

# FOLIA FORESTALIA 585

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1984

---

---

SEPPÖ KAUNISTO JA JORMA TUKEVA

---

KALILANNOITUKSEN TARVE  
AVOSOILLE PERUSTETUISSA  
RIUKUASTEEN MÄNNIKÖISSÄ

---

NEED FOR POTASSIUM  
FERTILIZATION IN POLE  
STAGE PINE STANDS  
ESTABLISHED ON BOGS

---



METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
*THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*

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

Puhelin: (90) 661 401  
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Olavi Huikari
Yleisinformatio: <i>General information:</i>	Tiedotuspäällikkö <i>Information Chief</i>	Olli Kiiskinen
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: <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 585

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1984

Seppo Kaunisto ja Jorma Tuveva

## KALILANNOITUKSEN TARVE AVOSOILLE PERUSTETUISSA RIUKUASTEEN MÄNNIKÖISSÄ

Need for potassium fertilization in pole stage  
pine stands established on bogs

*Approved on 30.12.1983*

### SISÄLLYS

1. JOHDANTO .....	3
2. AINEISTO .....	3
21. Tutkimusalueet ja lannoituskäsittelyt .....	3
22. Mittaukset ja laskenta .....	5
3. TULOKSET .....	6
31. Turpeen vaihtuva kalium .....	6
32. Neulasten ravinteet .....	7
321. Lannoituksen vaikutus neulasten ravinnepitoisuuksiin .....	7
322. Turpeen ominaisuuksien vaikutus neulasten ravinnepitoisuuksiin .....	8
33. Puuston sädekasvu .....	11
331. Peruslannoituksen vaikutus sädekasvuun .....	11
332. Jatkolannoituksen vaikutus sädekasvuun .....	13
333. Neulasten ravinnepitoisuudet sädekasvun selittäjinä .....	14
334. Turpeen ominaisuudet sädekasvun selittäjinä .....	17
34. Puuston vauriot .....	22
4. TARKASTELU .....	24
5. PÄÄTELMÄT .....	26
6. TIIVISTELMÄT .....	27
KIRJALLISUUTTA .....	29
SUMMARY .....	30
LIITETAULUKOT .....	34

KAUNISTO, S. & TUKEVA, J. 1984. Kalilannoituksen tarve avosoille perustetuissa riukuasteen männiköissä. Summary: Need for potassium fertilization in pole stage pine stands established on bogs. *Folia For.* 585:1—40.

Tutkimuksessa tarkastellaan puuston kalilannoituksen tarvetta neljällä 1930-luvulla ojitetulla ja metsitetyllä ja 1950–60-luvuilla lannoitetuilla ravinnepitoisuudeltaan karuhkoilla tai keskinkertaisilla avosoilla (TN-SSN). Koealoja on yhteensä 72 ja mitattuja puita 1356. Koealueet oli lannoitettu fosforilla tai fosforilla ja kaliumilla. Jatkolannoituksessa (1978–1980) olivat seuraavat käsittelyt: lannoittamaton vertailu, kalium (85 kg/ha), fosfori + kalium (45 P + 85 kg/ha), fosfori + kaksinkertainen kaliumannos edelliseen verrattuna. Puusta määritettiin neulasten N-, P-, K- ja B-pitoisuudet ja mitattiin sädekasvu. Turpeesta määritettiin 0–25 cm:n kerroksessa 5 cm:n osanäytteistä kokonaistyyppi, ammoniumtyppi, pH sekä vaihtuva kalium.

Neulasten tyyppipitoisuus oli yleensä verrattain korkea (84 %:ssa tapauksista neulasten N > 1,5 %). Turpeen ominaisuuksista kokonaistyyppipitoisuus 0–15, 5–10, 5–15 ja 10–15 cm:n kerroksessa selittivät parhaiten neulasten tyyppipitoisuutta ja puiden sädekasvu. Puuston sädekasvu palautui PK-peruslannoitusta edeltäneelle tasolle 11–17 vuotta peruslannoituksen jälkeen. Jatkolannoitus kaliumilla kohotti neulasten kaliumpitoisuuksia ja lannoitus fosforilla ja kaliumilla neulasten fosfori- ja kaliumpitoisuuksia. Kaikki lannoituskäsittelyt lisäsivät puiden sädekasvu, mutta vasta 3–4 vuoden kuluttua tilastollisesti merkittävästi. Syynä hitaaseen reaktioon oli kaliumin puutoksen aiheuttama puiden huono kunto. 3–5 vuoden kuluessa jatkolannoituksesta lannoitekaliumia oli huuhtoutunut ainakin 20–25 cm:n syvyyteen saakka.

The need for potassium fertilization was investigated in pine stands on nutritionally poor or moderate bogs (Cotton grass bogs — tall-sedge bogs) that had been drained and afforested in the 1930s and fertilized in the 1950s — 60s. The total number of sample plots was 72 and that of measured trees 1356. The experimental areas had been fertilized with phosphorus or phosphorus and potassium in the 1950s — 60s. Refertilization (1978–80) included the following treatments control, potassium (85 kg/ha), phosphorus + potassium (45 P + 85 kg/ha), phosphorus as before + a double dose of potassium. The foliar N, P, K and B levels were determined and radial growth measured. Samples of 5 cm from the 0–25 cm peat layer were analyzed for total nitrogen, ammonium nitrogen, pH and exchangeable potassium.

The foliar nitrogen levels were usually fairly high (> 1.5 % in 84 % of the cases). The total nitrogen content in the 0–15, 5–10, 5–15 and 10–15 cm layer explained best the foliar nitrogen level and the radial growth of trees. The radial growth of stands reverted in 11–17 years to the stage before primary fertilization with PK. Refertilization with potassium increased the foliar potassium levels and fertilization with phosphorus and potassium the foliar phosphorus and potassium levels. All the fertilizations increased the radial growth of trees, but statistically significantly only after 3–4 years. The reason for such a slow response was the poor condition of trees caused by potassium shortage. Fertilizer potassium had leached at least down to the depth of 20–25 cm 3–5 years after refertilization.

ODC 237.4+2--114.444+114.54

ISBN 951-40-0655-0

ISSN 0015-5543

Helsinki 1984. Valtion painatuskeskus

# 1. JOHDANTO

Metsähallituksen Parkanon hoitoalueessa ojitettiin ja metsitettiin joko kylväen tai reunametsän siemennystä käyttäen jonkin verran avosoita jo 1930-luvulla. Puuston hidasta alkukehitystä alettiin kaupallisten lannoitteiden yleistyessä vauhdittaa 1950-luvulla fosforilannoituksin ja myöhemmin vielä fosforikalilannoituksin.

Kun peruslannoituksesta oli kulunut 10–20 vuotta alkoi useilla avosuometsityksillä ilmetä neulasten kärkien kellastumista sekä myöhemmässä vaiheessa puiden varsin äkillistä kuolemista. Oireiden ja neulasanalyysien perusteella oletettiin syyksi kaliumin puutos.

Koska kalium on turpeessa pääsiallisesti vaihtuvassa muodossa (Kaila & Kivekäs 1956, Westman 1981) ja koska sen sitoutuminen kationivaihtokompleksiin on verrattain heikko (Kaila & Kivekäs 1956), on se altis huuhtoutumiselle (Kivinen 1948, Paarlahti 1976, Ahti 1983, Malcolm & Cuttle 1983). Voidaankin olettaa, että erityisesti luonnon-tilassa märillä avosoilla kaliumvarat ovat vähäiset. Kaliumin vesiliukoisuudesta johtuu myös, että kasvit voivat käyttää kaliumia varsin tarkoin hyväksi (esim. Kivinen 1948, Holmen 1964). Tällöin kaliumin puutos saataakin ilmetä hyvin äkillisenä (Tamm 1956).

Käytännön lannoitustoiminnan alkuvaiheessa lannoituksia toteutettiin verrattain karuillakin soilla. Metsähallinnon lannoitusohje

kuitenkin tiukkeni 1970-luvun puolivälissä. Tällöin suometsien jatkolannoitukset rajoitettiin koskemaan vain saraisia tai sitä parempia suotyyppisiä ja valtapituudeltaan vähintään viisimetrisiä puustoja. Tällöin esim. Parkanon hoitoalueessa vanhat avosuoviljelyt jäivät kokonaan jatkolannoituksen ulkopuolelle, koska ne suotyyppiltään olivat yleensä saraista huonompia. Kun puusto kuitenkin kärsi selvästi kaliumin puutoksesta ja oli jo verrattain varttunutta, selvästi riukuasteen ohittanutta, päätettiin selvittää, missä määrin tällaisilla alkuperäiseltä suotyyppiltään karuhkoilla tai keskinkertaisilla avosoilla voitaisiin puuston kasvatusta jatkaa pelkästään kalitai fosforikalilannoituksella.

Tutkimus on tehty Metsäntutkimuslaitoksen ja Metsähallituksen yhteistyösopimuksen puitteissa Parkanon hoitoalueen mailla. Kokeet on suunnitellut maat- ja metsät. tri Seppo Kaunisto ja maastossa toteuttaneet erikoisteknikko Kalle Nevanranta ja tutkimusmestari Tauno Suomilampi. Aineiston on kerännyt myö Jorma Tuveva ja laatinut siitä käsikirjoituksen suomensäätieteen pro-gradu -tutkielmaa varten Seppo Kauniston ohjaamana, joka on laatinut lopullisen käsikirjoituksen. Aineiston laskennan on suorittanut vanhempi ATK-suunnittelija Veli Haapanen Seppo Kauniston opastuksella. Käsikirjoitustyön eri vaiheissaan ovat tehneet merkonomit Paula Häkli ja Pirkko Marjamäki. Käännöksen englannin kielelle fil.maist. Leena Kaunisto. Käsikirjoituksen ovat lukeneet professorit Eino Mälkönen ja Eero Paaivilainen sekä Luk. Heikki Veijalainen. Kaikille tutkimuksen toteuttamisessa avustaneille esitämme parhaat kiitokset.

# 2. AINEISTO

## 2.1. Tutkimusalueet ja lannoituskäsittelyt

Tutkimusalueita on neljä, ja ne sijaitsevat kaikki Metsähallinnon Parkanon hoitoalueen mailla. Niistä Vahojärven Latoneva sijaitsee Ikaalisissa. Pirttinevan ja Pöykännevan koekentät sijaitsevat Kurussa 3 km:n etäisyydellä toisistaan ja n. 25 km:n etäisyydellä ensin mainitusta koealueesta. Neljäs alue sijaitsee n. 70 km muita alueita pohjoisempaan Rustarissa, Jalasjärvellä.

Kaikki tutkimusalueet ovat vanhoja ojitusalueita, jotka ovat jo suurimmaksi osaksi kehittyneet turvekan-kaiksi. Luontaisesti karuimmilla soilla kehitys on ollut

hitainta ja osa alueista on vielä muuttuma-asteella (taulukko 1). Myös vajaatehoinen ojitus eräissä tapauksissa on saattanut hidastaa kehitystä. Valtaosa on alkuaan ollut karuhkoja tai keskinkertaisia avosoita. Pirttinevalla pieni osa, lähinnä suon reuna-alue, on ollut karua rämettä. Alueella on esiintynyt myös vähän suursaranevaa. Pöykänneva ja Latoneva ovat olleet ojitettaessa tupasvil-lanevaa. Rustarin koealue on ollut avosuota, mutta alkuperäinen suotyyppi ei ole tiedossa. Pirttineva ja Rustari on viljelty kylväen männylle. Toiset kaksi koealuetta ovat metsittyneet luontaisesti tai metsitetty kylväen.

Turpeen maatuneisuus lisääntyi tasaisesti pinnasta sy-

Taulukko 1. Eräitä perustietoja koealueista.  
Table 1. Some basic information on the experimental areas.

Koe Experiment	Suotyypit <sup>1</sup> Peatland site type before ditching		Nykyinen <sup>2</sup> suotyypit Present site type	Ojitus- vuosi Year of ditching	Täydennys- ojitus- tai perkausvuosi Supplementary ditching in year	Sarka- leveys Drain spacing m	Pinta-ala Area ha	Koordinaatit Coordinates	
	N	E							
Latoneva	TN	Vatkg	1930–31	1966	40–45	3,3	61°55'	23°15'	
Pirttineva	TR, TN, SSN	Vatkg- Ptkg	1934–35	1948	40	5,3	61°57'	23°25'	
Pöykänneva	TN	TNm- Vatkg	1930–31	1979	40–45	1,1	61°59'	23°25'	
Rustari	Ei tiedossa Not known	Ptkg	1930–31	1960–1.	50	3,3	62°25'	22°40'	

- 1) TN = Tupasvillaneva — *Ombrotrophic low-sedge bog*  
 TR = Tupasvillaräme — *Low-sedge pine swamp*  
 SSN = Suursaraneva — *Tall-sedge bog*  
 2) Vatkg = Varputurvekangas — *Ledum-Empetrum type transformed peatland*  
 Ptkg = Puolukkaturvekangas — *Vaccinium vitis-idaea type transformed peatland*  
 TNmu = Tupasvillanevamuuttuma — *Transforming cotton grass pine swamp*

Taulukko 2. Koealueiden peruslannoitukset ja ensimmäiset jatkolannoitukset.  
Table 2. Primary fertilization and the first refertilizations of the experimental areas.

Koe Experiment	Lannoitusvuosi Year of fertilization	Lannoite Fertilizer	Ravinnepitoisuus Nutrient concentration	
			kg/ha	kg/ha
Latoneva	1967	Suometsien PK-lannos PK-fertilizer for peatland forests	10,5 % P 12,5 % K	500
Pirttineva	1954, 1956	Hienofosfaattia Finely ground rock phosphate	13 % P	1500
	1961, 1962	Kalisuolaa Muriate of potash	42 % K	200, 400
Pöykänneva	1962	Hienofosfaatti Finely ground rock phosphate	13 % P	500
		Kalisuolaa Muriate of potash	42 % K	150
Rustari	1953, 1955	Hienofosfaattia Finely ground rock phosphate	14 % P 14 % P	1500, 2500 500
		Kalisuolaa Muriate of potash	40 % K	167

vemmälle siirryttäessä. Turvekankailla oli toisinaan turpeen päällä ohut kangashumuksen F-osaa muistuttava raakahumuskerros. Turpeen kokonaistyyppipitoisuudet olivat niukat tai keskinkertaiset, joskin jokaisella koealueella oli joitakin verrattain runsastyyppisiäkin koealoja (liite 1). Keskimäärin vähiten tyyppiä oli Latonevalla ja Pöykännevilla, joiden alkuperäinen suotyypikin oli karuin. Tyyppipitoisuus kasvoi syvemmälle siirryttäessä lähes säännöllisesti. Turpeen ammoniumtyyppipitoisuudet Rustarin koealuetta lukuunottamatta olivat verrattain alhaisia (liite 1). Kaikilla koealueilla turve oli erittäin hapanta.

