männyn taimikoiden kehitys muokatuilla viljelyaloilla Lieksan ja Rautavaaran hoitoalueissa.
The development of Scots pine plantations on prepared reforestation areas in northern Karelia in Finland.
- No 645 Sirén, Matti: Puuston vaurioituminen karsimattomien puiden ja puunosien korjuussa.
Stand damage in logging of undelimited trees and tree parts.
- No 646 Kaunisto, Seppo & Tukeva, Jorma: Kasvatustihedden vaikutus männyn istutustaimikoiden kehitykseen turvemailla.
Effect of tree spacing on the development of pine plantations on peat.
- No 647 Ikäheimo, Erkki & Norokorpi, Yrjö: Perkauksen vaikutus männyn istutustaimikoiden kehitykseen, laatuun ja tuhoihin Pohjois-Suomessa.
The effect of cleaning on the incidence of damage and the development and quality of Scots pine plantations in northern Finland.
- No 648 Kortesharju, Jouko: Hillan sato ja kukinta lannoitus- ja olkikatekokeissa Rovaniemen maalaiskunnassa.
The yield and flowering of the cloudberry (*Rubus chamaemorus*) in fertilizer and straw mulch experiments at Rovaniemi, northern Finland.
- No 649 Valtanen, Jukka, Kuusela, Juha, Marjakangas, Arto & Huurinainen, Seppo: Eri ajankohtina istutettujen männyn ja lehtikuusen kennotaimien alkukehitys.
Initial development of Scots pine and Siberian larch paperpot seedlings planted at various times.
- No 650 Ovaskainen, Ville: Funktionaalinen tulonjako metsäteollisuudessa 1955—1983.
Factor shares in the Finnish forest industries, 1955—1983.
- No 651 Teivainen, Terttu, Jukola-Sulonen, Eeva-Liisa & Mäenpää, Elina: Pintakasvillisuuden kemiallisen torjunnan vaikutus peltomyyräpopulaation kehitykseen.
The effect of ground-vegetation suppression using herbicide on the field vole, *Microtus agrestis* (L.), population.
- No 652 Varmola, Martti & Vuokila, Erkki: Pienten mäntyjen tilavuusyhtälöt ja -taulukot.
Tree volume functions and tables for small-sized pines.
- No 653 Hytönen, Jyrki: Fosforilannoitelajin vaikutus vesipajun biomassatuotokseen ja ravinteiden käyttöön turpeenostosta vapautuneella suolla.
Effect of some phosphorus fertilizers on the biomass production and nutrient uptake of *Salix 'Aquatica'* in a peat cut-away area.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomonisteita koskevat pyynnöt 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.