Koealueiden peruslannoitukset suoritettiin 1950–1960-luvuilla fosforilla tai fosforilla ja kaliumilla (taulukko 2). Jatkolannoitusta varten tutkimusalueet jaettiin 14–15 aarin koealoihin. Lannoitus suoritettiin Pirttinevalla kesällä 1978, Pöykännevilla syksyllä ja keväällä 1979–80 ja kahdella muulla alueella keväällä 1980.

Jatkolannoituskäsitellyt eri koealueilla on esitetty seuraavassa jaotelmassa

Paikka	Ravinneyhdistelmä		
Latoneva	0 K	PK	PK+K
Pirttineva	0 K	PK	
Pöykänneva	0 K	PK	PK+K
Rustari	0 K	PK	PK+K

jossa K = 167 kg/ha kalisuolaa (83,5 kg/ha K), PK = 500 kg/ha Suo-PK-lannosta (45 kg/ha P, 85 kg/ha K ja 1 kg/ha B) sekä PK+K = 500 kg/ha Suo-PK-lannosta + 167 kg/ha kalisuolaa.

Pirttinevalla jatkolannoituskäsitellyjä oli kolme: lannoittamaton vertailu, kalilannoitus sekä fosfori-kalilannoitus. Koska kalilannoituksen vaikutus näyttää päättyvän fosforilannoituksen vaikutusta aikaisemmin (esim. Paavilainen 1979b) lisättiin muilla koealueilla vielä neljäs lannoitekäsittely jossa kaliumia annettiin kaksinkertainen määrä normaaliin PK-lannoitukseen verrattuna. Koealojen ja toistojen lukumäärä näkyy seuraavassa jaotelmassa:

Koe	Koaloja, kpl	Toistoja, kpl
Latoneva	20	5
Pirttineva	18	6
Pöykänneva	12	3
Rustari	22	3-8
Yht.	72	

Koska kaliumin puutosalueilla on ollut havaittavissa eräissä tapauksissa kasvun elpymistä voimakkaan harvennuksen jälkeen, on Rustarin kokeeseen liitetty puuston käsittely siten, että osa koaloista on harvennettu ja osa jätetty koskemattomaksi.

## 22. Mittaukset ja laskenta

Jokaiselta koelalta otettiin neulasnäytteet kevättävällä 1982 haulikolla ampumalla koelalan keskeltä 5 puun toiseksi ylimmästä oksakiehkurasta ja yhdistettiin yhdeksi näytteeksi. Kaikista neulasnäytteistä määritettiin Viljavuuspalvelu Oy:ssä typpi, fosfori, kalium ja boori.

Muut mittaukset tehtiin elo-syyskuussa 1982. Koelalan keskelle perustetulta relaskooppikoelalta otettiin 15-20 koepuuta. Riittävän koepuumäärän saamiseksi piti joillakin harvapuustoisilla koaloilla ottaa osa koepuista relaskooppi-alan ulkopuolelta. Lannoituskoealan rajalle jätettiin kuitenkin 3-4 m:n vaippa, jolta puita ei otettu.

Koepuista mitattiin pituus ja  $d_{1,3}$ . Kustakin koepuusta otettiin rinnankorkeudelta kairanlastu, josta mitattiin 10 viimeisen vuoden sädekasvut. Jokaiselta koelalta otettiin 4-5 puusta ytimeen saakka ulottuvia näytteitä. Näistä määritettiin puuston rinnankorkeusikä ja mitattiin peruslannoituksen vaikutuksen selvittämiseksi sädekasvut vuodesta 1952 alkaen. Tutkimusaineistoa koskevia koelatietoja on esitetty seuraavassa jaotelmassa:

Alue	Koepuita	Keskimääräinen		
		$d_{1,3}$	h	rinnankorkeusikä, v
Latoneva	370	14,0	10,0	39
Pirttineva	356	16,9	12,7	42
Pöykänneva	240	13,4	9,5	31
Rustari	390	12,9	10,0	31
yht.	1356			

Kaliumin puutoksen symptomeja ei lannoitettujen koalojen puiden neulasissa enää ollut havaittavissa, mutta sen sijaan latvavauriota esiintyi. Koepuut luokiteltiin latvavaurioiden suhteen seuraavasti:

1. Ei vaurioita
2. Pääverso vaihtunut ennen jatkolannoitusta
3. Pääverso vaihtunut jatkolannoituksen jälkeen
4. Ei selvää elpymistä latvakadon jälkeen

Jokaisen koelalan keskeltä laskettiin 50 m<sup>2</sup>:n alalta myös elävien ja kuolleiden puiden lukumäärä.

Koelueille oli kylmän ja kostean kesän 1981 jälkeen levinnyt männyn versosyöppä, jonka aiheuttamat vauriot puustossa näkyivät kesällä 1982. Versosyövän ruskettamien neulasten osuus arvioitiin silmävaraisesti asteikolla 0-100 %. Pääversion ruskettuminen huomioitiin erikseen.

Maanäytteet koostettiin neljästä eri osanäytteestä, jotka otettiin systemaattisesti eri puolilta ympyräkoelaa syyskesällä 1982. Maanäytteet otettiin poikkileikkaukseltaan 4 x 5 cm:n näytteenottolaatikolla seuraavista syvyyksistä: 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 ja 20-25 cm. Näytteet otettiin turpeen tasapinnasta ja elävä sammalkerros poistettiin ennen näytteen jakamista.

Turvenäytteistä analysoitiin kokonaistyyppi Kjeldahlin menetelmällä, NH<sub>4</sub>-typpi 0,5 M KCl-uuhteesta tislamalla emäksisessä MgO-liuoksessa. Vaihtuvaa kaliumia määritettäessä uutoliuoksena käytettiin hapanta (pH 4,8) ammoniumasetaattia. Ammoniumtyppi määritettiin tuoreesta, mutta muut ravinteet uunikuivasta turpeesta. Lisäksi määritettiin tuoreen turpeen pH tislatussa vedessä (turve/vesi tilavuussuhteessa 1/5). Kokonaistyyppi ja vaihtuva kalium analysoitiin kaikista turvekerroksista sekä NH<sub>4</sub>-typpi ja pH 0-20 cm turvekerroksista.

Laskettaessa lannoituksen vaikutusta puuston sädekasvuun, eri vauriotyyppien esiintymiseen ja neulasten ravinteisiin käytettiin yksi- ja kaksisuuntaista varianssi-analyysiä. Neulasten ravinteiden ja sädekasvun, samoin kuin turpeen ominaisuuksien ja sädekasvun välisiä riippuvuuksia testattiin regressio- ja kovarianssianalyysillä.

Tilastollisessa käsittelyssä otettiin Pirttinevan koekassa lannoituksen lisäksi luokittelijaksi kasvualustan paikallisen vaihtelun vuoksi toisto. Rustarin koekassa otettiin lannoituksen lisäksi harvennus luokittelijaksi. Latonevan, Pöykännevan ja Pirttinevan koekassa testattiin luokkamuuttujien välisiä tilastollisesti merkitseviä eroja Tukeyn W-testillä Rustarin koekassa tämä ei ollut mahdollista, koska toistojen lukumäärä vaihteli eri käsittelyssä.

Selitettäessä neulasten ravinnepitoisuuksia ja sädekasvua turpeen kokonais- ja ammoniumtyppipitoisuudella otettiin mukaan vain jatkolannoitetut koalat, jolloin puuston ravitsemuksen voitiin olettaa muiden pääravinteiden osalta olevan tasapainossa. Selitettäessä neulasten ravinnepitoisuuksia ja puuston sädekasvua maan kaliumpitoisuudella olivat laskennassa mukana myös lannoittamattomat koalat, koska lannoitus vaikutti turpeen vaihtuvan kaliumin määrään. Näin tehtiin myös selitettäessä sädekasvua neulasten ravinnepitoisuuksilla. Joissakin tapauksissa esiintyi selvästi yleisestä trendistä poikkeavia havaintoja. Aineistoa analysoitiin sekä kokonaisuudessaan että ilman näitä havaintoja.

### 3. TULOKSET

#### 31. Turpeen vaihtuva kalium

Kaikilla koelueilla kaliumia oli eniten 0–5 cm:n turvekerroksessa, josta sen määrä poikkeuksetta väheni 5 cm:n kerroksittain profiilissa alaspäin siirryttäessä aina 20 cm:n syvyyteen saakka (taulukko 3, ks. myös Mannerkoski 1973, Pakarinen & Tolonen 1977). Keskimäärin kaliumin määrä oli 20–25 cm:n kerroksessa vielä edellistä alempi, joskin joitakin yksittäisiä poikkeuksia esiintyi. Jatkolannoittamattomilla koelohilla kaliumin määrän väheneminen oli erityisen selvää.

Yhtä poikkeusta lukuunottamatta jatkolannoitus lisäsi turpeen vaihtuvan kaliumin määrää koko tutkitussa turveprofiilissa (taulukko 3). Suhteellisesti vähiten lisääntyi ka-

liumin määrä 0–5 cm:n kerroksessa ja eniten 10–25 cm:n kerroksissa. PK-lannoitukseen verrattuna PK+K-lannoitus kohotti edelleen turpeen vaihtuvan kaliumin määrää. Tässäkin tapauksessa suhteellinen lisäys oli vähäisin 0–5 cm:n kerroksessa.

PK-lannoitetuilla koelohilla turpeen pintaosan (0–10 cm) kaliumarvot olivat Pirttinevalla ja Rustarissa korkeammat kuin pelkästään kalilannoitetuilla koelohilla, kun taas Latonevalla ja Pöykännevalla tilanne oli päinvastainen. Tämä viittaa viime mainituilla koelueilla fosforin puutokseen, joka mahdollisesti on vaikeuttanut myös puiden kaliumin käyttöä. Sen sijaan Pirttinevalla ja Rustarissa voimakas peruslannoitus fosforilla on mahdollistanut kaliumin käytön myös pelkästään kalijatkolannoitetuilla koelohilla.

Taulukko 3. Jatkolannoituksen vaikutus vaihtuvan kaliumin (mg/l) määrään eri turvekerroksissa sekä kaliumin määrän lisääntyminen (%) käytettäessä PK-lannoituksen sijasta PK+K-lannoitusta.

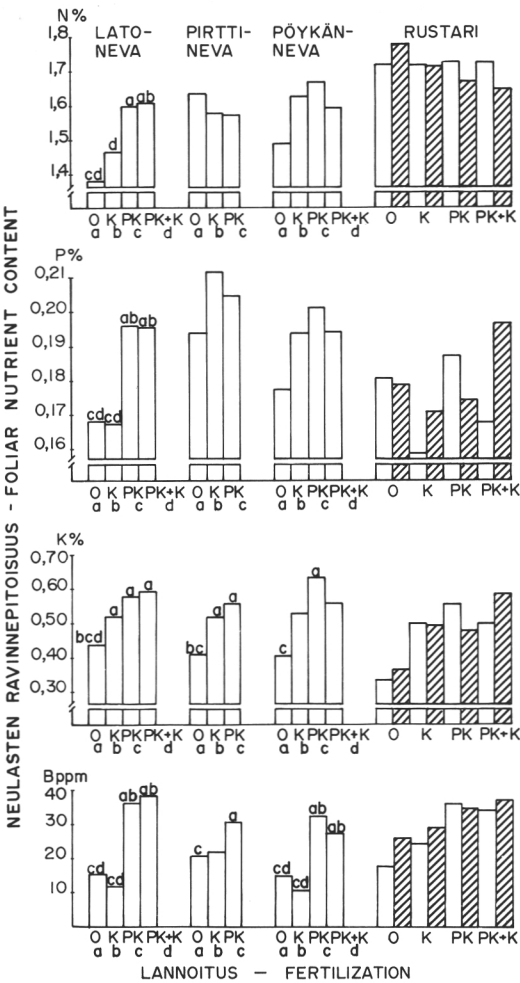
Table 3. Effect of refertilization on the amount of exchangeable potassium (mg/l) in different peat layers and increase in the amount of potassium (%) when using PK+K instead of PK fertilization.

Koe Experiment	Kerros Layer, cm	Lannoitus — Fertilization					$\bar{x}$	100 × $\frac{(PK+K)-PK}{PK}$	F-arvo F value
		O	K	PK	PK+K	PK			
Latoneva	0–5	132,8	191,0	160,6	195,2	169,9	21,5	2,64	
	5–10	78,2	137,2	130,0	180,0	131,4	38,5	11,40***	
	10–15	45,6	56,2	68,4	102,0	68,1	49,1	7,75**	
	15–20	31,2	38,6	61,4	87,2	54,6	42,0	11,47***	
	20–25	29,6	30,0	56,0	78,0	48,4	39,3	6,94**	
	$\bar{x}$	63,5	90,5	95,3	128,5	94,5	—	—	
Pirttineva	0–5	128,3	136,0	152,7	—	139,0	—	0,42	
	5–10	61,2	73,8	91,2	—	75,4	—	1,61	
	10–15	30,9	42,2	48,8	—	40,6	—	70,05**	
	15–20	22,6	39,6	38,6	—	33,6	—	7,65	
	20–25	20,4	30,3	36,0	—	28,9	—	1,25	
	$\bar{x}$	52,7	64,4	73,5	—	63,5	—	—	
Pöykänneva	0–5	76,3	97,3	74,7	80,7	82,3	5,2	0,72	
	5–10	58,7	95,0	65,7	76,7	74,0	16,9	3,58	
	10–15	21,7	48,3	46,3	64,0	45,1	38,2	3,99	
	15–20	12,3	40,7	33,3	40,3	31,7	21,0	30,91***	
	20–25	12,7	32,3	24,0	40,0	27,3	66,7	9,70**	
	$\bar{x}$	36,3	62,7	48,8	60,3	52,1	—	—	
Rustari	0–5	90,3	108,5	122,8	131,0	113,2	6,5	1,85	
	5–10	66,9	82,0	101,4	122,0	93,0	20,8	3,45*	
	10–15	25,7	44,8	50,5	77,7	49,7	53,9	11,89***	
	15–20	21,0	36,5	46,4	63,7	41,9	37,2	7,30**	
	20–25	22,3	36,0	39,1	65,0	40,6	66,2	1,20	
	$\bar{x}$	45,2	61,6	72,0	91,9	67,7	—	—	

## 32. Neulasten ravinteet

### 321. Lannoituksen vaikutus neulasten ravinnepitoisuuksiin

Lannoittamattomilla koaloilla neulasten typpipitoisuus oli alhaisin Latonevalla, mutta ylitti kuitenkin lannoitustarvetta osoittavan puuterajan, 1,2 – 1,3 % (kuva 1. ks. myös Paarlahti ym. 1971, Raitio 1978). Muilla



Kuva 1. Neulasten ravinnepitoisuudet eri tutkimusalueilla ja Tukeyn testitulokset. Kirjaimet osoittavat, mistä lannoituskäsittelystä ko. keskiarvo eroaa 5 %:n riskitasolla. Vinoviivoitetut pylväät Rustarin kokeessa tarkoittavat harvennettuja koaloja.

Fig. 1. Foliar nutrient concentrations in the experimental areas and the results from Tukey's procedure at 5 % risk level. Letters indicate the fertilization treatment from which the mean value deviates. The hatched columns refer to thinned sample plots.

koalueilla neulasten typpipitoisuudet lannoittamattomilla koaloilla olivat korkeampia, Pirttinevalla ja Pöykännevalla lähellä Kauniston (1982) mäntytaimikolle esittämää optimialuetta sekä Rustarissa tämän yläpuolella. Latonevan ja Pöykännevan kokeissa kali- ja fosfori-kalilannoitus lisäsi neulasten typpipitoisuuksia (ks. myös Penttilä 1980), joskaan Pöykännevalla ei tilastollisesti merkitsevästi. Latonevan kokeessa ero oli tilastollisesti erittäin merkitsevä (liite 2). Pirttinevalla muiden pääravinteiden antaminen alensi keskimäärin neulasten typpipitoisuutta, mutta vaikutus vaihteli eri lohkoissa tilastollisesti melkein merkitsevästi (liite 2) Rustarissa lannoitus ei vaikuttanut neulasten typpipitoisuuteen.

Neulasten fosforipitoisuudet olivat kaikissa tapauksissa selvästi suuremmat kuin Paarlahten ym. (1971) esittämä fosforipuutoksen alempi raja-arvo 1,4 ‰ (kuva 1). Suurimmat fosforiarvot ylittivät myös Puustjärven (1965) esittämän optimirajan,  $P > 1,8 ‰$ . Yksipuolisen tai runsaan kalilannoituksen vaikutus neulasten fosforipitoisuuksiin vaihteli. Pöykännevalla kalilannoitus kohotti fosforipitoisuuksia, mutta muilla alueilla erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

Lannoittamattomien koalojen neulasten kaliumpitoisuudet olivat Rustarin koalueella Paarlahten ym. (1971) esittämällä puutosrajalla (3,5–4,0 ‰) ja muillakin koalueilla Raition (1978) esittämän puutosrajan (4,5 ‰) alapuolella (kuva 1). Lannoitus lisäsi neulasten kaliumpitoisuuksia Latonevan kokeessa tilastollisesti erittäin merkitsevästi ja Pirttinevan ja Rustarin kokeissa tilastollisesti merkitsevästi (Liite 2). Rustarin koaluetta lukuunottamatta neulasten kaliumpitoisuudet lannoitetuilla koaloilla olivat lähellä Puustjärven (1962c) ja Veijalaisen (1979) esittämiä optimipitoisuuksia (6,00 ‰ ja 5,7 – 6,2 ‰ vastaavasti). Puuston harvennus aiheutti lievää neulasten kaliumpitoisuuden lisääntymistä vertailukoaloilla ja niillä koaloilla, jotka saivat suurimman lannoitemäärän. Vaikutus ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä.

Jatkolannoittamattomilla koaloilla neulasten booripitoisuus oli hieman korkeampi kuin Raition (1981) ojitetun lyhytkortisen nevan mäntytaimikosta esittämät arvot (kuva 1). Lannoitus vaikutti voimakkaasti neulasten booripitoisuuksiin. Niillä koaloilla, jotka saivat booria sisältävää suometsien PK-

lannosta, neulasten booripitoisuudet ylittivät Braecken (1979) esittämän optimipitoisuuden (20–25 ppm). Korkeimmat booripitoisuudet olivat samalla tasolla kuin Veijalaisen (1980) esittämät. Sen sijaan yksipuolinen kalilannoitus vähensi Latonevan ja Pöykännevan kokeissa neulasten booripitoisuuksia (ks. Veijalainen 1977). Näillä koalueilla booripitoisuudet olivat lähellä Veijalaisen (1980) esittämää rajaa, jota alemmalla booritasolla hän esittää käytettäväksi booripitoista PK-lannoitetta. Puuston harvennus PK-lannoitettuja ruutuja lukuunottamatta kohotti neulasten booripitoisuuksia.

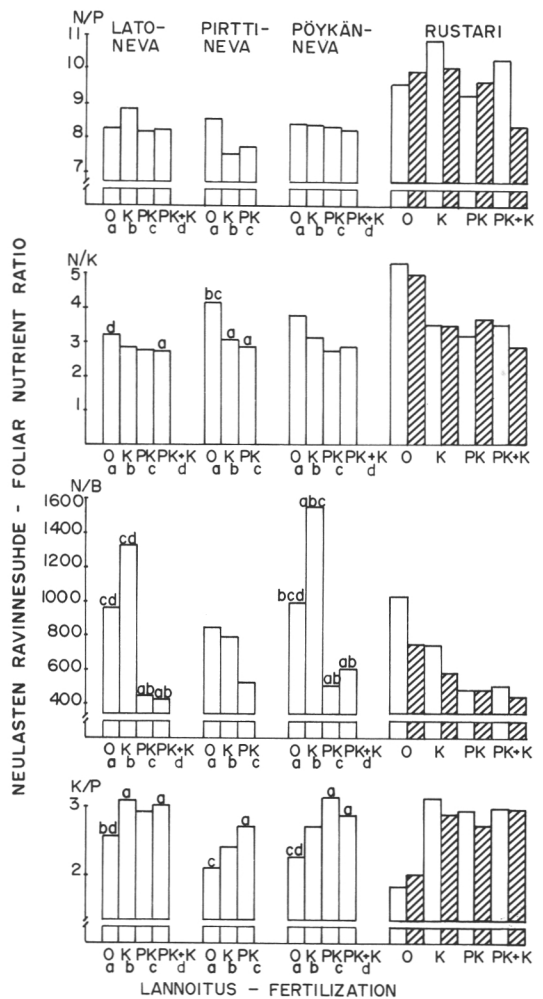
Eri lannoituskäsittelyt eivät aiheuttaneet neulasten N/P-suhteeseen tilastollisesti merkitseviä eroja (kuva 2, liite 2). Neulasten N/P-suhde oli Latonevan, Pirttinevan ja Pöykännevan kokeissa pienempi (n. 7,5 – 9,0) kuin Puustjärven (1962a ja 1965) ja Paavilaisen (1976) esittämät optimiarvot (N/P 12, 10–13 ja 11,0 vastaavasti) sekä Kauniston ja Paavilaisen (1977) toteamat raja-arvot (N/P 12–14), joita korkeammilla N/P suhteilla jatkolannoitus tyypellä vaurioitti taimia. Sen sijaan Rustarin kokeissa N/P-suhde vaihteli laajasti (n. 8–11). Toisaalta Paarlahden ym. (1971) aineistosta laskettu optimaalinen N/P-suhde oli noin 8.

Jatkolannoitus vaikutti eri tavoin N/K- ja K/P-suhteisiin (kuva 2). Jatkolannoittamattomilla vertailuruuduilla N/K-suhde oli liian suuri, mutta kaliumia saaneilla ruuduilla suhde oli Puustjärven (1962c) ja Paarlahden ym. (1971) esittämien optimipitoisuuksien mukainen (2.6.–2.8. ja 3.0 vastaavasti). Sen sijaan K/P-suhde oli jatkolannoittamattomilla koaloilla liian alhainen, mutta kohosi lannoituksen ansiosta tasapainoiseksi (Puustjärvi 1965).

Neulasten N/B-suhde vaihteli suuresti (kuva 2). Pienimmät arvot olivat niillä koaloilla, jotka saivat jatkolannoituksessa booria. Kaikki mitatut N/B-suhteet ovat suurempia kuin Kauniston (1982) toteamat N/B-suhteet lannoitettujen avosoiden mäntytaimikoissa.

### 322. Turpeen ominaisuuksien vaikutus neulasten ravinnepitoisuuksiin

Neulasten typpipitoisuuden sekä turpeen ammonium- ja kokonaistyppipitoisuuden välistä riippuvuutta tarkasteltaessa jätettiin jat-



Kuva 2. Neulasten ravinnesuhteet eri koalueilla ja Tukeyn testin tulokset. Selitykset kuten kuvassa 1.  
Fig. 2. Foliar nutrient ratios in the experimental areas and the results from Tukey's test. Key as in Fig. 1.

kolannoittamattomat koalat laskennan ulkopuolelle. Tulokset laskettiin kaikkien koalojen yhteisanalyysinä. Jokaisessa tapauksessa kokeiltiin sekä suoraviivaista että parabelin muotoista mallia. Laskennassa käytettiin sekä regressio- että kovarianssianalyysejä.

Analyyseiden tulokset olivat hyvin samansuuntaiset. Tilastollisesti merkitsevissä tapauksissa neulasten ja turpeen typpipitoisuuden välistä vuorosuhdetta kuvasi useimmiten lineaarinen malli. Neulasten typpipitoisuus lisääntyi turpeen kokonais- ja  $\text{NH}_4$ -typpipitoisuuden lisääntyessä (kuva 3, taulukko 4 ja 5, ks. myös Puustjärvi 1962a, Kaunisto

Taulukko 4. Regressioanalyysillä laskettu neulasten typpipitoisuuden (%) riippuvuus turpeen kokonais- ja ammoniumtyppipitoisuudesta (N, %; NH<sub>4</sub>-N, mg/l). Aineisto sisältää kaikkien kokeiden jatkolannoitetut koealat.

Table 4. Dependence of foliar nitrogen levels (%) on peat total (%) and ammonium nitrogen (mg/l) as calculated with regression analysis. The material includes the fertilized sample plots in all the areas.

Turpeen omin. Peat property	Kerros Layer	Yhtälö Equation	T <sub>x</sub>	T <sub>x</sub> <sup>2</sup>	Mallin F Model F	Selitysaste Coeff. det., %
Neulasten N — Foliar N						
Kokonais	0–5	y=0,18x+1,37	2,80***	—	7,83**	13,8
Total	5–10	y=0,22x+1,28	3,71***	—	13,80***	22,0
N, %	10–15	y=0,19x+1,31	4,22***	—	17,80***	26,7
	15–20	y=0,10x+1,44	1,82*	—	3,31	6,3
	20–25	y=0,06x+1,50	1,17	—	1,36	2,7
NH <sub>4</sub> -N, mg/l	0–5	y=0,003x+1,60	1,66	—	2,77	5,3
	5–10	y=0,0005x+1,58	4,39***	—	19,25***	28,6
	10–15	y=0,0004x <sup>2</sup> +1,59	—	3,45***	11,91**	19,9
	15–20	y=0,006x+1,58	2,03*	—	4,13*	7,8

Taulukko 5. Kovarianssianalyysillä laskettu neulasten typpipitoisuuden (%) riippuvuus turpeen kokonais- ja ammoniumtyppipitoisuudesta (% ja mg/l vastaavasti). Aineisto sisältää kaikkien kokeiden lannoitetut koealat. Luokkamuuttujana koe. Selitysasteeseen sisältyy myös luokkamuuttujan osuus.

Table 5. Dependence of foliar nitrogen levels (%) on peat total (%) and ammonium (mg/l) nitrogen calculated with the analysis of covariance. The material includes the fertilized sample plots of all the experiments. The experiment is the class variable. Coefficient of determination includes also the effect of the class variable.

Turpeen omin. Peat property	Kerros Layer	Luokkam. Class var.	Regressiomuuttujat Regression variables					Selitysaste Coeff. det., %
			x		x <sup>2</sup>		x+x <sup>2</sup>	
		F	Kerroin Coeff.	F	Kerroin Coeff.	F	F	
Neulasten N — Foliar N								
Kokonais	0–5	2,77	0,53	1,01	-0,13	0,56	1,95	91,7
Total	5–10	3,79*	0,20	9,98***	—	—	—	92,5
N, %	10–15	2,03	0,07	0,03	0,02	0,04	4,01*	92,3
	15–20	4,45**	0,28	0,69	-0,05	0,26	2,50	91,8
	20–25	5,45**	0,19	0,24	-0,03	0,04	2,57	91,9
NH <sub>4</sub> -N, mg/l	0–5	3,92	0,005	0,77	-0,00007	0,46	0,47	91,1
	5–10	3,04	0,015	12,26***	-0,0001	9,96**	6,57**	93,0
	10–15	3,03	0,005	1,21	-0,00002	0,29	2,39	91,8
	15–20	3,85	0,01	2,53	-0,0006	2,02	1,28	91,4

1982). Parhaiten neulasten typpipitoisuutta selitti turpeen kokonais- ja NH<sub>4</sub>-typpi 5–10 ja 10–15 cm:n turvekeroissa. Kovarianssianalyysissä tilastollisesti merkitsevät tapaukset rajoittuivat näihin kerroksiin (taulukko 5). Regressioanalyysillä laskettaessa neulasten typpipitoisuus oli tilastollisesti merkitsevästi riippuvainen lisäksi myös turpeen kokonaistyppipitoisuudesta 0–5 cm:n kerroksessa ja NH<sub>4</sub>-typpipitoisuudesta 15–20 cm:n kerroksessa (taulukko 4). NH<sub>4</sub>-typen (5–10 cm:n kerroksessa) ja neulasten typen välisessä riippuvuudessa oli kuitenkin varsin suuri merkitys Rustarin koealueelta mitatuilla kahdella poikkeuksellisen korkealla NH<sub>4</sub>-ty-

pen arvolla (kuva 3). Ilman kyseisiä havaintoja riippuvuutta kuvasi (regressioanalyysi) yhtälö  $y = 0,0014x^2 + 1,55$ . Kertoimen Tarvo oli 3,43\*\*\*, mallin F-arvo 11,78\*\*\* ja selitysaste 15,1 %. Selitysaste oli siis huomattavasti huonompi kuin kokonaistyppipitoisuuden ollessa selittäjänä.

Neulasten kaliumipitoisuuden ja turpeen vaihtuvan kaliumin välistä riippuvuutta tarkasteltiin erikseen jatkolannoitetussa ja jatkolannoittamattomassa osa-aineistossa sekä sen lisäksi vielä koko aineistossa. Koko aineistosta laskettiin vielä erikseen analyysit siten, että muusta materiaalista poikkeava yksi korkea neulasten kaliumipitoisuushavainto

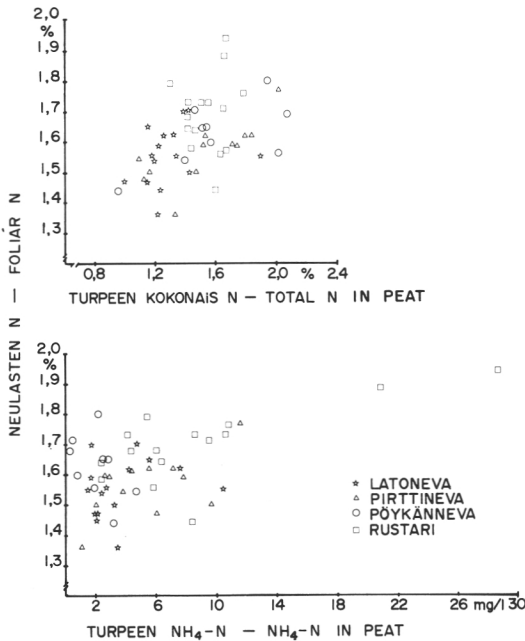
Taulukko 6. Regressioanalyysillä laskettu neulasten kaliumpitoisuuden (‰) riippuvuus turpeen vaihtuvan kaliumin määrästä (mg/l) eri turvekerroksissa eri tavoin ryhmitellyissä aineistoissa. Esitetty vain tilastollisesti merkitsevät tapaukset. Jatkolannoittamattomassa osa-aineistossa tällaisia ei esiintynyt.

Table 6. Dependence of the foliar potassium content (‰) on the amount of exchangeable potassium in peat (mg/l) in different peat layers in differently grouped materials as calculated with regression analysis. Only statistically significant equations presented. In unrefertilized material no such equations occurred.

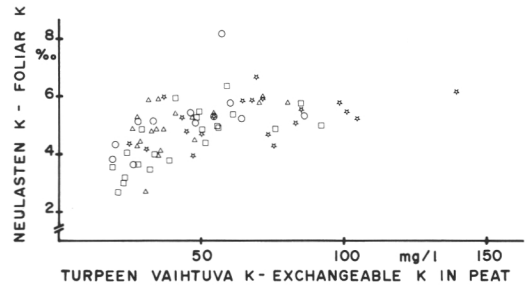
Aineisto Material	Kerros Layer, cm	Yhtälö Equation	$F_x$	$F_{x^2}$	Mallin Model F	Selitysaste Coeff.det., %
Jatkolannoitetut Refertilized	5-10	$y=0,0046x+4,85$	5,80*	—	5,80*	11,4
	10-15	$y=0,0088x+4,83$	7,38*	—	7,38*	14,0
	15-20	$y=0,0095x+4,88$	7,18*	—	7,18*	13,2
	20-25	$y=0,0094x+4,94$	7,33*	—	7,33*	14,0
Kaikki All	0-5	$y=0,00002x^2+4,6$	4,83*	—	—	6,4
	5-10	$y=0,0093x+4,1$	12,92***	—	—	15,6
	10-15	$y=0,0628x-0,00033x^2+2,8$	18,52***	8,69**	19,61***	36,2
	15-20	$y=0,0587x-0,00037x^2+3,4$	10,07**	4,11*	14,93***	30,2
	20-25	$y=0,0202x+4,2+3,0$	16,87***	—	—	19,4
Yksi hav. poistettu One sample abandoned <sup>1)</sup>	0-5	$y=0,0061x+4,1$	8,84**	—	—	11,3
	5-10	$y=0,0105x+3,9$	21,43***	—	—	23,6
	10-15	$y=0,0568x-0,00028x^2$	18,78***	8,12**	22,20***	39,5
	15-20	$y=0,0229x+4,0$	34,03***	—	—	33,0
	20-25	$y=0,0215x+4,1$	24,83***	—	—	26,5

1) Poistettu havainto, jossa neulasten K-pitoisuus > 8‰. Ks. myös kuva 4.

1) Omitted observation where foliar K-content > 8‰. See also Fig. 4.



Kuva 3. Neulasten typpipitoisuuden riippuvuus turpeen kokonais- ja  $NH_4$ -typpipitoisuudesta 10-15 cm:n turvekerroksessa. Mukana vain lannoitetut koalat.  
Fig. 3. Dependence of foliar nitrogen levels on total and  $NH_4$  nitrogen in the 5-10 cm peat layer. The material includes only the fertilized sample plots.



Kuva 4. Neulasten kaliumpitoisuuden riippuvuus turpeen vaihtuvasta kaliumista eri koalueilla. Symbolit kuten kuvassa 3.

Fig. 4. Dependence of foliar potassium levels on peat exchangeable potassium in 10-15 cm peat layer. Key as in Fig. 3.

(K > 8 ‰ ks. kuva 4) oli poistettu.

Jatkolannoittamattomassa osa-aineistossa neulasten kaliumin ja turpeen vaihtuvan kaliumin välillä ei todettu ainoassakaan tapauksessa tilastollisesti merkitsevää riippuvuutta. Sen sijaan jatkolannoitetussa osa-aineistossa todettiin lievä positiivinen suora- viivainen riippuvuus em. muuttujien välillä (taulukko 6).

Taulukko 7. Kovarianssianalyysillä laskettu neulasten kaliumpitoisuuden (‰) riippuvuus turpeen vaihtuvan kaliumin määrästä (mg/l) eri turvekerroksissa eri tavoin ryhmitellyissä aineistoissa. Luokkamuuttujana koelue, selitysteeseen sisältyy myös luokkamuuttujan osuus.

Table 7. Dependence of the foliar potassium level (‰) on the amount of exchangeable potassium (mg/l) in peat in different peat layers in differently grouped materials as calculated with the analysis of covariance. The experimental areas as class variable. The coefficient of determination includes also the share of class variable.

Materiaali Material	Kerros Layer cm	Luokkam. Class var. F	Kerroin Coeff.	Regressiomuuttujat — Regression variables				Selityste Coeff. det., %
				F <sub>x</sub>	Kerroin Coeff.	F <sub>x<sup>2</sup></sub>	F <sub>x+x<sup>2</sup></sub>	
Jatkolan- noitetut Refertilized	0—5	1,66	−0,0101	0,55	0,00003	0,37	0,48	—
	5—10	1,88	0,0005	0,00	0,00010	0,03	0,43	—
	10—15	1,84	0,0219	1,63	−0,00010	0,73	1,74	—
	15—20	2,12	0,0126	0,31	−0,00005	0,06	1,12	—
	20—25	2,34	0,0145	0,78	−0,00007	0,19	1,42	—
Kaikki All	0—5	2,46	0,0092	0,43	−0,00001	0,06	1,98	15,9
	5—10	3,04*	0,0170	1,68	−0,00003	0,21	6,72**	25,9
	10—15	2,85*	0,0634	20,17***	−0,00032	9,32**	19,12***	43,6
	15—20	4,04*	0,0639	13,27***	−0,00041	5,52*	16,89***	41,0
	20—25	4,23**	0,0515	10,04**	−0,00030	3,61	11,69***	34,2
Yksi hav. poistettu One sample abandoned <sup>1)</sup>	0—5	1,66	0,0117	0,84	−0,00002	0,21	2,73	17,7
	5—10	2,44	0,0215	3,46	−0,00005	0,74	10,06***	31,8
	10—15	2,16	0,0578	19,98***	−0,00029	8,57**	20,22***	45,0
	15—20	3,22*	0,0586	14,05***	−0,00036	5,32*	20,02***	44,8
	20—25	3,71*	0,0513	12,84***	−0,00029	4,50*	15,31***	39,3

1) Poistettu havainto, jossa neulasten K-pitoisuus > 8 ‰. Ks. myös kuvat 4 ja 5.

2) Omitted observation where foliar K-content > 8 ‰. See also Figs. 4 and 5.

Lannoittamattomien ja lannoitettujen koelajojen yhdistetyssä aineistossa turpeen vaihtuva kalium selitti verrattain hyvin neulasten kaliumpitoisuutta (taulukot 6 ja 7, kuva 4). Parhaiten neulasten kaliumpitoisuutta selitti turpeen vaihtuvan kaliumin määrä 10—15 ja 15—20 cm:n kerroksessa ja verrattain hyvin turpeen vaihtuva kaliumin määrä 20—25 cm:n kerroksessa. Sen sijaan vaihtuvan kaliumin määrä 0—5 cm:n kerroksessa selitti neulasten kaliumpitoisuuden vaihtelua varsin huonosti. Useissa tapauksissa yllämainittujen suureiden riippuvuutta toisistaan kuvasi alaspäin kääntynyt parabeli. Kuvaajan muodon aiheuttivat lannoittamattomien koelajojen alhaiset vaihtuvan kaliumin ja neulasten kaliumin arvot (kuva 5). Jatkolannoituksessa annetun kaliumin määrä (PK/PK+K) ei vaikuttanut neulasten kaliumpitoisuuksiin (kuva 5).

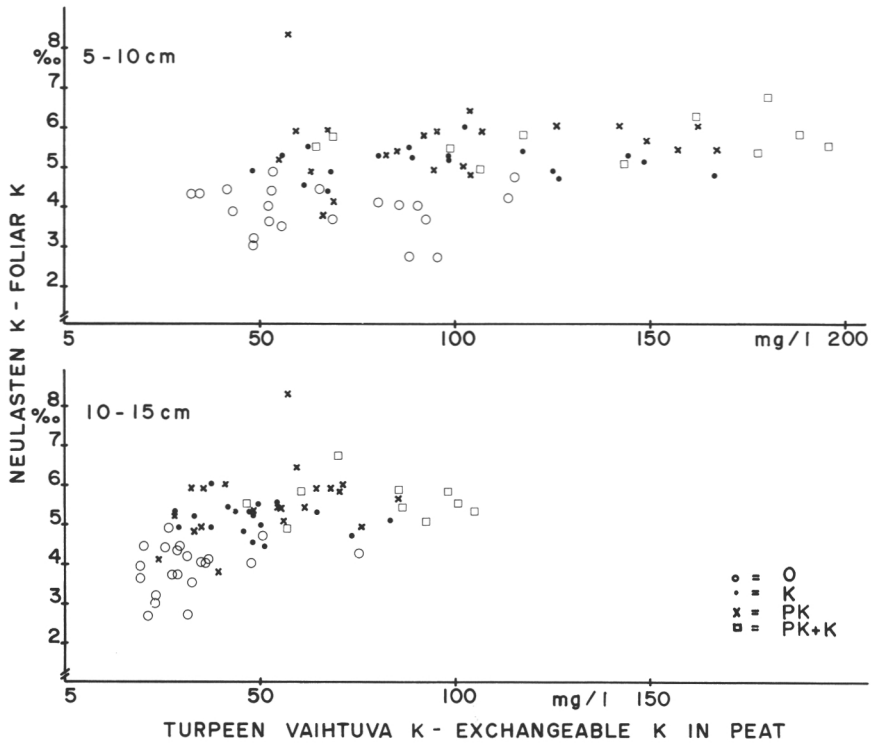
### 33. Puuston sädekasvu

#### 331. Peruslannoituksen vaikutus sädekasvuun

Peruslannoituksen vaikutusta tarkasteltaessa, sädekasvut laskettiin viiden puun kes-

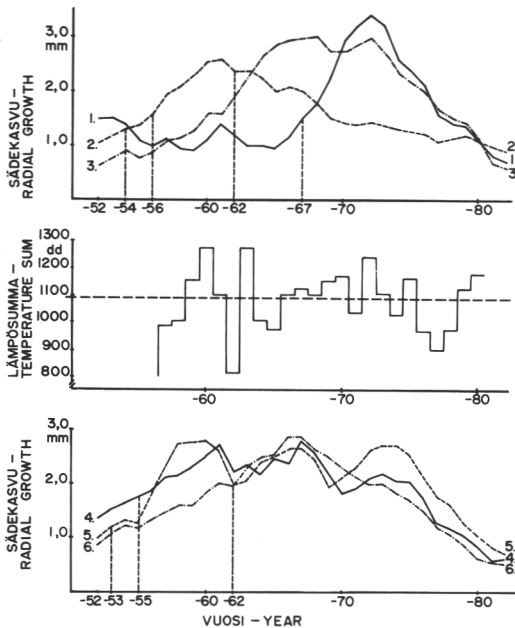
kiarvoina kullakin koelajalla. Latonevalla ja Pöykännevalla oli peruslannoitus sama koko alueella. Sen sijaan Pirttinevalla pieni osa alueesta oli saanut kaksinkertaisen kalianoksen. Laskennassa nämä koelajat kuitenkin yhdistettiin muuhun aineistoon. Rustarin koelueella sädekasvun vuotuisen kehityksen kuvaajat piirrettiin erikseen eri peruslannoitusvaihtoehdoille. Koska koelueilla ei ollut lannoittamattomia vertailualoja jää peruslannoituksen vaikutuksen tarkastelu vajavaiheiseksi. Joitakin viitteitä lannoituksen kestoajasta ja siihen vaikuttavista tekijöistä aineisto kuitenkin antaa.

Sädekasvu lisääntyi yleensä jo lannoitusvuotena (kuva 6, ks. myös Karsisto 1976). Latonevalla sädekasvu kohosi jyrkästi kuutena peräkkäisenä kasvukautena (lannoitusvuosi mukaan luettuna) alentuen huipun jälkeen jonkin verran loivemmin ja laskien 14:nä kasvukautena lannoitusta edeltäneelle tasolle Pöykännevalla sädekasvun palautuminen peruslannoitusta edeltäneelle tasolle kesti 17, Pirttinevalla 23 ja Rustarissa 11—29 kasvukautta peruslannoituksesta riippuen. Tapauksissa, joissa peruslannoitus sisälsi sekä fosforia että kaliumia puiden sädekasvu palautui lannoitusta edeltäneelle tasolle



Kuva 5. Neulasten kaliumpitoisuuden riippuvuus turpeen vaihtuvasta kaliumista 5–10 ja 10–15 cm:n turvekerroksessa lannoituskäsitteilyittäin.

Fig. 5. Dependence of foliar potassium levels on the amount of exchangeable potassium in 5–10 and 10–15 cm peat layers in different fertilization treatments.



1. Latoneva 500 kg/ha suom. PK-lannosta v. -67
2. Pirttineva 1500 kg/ha hienofosf. v. -54–56 ja 200–400 kg/ha kalisuolaa v. -61–62
3. Pöykänneva 500 kg/ha hienofosf. v. -62 ja 150 kg/ha kalisuolaa v. -62
4. Rustari 1500 kg/ha hienofosf. v. -55
5. Rustari 2500 kg/ha hienofosf. v. -53
6. Rustari 500 kg/ha hienofosf. v. -62 ja 150 kg/ha kalisuolaa v. -62
1. Latoneva 500 kg/ha PK fertilizer for peatland forests in 1967
2. Pirttineva 1500 kg/ha rock phosphate in 1954–56 and 200–400 kg/ha potassium chloride in 1961–62
3. Pöykänneva 500 kg/ha rock phosphate in 1962 and 150 kg/ha potassium chloride in 1962
4. Rustari 1500 kg/ha rock phosphate in 1955
5. Rustari 2500 kg/ha rock phosphate in 1953
6. Rustari 500 kg/ha rock phosphate in 1962 and 150 kg/ha potassium chloride

Kuva 6. Puuston vuotuinen sädekasvu peruslannoituksen jälkeen eri koalueilla ja tehoisan lämpötilan summa Kihniön Aitonevalla vuosina 1957–1980. Vuosien 1980–82 sädekasvut ovat jatkolannoittamattomien koalojen keskiarvoja, muut koko aineiston. Kaikki lannoitukset on tehty kesällä.

Fig. 6. Annual radial growth of the stand after primary fertilization in different experimental areas and effective temperature sum at Aitoneva, Kihniö, in 1957–1980. Before 1980 all plots but 1980–1982 only unfertilized plots are included. All fertilized in spring.

11–17 kasvukauden kuluttua lannoituksesta. Pirttinevalla 7–8 vuotta fosforilannoituksen jälkeen suoritettu kalilannoitus ei lisännyt puiden sädekasvua.

Kuvassa 6 huomio kiintyy tehoisan lämpösunnan ja sädekasvun väliseen riippuvuuteen. Lämpösomma kohosi vuodesta 1957 aina vuoteen 1960 saakka, jonka jälkeen se aleni voimakkaasti vuosina 1961 ja 1962. Vuosina 1953–56 lannoitetuilla alueilla kasvu saavutti maksimin 1960 tai joissakin tapauksissa v. 1961. Vuonna 1962 on havaittavissa selvä sädekasvun aleneminen Pirttinevan, Pöykännevan ja Rustarin kokeissa. Latonevalla samana vuonna suoritettu lannoitus lisäi sädekasvua lievästi, mutta Rustarissa kasvu jopa aleni saman vuoden lannoituksesta huolimatta.

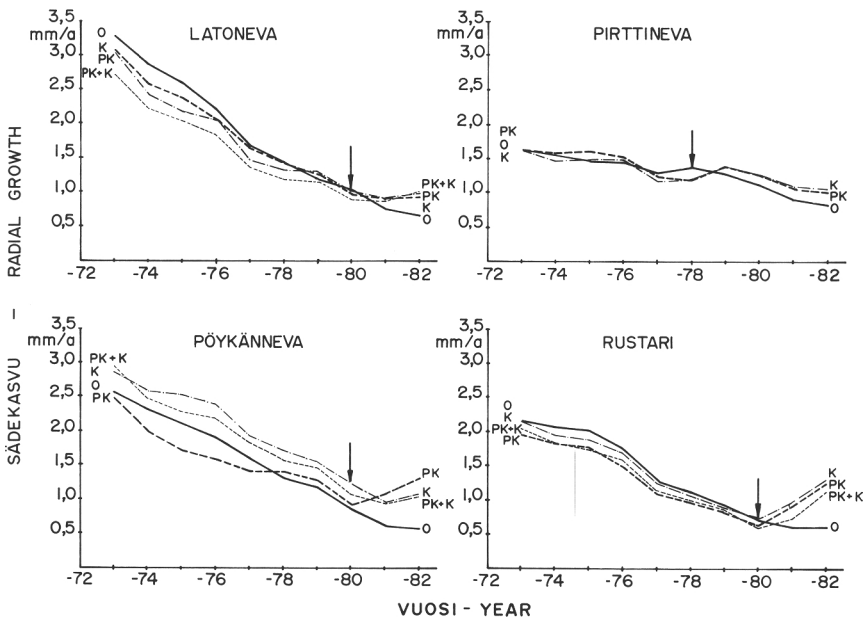
Rustarin aikaisemmin lannoitetuilla alueilla puiden sädekasvu aleni suunnilleen samalle tasolle kuin vuonna 1962 lannoitetullakin alueella. Lämpösunnan kohoaminen 1960-luvun alun kylmän jakson jälkeen 1970-luvun alkuun saakka näkyy kasvun parantumisena Latonevan, Pöykännevan ja Rustarin alueilla. Rustarin alueella vuosina 1968 ja 1969 havaittava kasvun aleneminen saattoi johtua jo tässä vaiheessa ilmenneestä kaliumin puutoksesta. Samaan aikaan ajoittunut puuston

harvennus on puolestaan saattanut parantaa ravinnetilannetta ja mahdollistanut kasvun kohoamisen aikaisemmalle tasolle. Lämpösunnan aleneminen 1970-luvun puolivälin vaiheilla on jälleen yhdenmukainen puuston sädekasvun alenemisen kanssa. Sen sijaan 1970-luvun lopulle sattunut lämmin jakso ei näy puiden sädekasvussa, vaan kasvun aleneminen jatkuu kaikilla lannoittamattomilla koealueilla.

Pelkästään sädekasvuun perustuva tarkastelu ei anna täyttä kuvaa puuston kuutiokasvusta, koska puuston pohjapinta-ala lisääntyy pitempään kuin sädekasvu. Sädekasvu on kuitenkin kaikilla alueilla pienentynyt niin voimakkaasti, että seurauksena on ollut ilmeisesti myös kuutiokasvun aleneminen. Todennäköisimpänä syynä on ollut kaliumin puutos.

### 332. Jatkolannoituksen vaikutus sädekasvuun

Kuten edellä ilmeni, peruslannoituksen vaikutus alueilla oli jatkolannoitushetkellä ilmeisesti kokonaan loppunut tai vähäinen. Sama näkyy myös kuvassa 7, jossa on tarkasteltu puiden sädekasvua koko mitatun aineiston perusteella jatkolannoituskäsittelyittäin



Kuva 7. Vuotuinen sädekasvu 1973–82 eri koealueilla. Nuoli osoittaa jatkolannoitusvuoden.  
 Fig. 7. Annual radial growth in 1973–82 in the experimental areas. The arrow marks the refertilization year.

Taulukko 8. Regressioanalyysillä laskettu sädekasvun (mm) riippuvuus neulasten ravinnepitoisuuksista ja ravinnesuhteista. Aineisto sisältää kaikki koealat.  
 Table 8. Dependence of radial growth (mm) on foliar nutrient levels and nutrient ratios calculated with regression analysis. The material includes all the plots.

Ravinne tai ravinnesuhde Nutrient or nutrient ratio	Vuosi Year	Yhtälö — Equation	T <sub>x</sub>	T <sub>x</sub> <sup>2</sup>	Mallin Model F	Selitysaste Coeff. det. %
N, %	-82	y = 0,60x + 0,03	2,23*	—	4,97*	6,6
	-81	y = 0,30x + 0,42	1,42	—	2,02	2,8
P, ‰	-82	y = 0,08x <sup>2</sup> + 0,71	—	1,57	2,47	3,4
	-81	y = 0,13x <sup>2</sup> + 0,46	—	3,51***	12,33***	15,0
K, ‰	-82	y = 0,02x <sup>2</sup> + 0,46	—	6,39***	40,82***	36,8
	-81	y = 0,01x <sup>2</sup> + 0,55	—	5,13***	26,37***	27,4
B, ppm	-82	y = 0,0003x <sup>2</sup> + 0,78	—	3,78***	14,32***	17,0
	-81	y = 0,0001x <sup>2</sup> + 0,83	—	1,73*	3,00*	4,1
N/P	-82	y = 0,0008x <sup>2</sup> + 0,92	—	0,41	0,17	0,2
	-81	y = 0,0029x <sup>2</sup> + 1,13	—	1,86*	3,46*	4,7
N/K	-82	y = -0,155x + 1,51	3,63***	—	13,21***	15,9
	-81	y = -0,116x + 1,30	3,47***	—	12,01***	14,7
N/B	-82	y = -0,001x + 0,000005x <sup>2</sup> + 1,57	3,12***	2,59**	6,28**	15,4
	-81	y = -0,0007x + 0,0000003x <sup>2</sup> + 1,21	2,18*	2,06*	2,38	6,5
K/P	-82	y = 0,08x <sup>2</sup> + 0,42	—	5,68***	32,29***	31,6
	-81	y = 0,04x <sup>2</sup> + 0,64	—	3,03***	9,18***	11,6

vuosina 1973–1982. Jatkolannoitus kohotti kaikissa kokeissa puiden sädekasvun jatkolannoittamattomia korkeammalle, vaikka esim. Latonevalla ja Rustarissa tilanne oli jatkolannoitusta edeltävinä vuosina ollut päinvastainen. Kasvun elpyminen oli kuitenkin erittäin hidasta. Pirttinevalla kasvu kohosi tilastollisesti merkitsevästi lannoittamattomaan verrattuna vasta neljäntenä ja muillakin vasta kolmantena kasvukautena jatkolannoituksen jälkeen (liite 3).

Kuten edellä peruslannoituksen vaikutusta käsittelevässä luvussa 331 todettiin, sädekasvun elpyminen alkaa yleensä jo lannoitusvuotena (Paavilainen 1972, 1977, Karsisto 1976). Tässä tutkimuksessa sädekasvu aleni vielä lannoitusta seuraavanakin vuotena Latonevalla ja Pöykännevilla.

Eri lannoituskäsittelyjen vaikutuksessa oli vain vähäisiä eroja, ja ne vaihtelivat satunnaisesti alueelta toiselle. Esim. Latonevalla sädekasvu oli paras PK+K-lannoitetuilla koealoilla, Pöykännevilla PK-lannoitetuilla sekä Pirttinevalla ja Rustarissa kalilannoitetuilla koealoilla. Pelkän kalilannoituksen lievästi muita parempi vaikutus viimeainituilla alueilla saattaa kuitenkin liittyä näillä alueilla peruslannoituksessa käytettyihin suuriin fosforimääriin.

### 333. Neulasten ravinnepitoisuudet sädekasvun selittäjinä

Neulasten ravinnepitoisuuksien ja jatkolannoituksen jälkeisen sädekasvun välistä vuorosuhdetta tarkasteltiin ensin regressioanalyysillä. Yhtälöt laskettiin sekä kokeittain (liite 4) että koko aineistolle (taulukot 8 ja 9). Taulukon 8 yhtälöissä ovat mukana kaikki havainnot, mutta taulukon 9 yhtälöistä on poistettu kolme poikkeuksellisen korkeaa sädekasvuhavaintoa (kuva 8). Laskennassa käytettiin sekä suoraviivaista että paraboloidista mallia.

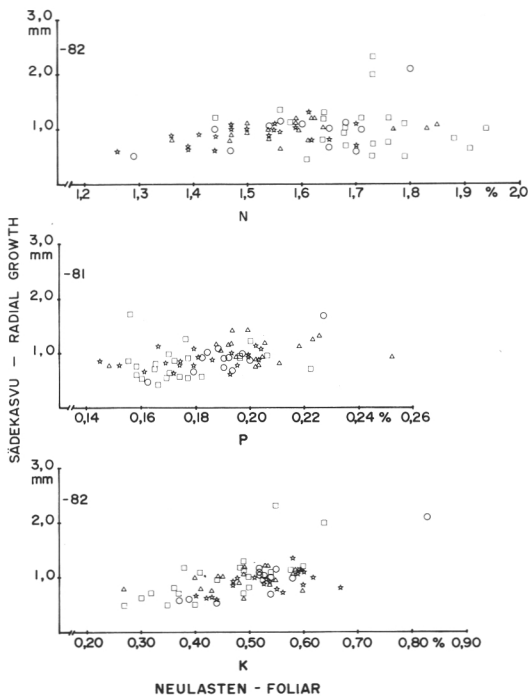
Latonevan, Pirttinevan ja Pöykännevan kokeissa sädekasvu lisääntyi tilastollisesti merkitsevästi neulasten typpipitoisuuden kohotessa (liite 4). Rustarin kokeissa neulasten typpipitoisuuden ja kasvun välinen riippuvuus oli lievästi negatiivinen, joskaan ei tilastollisesti merkitsevästi. Kaikkien kokeiden yhdistetyssä aineistossa neulasten typpipitoisuuden ja kasvun välistä riippuvuutta kuvasi kohoava suora silloin, kun kaikki koealat olivat mukana, mutta alaspäin aukeava parabeli, kun kolme poikkeavaa havaintoa oli poistettu. Neulasten typpipitoisuus parabelin huipun kohdalla oli vuonna 1982 1,64 % ja vuonna 1981 1,63 %.

Koska toisinaan neulasten typpipitoisuudet muiden pääravinteiden puutoksesta kärsvillä puilla saattavat olla varsin korkeita,

Taulukko 9. Regressioanalyysillä laskettu sädekasvun (mm) riippuvuus neulasten typpi- ja kaliumpitoisuudesta sekä N/B-suhteesta. Laskennassa ei ole huomioitu kolmea kuvissa 10–12 esiintyvää havaintoa, joissa sädekasvu > 1,8 mm. Esitetty vain tapaukset, joissa malli on tilastollisesti merkitsevä.

Table 9. Dependence of radial growth (mm) on foliar nitrogen and potassium levels and N/B ratio as calculated with regression analysis. The calculation does not include the three observations in Figs. 10–12 where radial growth > 1.8 mm. Presentation of only the cases with statistically significant model.

Koe	Neulasten ravinne tai ravinneuhde	Vuosi	Yhtälö — Equation	T <sub>x</sub>	T <sub>x</sub> <sup>2</sup>	Mallin F	Selitysaste
Experiment	Nutrient or nutrient ratio	Year				Model F	Coeff. det., %
Yhteisanalyysi Joint analysis	N, %	82	y = 9,23x - 2,81x <sup>2</sup> - 6,59	3,09***	3,02***	5,40*	14,1
		81	y = 6,89x - 2,12x <sup>2</sup> - 4,68	2,28**	2,25*	2,68*	7,5
”	K, ‰	82	y = 0,13x + 0,28	5,01***	—	25,10***	27,3
		81	y = 0,11x + 0,36	3,77***	—	14,19***	17,5
Pöykänneva	N/B	82	y = -0,0001x + 0,81	0,57	—	0,33	3,5
		81	y = -0,00009x + 0,75	0,69	—	0,48	5,0
Rustari	N/B	82	y = -0,0007x + 1,43	4,07***	—	16,53***	47,9
		81	y = -0,002x + 0,000001x <sup>2</sup> + 1,58	1,97*	1,78*	2,69	24,1
Yhteisanalyysi Joint analysis	N/B	82	y = -0,001x + 0,0000004x <sup>2</sup> + 1,39	3,83***	3,36***	8,24***	20,0
		81	y = -0,0006x + 0,0000003x <sup>2</sup> + 1,11	2,10*	2,13*	2,29	6,5



Kuva 8. Sädekasvun riippuvuus neulasten typpi- (vuonna 1982), fosfori- (vuonna 1981) ja kaliumpitoisuudesta (vuonna 1982) eri koealueilla. Symbolit kuten kuvassa 3.

Fig. 8. Dependence of radial growth on foliar nitrogen (in 1982), phosphorus (in 1981) and potassium levels in different experiments. Key as in Fig. 3.

laskettiin lisäksi yhtälöt erikseen pelkästään lannoitetuille koejäsenille. Tällöinkin tuloksena oli alaspäin aukeavat parabelit, kuten seuraavasta jaotelmasta havaitaan:

Vuosi	Yhtälö	T <sub>x</sub>	T <sub>x</sub> <sup>2</sup>	F-malli	Selitysaste, %
1982	y = 7,14x - 2,16x <sup>2</sup> - 4,84	2,02*	1,99*	2,14	8,7
1981	y = 5,90x - 1,83x <sup>2</sup> - 3,79	1,35	1,37	0,98	4,2

jossa y = sädekasvu ja x = neulasten typpipitoisuus.

Kertoimien T-arvot olivat merkitsevät tosin vain vuoden 1982 sädekasvusta lasketussa analyysissä ja selitysaste huonompi kuin taulukossa 9. Parabelin huippu vuoden 1982 aineistossa saavutettiin neulasten typpipitoisuuden arvolla 1,65 %, eli lähes samalla kuin taulukon 9 yhtälöissä.

Eri tutkimuksien mukaan turvemaiden männynntaimikoissa ja riukuasteen männikoissä neulasten optimityppipitoisuus on n. 1,5–1,6 % (ks. Paarlahti ym. 1971, Raitio 1978, Kaunisto 1982). Tulos on siis varsin yhdenmukainen aikaisempien tutkimusten kanssa. Tarkasteltaessa aineistoa kovarianssianalyysillä (liitetaulukko 5) kuvasi neulasten typpipitoisuuden ja kasvun välistä riippuvuutta jälleen kohoava suora. Syynä tulokseen ilmeisesti on se, että Rustarin kokeen neulasten korkeat typpipitoisuudet aiheutti-

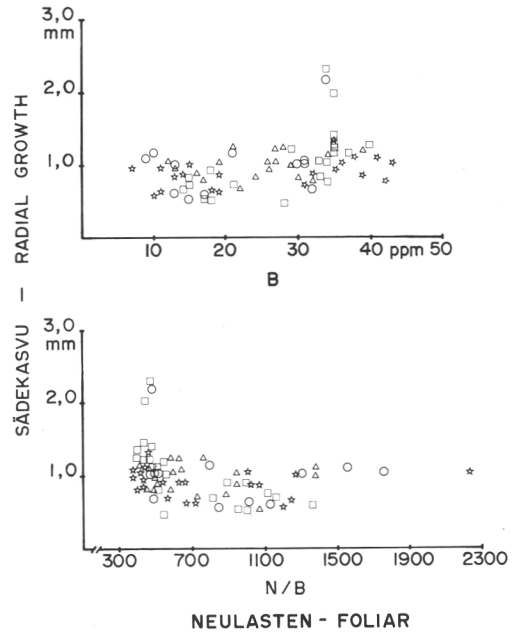
vat alasaukeavan parabelin muodon. Kovarianssianalyyssissä luokkamuuttuja, koe, poisti tämän vaikutuksen.

Neulasten fosforipitoisuuden ja kasvun välillä vallitsi positiivinen riippuvuus (kuva 8, taulukko 8, liitteet 4 ja 5). Pöykännevan kokeessa F-arvot olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä. Samoin selitysasteet nousivat verraten korkeiksi (liite 4). Koko aineistossa neulasten fosforipitoisuuden ja kasvun -81 välinen riippuvuus oli tilastollisesti erittäin merkitsevästi positiivinen (kuva 8, taulukko 8). Neulasten N/P-suhde kuvasi kasvun vaihtelua heikosti. Mallin selitysasteet jäivät erittäin alhaisiksi.

Neulasten ravinteista kalium selitti kasvun vaihtelua yleensä parhaiten (kuva 8, liitteet 4 ja 5, taulukot 8 ja 9). Kasvu lisääntyi kolmessa kokeessa selvästi neulasten kaliumpitoisuuksien kohotessa (liite 4). Vaikutus oli tilastollisesti joko merkitsevä tai erittäin merkitsevä. Varsinkin Pöykännevan kokeessa mallien selitysasteet olivat korkeita (liite 4). Pirttinevan ja Latonevan kokeessa vuoden 1981 sädekasvusta laskettu yhtälö oli malliltaan alaspäin aukeava parabeli. Suurin osa havainnoista sijaitsi kuitenkin parabelin nousavalla osalla, joten riippuvuutta voidaan pitää positiivisena. Koko aineistossa vuosien 1982 ja 1981 sädekasvun ja neulasten kaliumin korrelaatio oli käyräviivainen (taulukko 8, kuva 8). Kun poikkeavat, 1,8 mm suuremmat sädekasvut jätettiin pois laskennasta, muuttui riippuvuus kuitenkin suoraviivaiseksi (taulukko 9). Kummassakin aineistossa kasvu lisääntyi sekä 1982 että 1981 tilastollisesti erittäin merkitsevästi neulasten kaliumpitoisuuksien noustessa. Kovarianssianalyyssissä riippuvuutta kuvasi alaspäin aukeava parabeli, jonka huipun kaliarvot olivat kuitenkin aineiston ulkopuolella. Näin ollen voidaan todeta, että puiden sädekasvu lisääntyi neulasten kaliumpitoisuuden kohotessa.

Sädekasvu oli negatiivisesti riippuvainen neulasten N/K-suhteesta ja positiivisesti riippuvainen K/P-suhteesta viitaten siihen, että kaliumia on liian vähän tyypeen ja fosforiin verrattuna (taulukko 8, liitteet 4 ja 5). Selvimmin tämä näkyi Pöykännevan ja Rustarin kokeissa sekä yhteisanalyyssissä.

Neulasten booripitoisuus korreloi positiivisesti sädekasvun kanssa (kuva 9). Latonevan kokeessa riippuvuus oli tilastollisesti melkein merkitsevä vuoden 1982 neulasten booripitoisuuden ja sädekasvun välillä (liite



Kuva 9. Sädekasvun v. 1982 riippuvuus neulasten booripitoisuudesta ja N/B-suhteesta. Symbolit, kuten kuvassa 3.

Fig. 9. Dependence of the 1982 radial growth on the foliar boron levels and N/B ratio. Key as in Fig. 3.

4). Rustarin alueella sekä kaikkien kokeiden yhteisanalyyssissä vuonna 1982 riippuvuus oli erittäin merkitsevä.

Neulasten N/B-suhteen ja kasvun välinen yhteys oli epäselvä. Rustarin ja Pöykännevan kokeissa riippuvuutta kuvasi laskeva suora. Rustarissa mallin F-arvo oli tilastollisesti merkitsevä (liite 4). Latonevan kokeessa ja koko aineiston analyyssissä tilastollisesti merkitsevissä tapauksissa riippuvuutta kuvasi ylöspäin aukeava parabeli (liite 4). Käyrän minimi sijaitsi N/B-suhteen 1100–1300 tasolla, joten valtaosa aineistosta sijoittui parabelin alenevalle osalle (kuva 9, liite 5). Poistettaessa poikkeavat havainnot (kuva 9) Pöykännevan ja Rustarin aineistoista regressiomallien selitysasteet kohosivat kaikissa tapauksissa selvästi (taulukko 9).

Taulukossa 10 on esitetty tuloksia valikoi-vasta regressioanalyyssistä, jossa sädekasvun vaihtelua on selitetty yhtä aikaa kaikilla määritetyillä neulasten ravinteilla ja tärkeimmillä ravinnesuhteilla. Pöykännevan ja Latonevan kokeissa samoin kuin kaikkien kokeiden yhdistetyssä aineistossakin neulasten kaliumpitoisuus selitti vuoden 1982 säde-

Taulukko 10. Sädekasvun (mm) riippuvuus neulasten ravinteista. Mukana vain tilastollisesti merkitsevät tapaukset (riskitaso < 5 %). Valikoiva regressioanalyysi, jossa kaikki neulasten ravinteet ja ravinnesuhteet olivat mukana.

Table 10. Dependence of radial growth (mm) on foliar nutrient levels. Only the statistically significant cases are included (risk level < 5 %). Stepwise regression analysis. Included all the foliar nutrients nutrient ratios.

Koe Experiment	Selittävä muuttuja Independent variable	Vuosi Year	Regressiomuuttujat — Regression variables				Mallin Model F	Selitysaste, Coeff. det., %
			X Kerroin Coeff.	F	X <sup>2</sup> Kerroin Coeff.	F		
Latoneva	K, ‰	-82	0,16	3,30***	—	—	10,88**	37,5
	N, %	-81	0,63	2,38*	—	—	5,68*	23,8
Pirttineva	N, %	-82	0,55	1,74*	—	—	3,04	16,0
	N, %	-81	0,92	7,32***	—	—	4,97	38,3
Pöykänneva	N/K	—	-0,12	2,10*	—	—	—	—
	K, ‰	-82	—	—	0,03	21,58***	57,68***	92,0
Rustari	N/B	—	—	—	0,001	2,91**	—	—
	K, ‰	-81	—	—	0,02	6,10***	37,17***	78,8
Yhdistetty aineisto	K/P	-82	—	—	0,12	5,32***	28,34***	58,6
	K, ‰	-81	—	—	0,02	2,79**	7,79**	28,0
Combined material	N/P	-82	—	—	0,02	7,43***	27,76***	44,6
	K, ‰	-81	—	—	0,05	3,11***	—	—
					0,01	5,13***	26,37***	27,4

kasvun vaihtelua parhaiten. Rustarin kokeessa vuoden 1982 sädekasvua selitti parhaiten neulasten K/P-suhde, kun taas Pirttinevan koealueella neulasten typpipitoisuuden ja kasvun välinen korrelaatio oli kiintein. Viimemainitussa tapauksessa selitysaste jäi kuitenkin varsin pieneksi. Pöykännevan kokeessa kasvu oli vuonna -82 positiivisesti riippuvainen myös neulasten N/B-suhteesta.

Yhdistetyssä aineistossa kaliumin ja kasvun välinen positiivinen vuorosuhde ilmeni sekä vuoden 1981 että 1982 kasvuista laskeutuissa yhtälöissä ollen kumpanakin vuotena tilastollisesti erittäin merkitsevä. Lisäksi neulasten N/P-suhde vaikutti yhteisanalyyseissä v:n 1982 kasvuun positiivisesti.

### 334. Turpeen ravinnepitoisuudet sädekasvun selittäjinä

Turpeen ravinteiden ja puuston sädekasvun välisen riippuvuuden selvittämiseksi laskettiin regressioyhtälöt erikseen jokaisen turpeesta mitatun ravinnepitoisuuden ja kasvun välille sekä regressio- että kovarianssianalyyseillä. Laskennassa kokeiltiin sekä suoraviivaisia että parabelin muotoisia malleja. Regressioyhtälöt laskettiin vuosien 1973, 1978 ja 1982 sädekasvuista. Puuston ravinnetilanteen voidaan olettaa kyseisinä vuosina olleen jos-

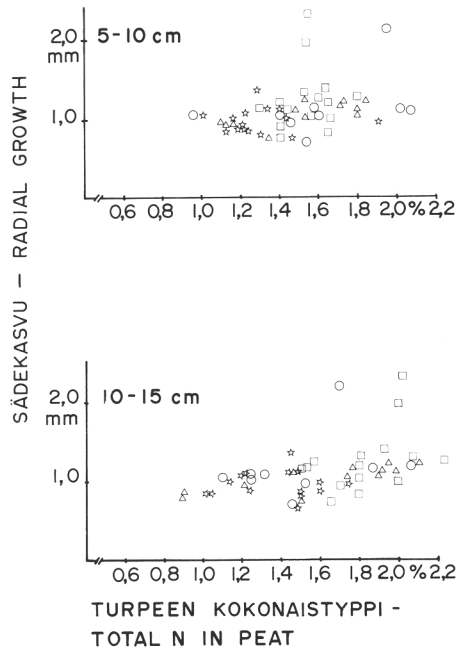
sain määrin erilainen. Vuonna 1973 sädekasvu oli vielä varsin hyvä Rustarissa, Latonevalla ja Pöykännevalla ja vain Pirttinevalla selvässä laskussa (kuva 6). Sen sijaan vuonna 1978 kasvu oli voimakkaasti laskemassa. Vuonna 1982 oli kasvussa jo havaittavissa jatkolannoituksen vaikutusta. Vuoden 1982 sädekasvusta on laskettu regressioanalyysit kokonais- ja ammoniumtypen osalta pelkästään jatkolannoitetuille koealoille, jotta voitaisiin eliminoida kaliumin puutoksen aiheuttama hajonta turpeen ominaisuuksien ja kasvun välistä riippuvuutta tarkasteltaessa (Kaunisto 1982).

Karuimmilla koealueilla (Latoneva ja Pöykänneva) puuston sädekasvu lisääntyi tilastollisesti merkitsevissä tapauksissa turpeen kokonaistyyppipitoisuuden kohotessa (liite 6). Latonevan kokeessa parhaiten kasvua selitti turpeen kokonaistyyppipitoisuus 5–10 cm:n turvekerroksessa, mutta mallien F-arvot olivat melkein merkitseviä myös selitettäessä kasvua turvekerrosten 0–5 ja 10–15 cm kokonaistyyppipitoisuuksilla (liite 6). Pöykännevan koealueella turpeen typpipitoisuuden vaikutus kasvuun oli jonkin verran epämääräisempi. Turpeen kokonaistyyppipitoisuus 0–5, 15–20 ja 20–25 cm:n turvekerroksissa selittivät sädekasvun vaihtelua tilastollisesti merkitsevästi (liite 6).

Rustarin kokeessa tilastollisesti merkitseviä riippuvuuksia esiintyi 5–10, 10–15 ja

15–20 cm:n kerroksesta mitatun kokonaistyyppipitoisuuden ja sädekasvun välillä (liite 6). Vuosien 1973 ja 1978 kasvujen ja turpeen kokonaistyyppipitoisuuden välistä riippuvuutta kuvasi ylöspäin aukeava parabeli. Syynä mallin muotoon oli kaksi poikkeuksellisen hyväkasvuista koelaa (vrt. kuva 10). Poistettaessa nämä havainnot käyräviivaisuus hävisi kummassakin tapauksessa.

Puiden sädekasvun ja turpeen kokonaistyyppipitoisuuden välinen riippuvuus oli selväpiirteisoin Pirttinevan kokeessa (liitetaulukko 6). Parhaiten sädekasvua selitti sielläkin turpeen tyyppipitoisuus 5–10 cm:n turvekerroksessa. Lähes yhtä hyvin kuvasi kasvun vaihtelua kokonaistyyppipitoisuus 0–5 ja 10–15 cm:n kerroksissa ja verrattain hyvin vielä kokonaistyyppipitoisuus 15–20 cm:n kerroksessakin. Turpeen tyyppin ja vuoden 1982 kasvun välinen regressio oli lineaarinen 5–10 ja 10–15 cm:n kerroksessa. Turpeen kokonaistyyppipitoisuuden 5–10 cm:n kerroksessa sekä vuosien 1973 ja 1978 kasvun välistä riippuvuutta kuvasi ylöspäin aukeava parabeli. Parabelin minimikohta asetui kuitenkin selvästi aineiston keskiarvon alapuolelle, joten varsinaisesti aineiston alueella kasvua kuvasi parabelin kohoava osa. Pirttinevan kokeessa mallien selitysasteet olivat selvästi korkeampia kuin muissa kokeissa.



Kuva 10. Vuoden 1982 sädekasvun ja 5–10 ja 10–15 cm:n turvekerroksista mitattujen kokonaistyyppipitoisuuksien väliset riippuvuudet. Aineisto sisältää vain lannoitetut koelalat. Symbolit, kuten kuvassa 3.  
Fig. 10. Dependence between the 1982 radial growth and total nitrogen in the 5–10 and 10–15 cm peat layers. The material includes only the fertilized sample plots. Key as in Fig. 3.

Taulukko 11. Regressioanalyysillä laskettu vuosien 1973, 1978 ja 1982 sädekasvun (mm) riippuvuus turpeen kokonaistyyppipitoisuudesta (%) kaikkien kokeiden yhteisanalyyseissä. Vuoden 1982 sädekasvun laskennassa mukana vain jatkolannoitetut koelalat.  
Table 11. Dependence of the 1973, 1978 and 1982 radial growth (mm) on peat total nitrogen content (%) in the joint analysis of all experiments as calculated with regression analysis. Only the refertilized sample plots were included in the calculation of the 1982 radial growth.

Kerros Layer	Vuosi Year	Yhtälö — Equation	T <sub>x</sub>	T <sub>x</sub> <sup>2</sup>	Mallin Model F	Selitysaste Coeff. det., %
0–5	-82	y= 0,20x+0,77	2,18*	—	4,74*	9,3
	-78	y= -0,03x +1,29	0,22	—	0,05	0,07
	-73	y= -0,46x+2,97	1,30	—	1,69	2,4
5–10	-82	y= 0,08x <sup>2</sup> +0,86	—	2,87***	8,22**	15,2
	-78	y= -2,67x+1,02x <sup>2</sup> +2,88	3,04***	3,42***	9,17***	21,0
	-73	y= 0,06x <sup>2</sup> +2,19	—	0,53	0,28	0,4
10–15	-82	y= 0,08x <sup>2</sup> +0,84	—	3,74***	14,00***	23,2
	-78	y= 0,02x <sup>2</sup> +1,21	—	0,48	0,23	0,3
	-73	y= -0,09x <sup>2</sup> +2,56	—	1,00	0,99	1,4
15–20	-82	y= 0,09x+0,88	1,27	—	1,62	3,4
	-78	y= 0,03x <sup>2</sup> +1,15	—	0,91	0,83	1,2
	-73	y= -0,02x <sup>2</sup> +2,40	—	0,26	0,07	0,1
20–25	-82	y= 0,14x+0,80	1,91*	—	3,67*	7,4
	-78	y= 0,05x <sup>2</sup> +1,10	—	1,38	1,89	2,6
	-73	y= 0,53x+1,39	1,75*	—	3,05*	4,2

Myös koko aineistosta lasketussa regressio-analyysissä sädekasvua selitti parhaiten turpeen kokonaistyyppipitoisuus 5–10 tai 10–15 cm:n kerroksissa (taulukko 11, kuva 10). Vuoden 1982 kasvusta lasketuissa yhtälöissä malliin tuli mukaan turpeen tyyppipitoisuuden neliö 5–10 ja 10–15 cm:n kerroksissa. Poistettaessa kolme poikkeavaa havaintoa (ks. kuva 10) riippuvuus muuttui kuitenkin suo-

raviivaiseksi (taulukko 12). Myös kovarianssianalyysillä laskettaessa turpeen tyyppipitoisuus 5–10 ja 10–15 cm:n kerroksissa selitti parhaiten sädekasvua (taulukko 13). Useissa tapauksissa riippuvuutta kuvasi ylöspäin aukeava parabeli. Kuten edellä Pirttinevan yhteydessä, jäi näissäkin tapauksissa ylöspäin aukeavien parabelien minimikohta aineiston äärirajalle, joten kasvua kuvasi lähinnä parabelin kohoava osa.

Taulukko 12. Regressioanalyysillä laskettu vuoden 1982 sädekasvun (mm) riippuvuus turpeen kokonaistyyppipitoisuudesta (%) kaikkien kokeiden yhteisanalyysissä. Mukana vain jatkolannoitetut koealat. Poistettu kolme poikkeavaa koealaa (ks. kuva 10).

Table 12. Dependence of the 1982 radial growth (mm) on peat total nitrogen (%) in the joint analysis of all experiments as calculated with regression analysis. Only the refertilized sample plots are included. Three deviating plots omitted (see Fig. 10).

Kerros Layer	Yhtälö — Equation	T <sub>x</sub>	Mallin Model F	Selitysaste Coeff. det., %
0–5	y=0,197x+0,77	2,18*	4,74*	9,3
5–10	y=0,253x+0,67	2,86	8,18**	15,2
10–15	y=0,238x+0,67	3,61	13,03***	22,1
15–20	y=0,092x+0,88	1,27	1,62	3,4
20–25	y=0,136x+0,80	1,91*	3,67*	7,4

Sädekasvun riippuvuus turpeen ammoniumtyypipitoisuudesta oli epämääräisempi kuin sen riippuvuus kokonaistyyppipitoisuudesta. Eri kerroksista mitatut ammoniumtyypipitoisuudet selittivät kasvun vaihtelua eri tavoin eri aikoina ja eri koealueilla (liite-taulukko 7, taulukot 14 ja 15). Koska ammoniumtyypipitoisuus kuvaa turpeen typpitalouden tilannetta näytteenottohetkenä ja koska sekä koepaikka että jatkolannoitus vaikuttivat sädekasvuun voimakkaasti, voitaneen luotettavimpina pitää vuoden 1982 kasvusta laskettujen kovarianssianalyysien tuloksia (taulukko 15). Taulukosta 15 todetaan, että turpeen ammoniumtyypipitoisuuden ollessa kovariaattina, mallin selitysaste kohosi pinnasta syvempiin turvekerrokseen siirryttäessä aina 10–15 cm:n turvekerrok-

Taulukko 13. Kovarianssianalyysillä laskettu vuosien 1973, 1978 ja 1982 sädekasvun (mm) riippuvuus turpeen kokonaistyyppipitoisuudesta (%) kaikkien kokeiden yhteisanalyysissä. Vuoden 1982 sädekasvun laskennassa puuttuvat poikkeavat koealat (ks. kuva 9) ja kaksinkertaisen kalianoksen saaneet koealat. Luokkamuuttujana v. 1982 koe ja lannoitus, muina vuosina vain koe. Selitysaste sisältää myös luokkamuuttujien vaikutukset.

Table 13. Dependence of the 1973, 1978 and 1982 radial growth (mm) on peat total nitrogen content (%) in the joint analysis of all experiments as calculated with the analysis of covariance. Deviating sample plots are excluded from the calculation of the 1982 radial growth (see Fig. 10) as well as the plots with a double dose of potassium. In 1982 the experiment and fertilization as a class variable, in other years only the experiment. The coefficient of determination includes also the influence of class variables.

Kerros Layer	Vuosi Year	Luokkamuuttujien F-arvot F values of class variables				Regressiomuuttujat — Regression variables					Selitysaste Coeff. det., %
		Koe	Lannoitus	Yhdysvaikutus Interaction	Kerroin Coeff. det., x	F <sub>x</sub>	Kerroin Coeff. det., x <sup>2</sup>	F <sub>x<sup>2</sup></sub>	F <sub>x+x<sup>2</sup></sub>		
										Experiment	
0–5	-82	1,19	34,54***	2,78*	0,152	2,44	—	—	—	92,4	
	-78	11,44***	—	—	0,466	0,20	-0,038	0,01	3,03	80,3	
	-73	25,96***	—	—	3,104	1,82	-0,646	0,71	7,36**	64,7	
5–10	-82	2,06	36,16***	2,26	-0,295	0,30	0,191	1,07	7,69**	94,1	
	-78	10,81***	—	—	-1,376	3,07	0,627	5,51*	1,07***	83,9	
	-73	26,28***	—	—	-1,414	0,54	0,794	0,47	6,24**	63,7	
10–15	-82	0,80	40,74	2,40*	-0,309	0,55	0,158	1,50	7,00**	94,0	
	-78	14,28***	—	—	-0,477	0,43	0,248	1,19	6,02**	81,8	
	-73	21,24***	—	—	-0,339	0,04	0,262	0,22	2,38	59,7	
15–20	-82	0,87	33,71***	3,48**	-0,013	0,00	0,044	0,12	2,62	93,2	
	-78	13,61***	—	—	-0,267	0,15	0,158	0,57	3,99	81,9	
	-73	21,86***	—	—	0,011	0,00	0,159	0,10	2,87	61,0	
20–25	-82	1,85	30,35***	2,53*	0,082	0,02	0,004	0,00	1,21	92,4	
	-78	8,24***	—	—	0,085	0,01	0,027	0,01	1,42	78,9	
	-73	18,61***	—	—	-0,706	0,12	0,37	0,38	2,66	59,4	

Taulukko 14. Regressioanalyysillä laskettu vuosien 1973, 1978 ja 1982 sädekasvun (mm) riippuvuus turpeen ammoniumtyppipitoisuudesta (mg/l) kaikkien kokeiden yhteisanalyysissä. Vuoden 1982 sädekasvun laskennassa mukana vain jatkolannoitetut koealat.

Table 14. Dependence of the 1973, 1978 and 1982 radial growth (mm) on peat ammonium nitrogen content (mg/l) in the joint analysis of all experiments as calculated with regression analysis. Only the refertilized sample plots included in the calculation of the 1982 radial growth.

Kerros Layer	Vuosi Year	Yhtälö — Equation	T <sub>x</sub>	T <sub>x</sub> <sup>2</sup>	Mallin Model F	Selitysaste Coeff. det., %
0-5	-82	$y=+0,015x-0,0003x^2+0,97$	2,16*	2,35*	2,77*	11,0
	-78	$y=-0,00007x^2+1,26$	—	1,22	1,49	2,1
	-73	$y=-0,01x+2,42$	1,19	—	1,42	2,0
5-10	-82	$y=-0,0001x^2+1,04$	—	0,53	0,28	0,6
	-78	$y=-0,006x+1,28$	0,76	—	0,57	0,8
	-73	$y=-0,03x+2,47$	1,30	—	1,69	2,4
10-15	-82	$y=0,006x+1,00$	1,64	—	2,68	5,5
	-78	$y=-0,02x-0,0003x^2+1,33$	0,90	0,45	1,13	3,2
	-73	$y=-0,0006x^2+2,37$	—	0,96	0,92	1,3
15-20	-82	$y=-0,00004x^2+1,04$	—	0,21	0,04	0,3
	-78	$y=-0,01x+1,36$	2,90***	—	8,42***	10,9
	-73	$y=-0,014x+2,43$	1,01	—	1,01	1,5

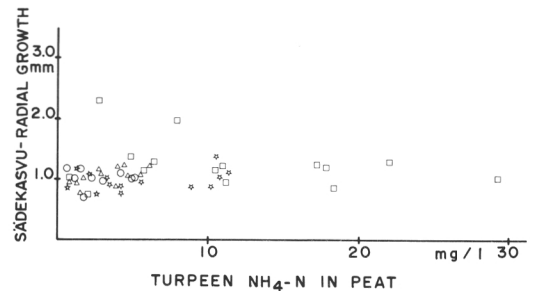
Taulukko 15. Kovarianssianalyysillä laskettu vuoden 1982 sädekasvun (mm) riippuvuus turpeen ammoniumtyppipitoisuudesta (mg/l) kaikkien kokeiden yhteisanalyysissä. Laskennassa puuttuvat poikkeavat koealat (ks. kuva 10) ja kaksinkertaisen kaliannoksen saaneet koealat. Luokkamuuttujina koe ja lannoitus. Selitysaste sisältää myös luokkamuuttujien vaikutukset.

Table 15. Dependence of the 1982 radial growth (mm) on peat ammonium nitrogen content (mg/l) in the joint analysis of all experiments as calculated with the analysis of covariance. Deviating sample plots are excluded from the calculation (see Fig. 10) as well as the plots with a double dose of potassium. The experiment and fertilization as a class variable. The coefficient of determination includes also the influence of class variables.

Kerros Layer	Luokkamuuttujien F-arvot F values of class variables			Regressiomuuttujat — Regression variables					Selitysaste Coeff. det., %
	Koe Experiment	Lannoitus Fertilization	Yhdysvaikutus Interaction	Kerroin Coeff. x	F <sub>x</sub>	Kerroin Coeff. x <sup>2</sup>	F <sub>x</sub> <sup>2</sup>	F <sub>x + x<sup>2</sup></sub>	
0-5	1,50	33,15	2,35*	0,006	1,29	-0,0001	1,17	0,64	92,3
5-10	1,23	32,99	2,75*	0,02	2,32	-0,0008	3,00	1,53	92,7
10-15	3,44*	42,99***	3,34**	0,0310	10,72**	-0,0011	10,43**	5,47**	93,6
15-20	2,47	32,81***	2,82	0,002	0,05	0,0000	0,00	0,26	92,4

seen saakka, joskin regressio vain viime mainituissa oli tilastollisesti merkitsevä. Jokaisessa tapauksessa kuvaajana oli alaspäin aukeava parabeli. Parabelin muoto kuitenkin johtui ilmeisesti muutamasta poikkeavasta havainnosta (kuva 11).

Aineistolla, joista kolme poikkeavaa havaintoa (ks. kuva 10) oli poistettu, pyrittiin selvittämään lisäksi, voitaisiinko turpeen typpipitoisuuden selitysastetta lisätä käyttämällä laskennassa eri tavoin koostettujen ja eri paksuisten turvekerrosten typpipitoisuuksien keskiarvoja selittävinä muuttujina. Laskenta suoritettiin sekä koalueittain että yhteisanalyysinä, mutta vain jälkimmäisissä analyysissä selitysaste oli samaa suuruus-



Kuva 11. Sädekasvun riippuvuus turpeen ammoniumtyppipitoisuudesta 10-15 cm:n kerroksessa. Mukana vain jatkolannoitetut koealat. Symbolit kuten kuvassa 3.

Fig. 11. Dependence of radial growth on peat ammonium nitrogen in the 10-15 cm peat layer. Included only refertilized plots. Key as in Fig. 3.

Taulukko 16. Regressioanalyysillä laskettu v. -82 sädekasvun (mm) riippuvuus turpeen tyyppistä. Näytteenottokerrokset yhdistetty eri tavoin. Aineisto sisältää kaikkien kokeiden lannoitetut koelat, lukuunottamatta kolmea poikkeavaa havaintoa (kuva 10).

Table 16. Dependence of the 1982 radial growth (mm) on peat nitrogen as calculated with regression analysis. Sampling layers combined in various ways. The material includes the fertilized sample plots of all experiments, except the three deviating observations (Fig. 10).

Turpeen omin. Peat property	Kerros Layer	Yhtälö — Equation	T <sub>x</sub>	T <sub>x</sub> <sup>2</sup>	Mallin Model F	Selitysaste Coeff. det., %
Kokonais-	0-10	y= 0,58x+0,35	2,93***	—	8,58***	14,9
Total	0-15	y= 0,57x+0,27	3,42***	—	11,72***	19,3
N, %	0-20	y= 0,49x+0,35	2,75***	—	7,54***	13,3
	5-15	y= 0,47x+0,38	3,27***	—	10,70***	19,9
	5-20	y= 0,39x+0,50	2,42**	—	5,84**	10,7
NH <sub>4</sub> -N	0-10	y= 0,003x+1,07	0,21	—	0,04	0,1
mg/l	0-15	y= 0,04x-0,002x <sup>2</sup> +0,93	1,69*	1,82*	1,65	6,7
	0-20	y= 0,008x+1,04	0,65	—	0,43	0,9
	5-15	y= 0,003x+1,07	0,21	—	0,04	0,1
	5-20	y=-0,009x+1,04	0,70	—	0,49	1,0

Taulukko 17. Regressioanalyysillä laskettu sädekasvun (mm) riippuvuus turpeen vaihtuvan kaliumin määrästä (mg/l) eri turvekerroksissa eri tavoin ryhmitellyissä aineistoissa. Mukana vain tilastollisesti merkitsevät tapaukset (ei yhtään jatkolannoitetuissa tai jatkolannoittamattomissa erikseen laskettaessa).

Table 17. Dependence of the 1982 radial growth (mm) on the amount of exchangeable potassium in peat (mg/l) in different peat layers and differently grouped materials as calculated with regression analysis. Only the statistically significant cases included. None of the refertilized or unfertilized cases calculated separately were significant.

Aineisto Material	Kerros Layer cm	Yhtälö — Equation	F <sub>x</sub>	F <sub>x</sub> <sup>2</sup>	Mallin Model F	Selitysaste Coeff. det., %
Kaikki	15-20	y=0,0267x-0,00023x <sup>2</sup> +0,39	15,58***	11,80***	9,20***	21,0
All	20-25	y=0,0192x-0,00016x <sup>2</sup> +0,57	9,76**	6,83*	5,77**	14,1
Kolme	10-15	y=0,0116x-0,00007x <sup>2</sup> +0,57	8,45	5,38	5,98**	15,4
hav.	15-20	y=0,0185x-0,00015x <sup>2</sup> +0,50	16,64	11,16	11,91***	26,5
poist. <sup>1)</sup>	20-25	y=0,0147x-0,00011x <sup>2</sup> +0,61	12,79	8,38	8,15**	19,8
Three samples aban- doned <sup>1)</sup>						

1) Poistettu havainnot, joissa sädekasvu v. 1982 > 1,8 mm. Ks. myös kuva 10.

1) Omitted observations with radial growth > 1.8 mm in 1982. See also Fig. 10.

luokkaa kuin käytettäessä yksittäisten kerrosten tyyppiä selittäjinä. Eri yhdistelmiä vertailtaessa havaitaan, että 5-15 cm:n turvekerroksesta mitattu kokonaistyyppi kuvasi parhaiten kasvun vaihtelua, mutta sekin kuitenkin jonkin verran huonommin kuin tyyppipitoisuus 10-15 cm:n kerroksessa (taulukot 16 ja 12).

Puuston sädekasvun riippuvuus turpeen vaihtuvan kaliumin määrästä oli varsin samantapainen kuin aikaisemmin todettu neulastenkin kaliumin riippuvuus tästä turpeen ominaisuudesta. Laskettaessa erikseen yhtä-

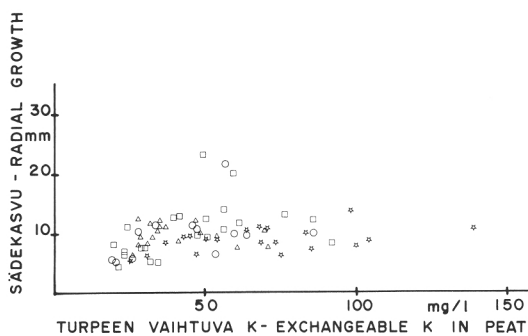
löt jatkolannoittamattomalle ja jatkolannoitetulle osa-aineistolle puuston sädekasvu ei vuonna 1982 ollut yhdessäkään tapauksessa riippuvainen turpeen vaihtuvan kaliumin määrästä. Sensijaan yhdistetyssä aineistossa vuorosuhdetta kuvasi alaspäin aukeava parabeli, mutta vain syvempien (10-25 cm) turvekerrosten kaliumpitoisuuden ollessa selittäjänä (taulukot 17 ja 18, kuva 12). Kuten neulasten kaliumin osalta todettiin, johtui parabelin muoto tässäkin tapauksessa jatkolannoittamattomien koelajien sijoittumisesta yksipuolisesti parabelin kohoavalle osalle

Taulukko 18. Kovarianssianalyysillä laskettu vuoden 1982 sädekasvun (mm) riippuvuus turpeen vaihtuvan kaliumin määrästä eri kerroksissa eri tavoin ryhmitellyissä aineistoissa. Luokkamuuttujana koelue. Selitysteeseen sisältyy myös luokkamuuttujan osuus.

Table 18. Dependence of the 1982 radial growth (mm) on the amount of exchangeable potassium in peat in different layers and differently grouped materials as calculated with the analysis of covariance. Experimental area as class variable. Only the statistically significant cases included. None of the refertilized or unrefertilized cases separately analyzed were significant. The coefficient of determination includes also the share of class variables.

Materiaali Material	Kerros Layer cm	Luokkam. Class var. F	Kerroin Coeff. x	Regressiomuuttujat — Regression variables F <sub>x</sub>	Kerroin Coeff. x <sup>2</sup>	F <sub>x<sup>2</sup></sub>	Mallin Model F	Selityste Coeff. of det., %
Kaikki All	0–5	0,97	0,0038	0,54	0,00001	0,34	0,48	4,8
	5–10	1,12	0,0079	2,48	–0,00003	1,43	2,29	9,8
	10–15	2,48	0,0194	11,49**	–0,00011	6,78*	7,98***	22,2
	15–20	1,54	0,0252	13,95***	–0,00020	8,70**	10,21***	26,2
	20–25	1,00	0,0192	9,64**	–0,00014	5,54*	6,76**	19,8
Kolme <sup>1)</sup> hav. pois- tettu Three samples abandoned	0–5	0,79	0,0036	1,08	–0,00001	0,56	1,39	6,31
	5–10	1,69	0,0068	4,2*	–0,00002	2,05	5,10**	18,7
	10–15	2,46	0,0129	10,92**	–0,00007	5,54*	9,18***	24,2
	15–20	1,69	0,0177	15,50***	–0,00013	8,50**	13,84***	32,1
	20–25	1,64	0,0153	13,95***	–0,00011	7,90**	9,93***	25,8

1) Poistettu havainnot, joissa sädekasvu v. 1982 > 1,8 mm. Ks. myös kuva 12.  
1) Omitted observations with radial growth > 1.8 mm in 1982. See also Fig. 12.



Kuva 12. Sädekasvun riippuvuus turpeen vaihtuvasta kaliumista 10–15 cm:n kerroksessa. Symbolit, kuten kuvassa 3.

Fig. 12. Dependence of radial growth on peat exchangeable potassium in the 10–15 cm layer. Key as in Fig. 3.

(kuva 13). Lannoitettaessa kaliumilla oli sädekasvun lisääntyminen lannoittamattomaan verrattuna riippumaton annetusta kaliumin määrästä.

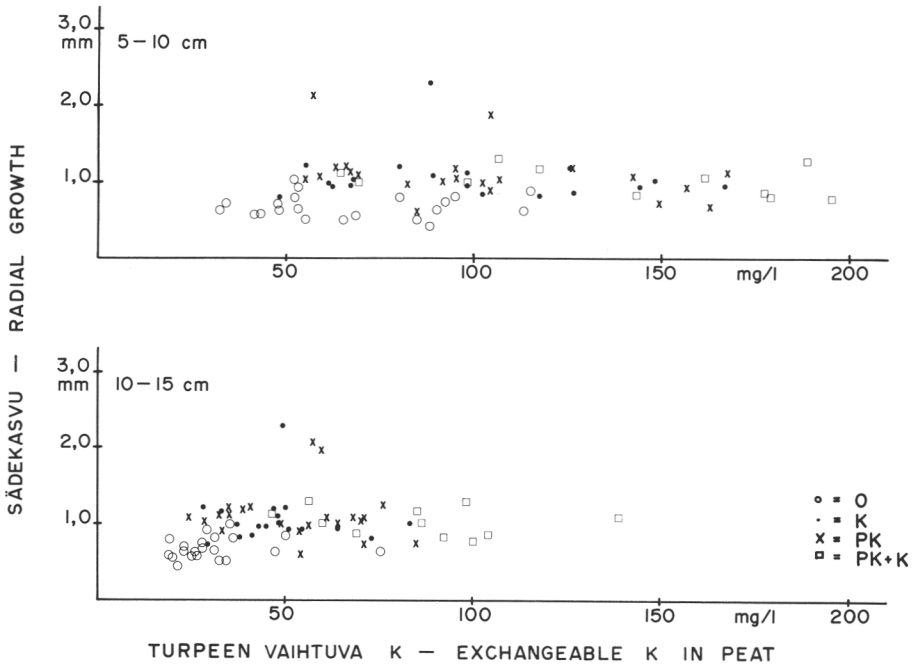
Sädekasvun riippuvuutta turpeen ominaisuuksista tarkasteltiin koelueittain ja yhdistettynä aineistona vielä valikoivalla regressioanalyysillä, jossa kaikki turpeen ominaisuudet ja niiden neliöt olivat yhtä aikaa selittävinä muuttujina. Taulukossa 19 on esitetty

analyseistä ainoastaan tilastollisesti merkitsevät tapaukset ja vain, mikäli useampi kuin yksi muuttuja on tullut malliin mukaan. Taulukosta 19 todetaan, että ainoastaan kahdessa tapauksessa on tullut kysymykseen monimuuttujamalli. Pirttinevan kokeen vuoden 1982 sädekasvua selitettäessä selitysteeseen koki erittäin korkeaksi.

### 34. Puuston vauriot

Varianssianalyysillä tutkittiin, onko lannoituskäsitteily aiheuttanut eroja puuston latvavaurioiden esiintymisessä. Jokaisen mitatun vauriolajin osalta testaus suoritettiin yksitellen. F-arvot ja selitysteeseen jäivät alhaisiksi eivätkä ainoassakaan tapauksessa olleet tilastollisesti merkitseviä.

Taulukkoon 20 on koottu tiedot eri vauriolajien esiintymisestä. Koska lannoituksella ei ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta vaurioiden esiintymiseen, on eri tavoin lannoitettujen koelajien tulokset yhdistetty. Männynversosyövän (*Gremmeniella abietina*) aiheuttamaa neulasten ruskettumista tavattiin jonkin verran enemmän lannoittamattomilla kuin lannoitetuilla koaloilla, mikä



Kuva 13. Sädekasvun riippuvuus turpeen vaihtuvasta kaliumista 5–10 ja 10–15 cm:n turvekerroksissa eri lannoituskäsitelyissä.

Fig. 13. Dependence of radial growth on exchangeable K in 5–10 and 10–15 cm peat layers in different fertilization treatments.

Taulukko 19. Vuoden 1982 sädekasvun (mm) riippuvuus turpeen ominaisuuksista. Mukana vain tilastollisesti merkitsevät tapaukset (riskitaso < 5 %). Valikoiva regressioanalyysi, jossa kaikki turpeesta analysoidut ominaisuudet olivat mukana. Sisältää vain lannoitetut koealat.

Table 19. Dependence of the 1982 radial growth (mm) on peat properties. Only the statistically significant cases included (risk level < 5 %). Regression analysis included all the analyzed peat properties. Includes only fertilized sample plots.

Koealue	Selittävä muuttuja	Kerros	Regressiomuuttuja — Regression variable	Mallin	Selaste	
Experiment	Independent variable	Layer	Kerroin Coeff.	F	Model F	Coeff. det., %
Pirttineva	Kok.N-Tot.N, %	10–15	0,11	2,83**	39,0***	95,7
	NH <sub>4</sub> -N, mg/l	10–15	0,03	3,44***		
	pH	0–5	–0,41	3,72***		
	Vaiht. K, mg/l	5–10	–0,003	7,52***		
Kaikki All	Exch. K, mg/l					
	NH <sub>4</sub> -N, mg/l	15–20	–0,007	4,98	11,07	71,4
	Vaiht. K-Exch. K, mg/l	15–20	0,014	10,47		
	Kok. N <sup>2</sup> -Tot. N <sup>2</sup> , %	5–10	0,095	10,50		
	Vaiht. K <sup>2</sup> -Exch. K <sup>2</sup> , mg/l	20–25	–0,00001	5,10		

mahdollisesti johtui puiden heikommasta kunnosta ensinmainituilla. Ero ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevää.

Normaalien puiden suurempi ja ennen jatkolannoitusta tapahtuneiden latvanvaihtojen vähäisempi osuus Latonevan, Pöykännevan

ja Pirttinevan lannoitetuilla koealoilla osoittaa, että jatkolannoittamattomat koealat olivat useammin osuneet koealueen huonommille osa-alueille. Rustarin kokeessa latvanvaihtojen esiintyminen erosi muista kokeista. Ennen jatkolannoitusta oli latvanvaihtojen

Taulukko 20. Männynversosyövän (*Gremmeniella abietina*) aiheuttamien neulasvaurioiden keskimääräinen osuus (silmävarainen arvio) koko latvuksen neulasmassasta ja neulasvaurioiden esiintyminen viimeisessä vuosikasvaimessa sekä pääversion vaihtuminen<sup>1)</sup> (%) ennen ja jälkeen jatkolannoituksen.

Table 20. Visually estimated average proportion of needle damage caused by *Gremmeniella abietina* in crowns, and in the current leader and leader changes<sup>1)</sup> before and after refertilization.

Vauriolaji Type of damage	Koe — Experiment							
	Latoneva		Pirttineva		Pöykänneva		Rustari	
	Lannoitta- maton	Lannoitettu	Lannoitta- maton	Lannoitettu	Lannoitta- maton	Lannoitettu	Lannoitta- maton	Lannoitettu
	Unfertilized	Fertilized	Unfertilized	Fertilized	Unfertilized	Fertilized	Unfertilized	Fertilized
Kuolleen neulaston osuus, % Prop. of dead needle mass in crown, %	22,6	16,5	13,5	12,0	19,6	14,5	17,8	12,7
Pääversion neulaset kuolleet, % Leader needles dead, %	31,2	23,9	14,7	14,0	26,7	25,0	12,0	9,5
Aikaisemmat vauriot <sup>1)</sup> Earlier damage <sup>1)</sup>								
1.	41,2	62,9	67,8	75,5	43,3	56,1	44,7	48,2
2.	36,4	28,1	24,8	20,0	33,3	27,2	28,1	37,0
3.	18,8	8,0	5,3	2,2	20,0	12,8	18,7	7,5
4.	3,8	1,3	2,2	2,3	3,3	3,9	8,3	7,4
Kuolleiden puiden osuus, % Prop. of dead trees	28,1	20,5	8,0	3,5	53,8	23,2	28,9	25,8

1) Aikaisemmat vauriot  
Earlier damage

1. Pääverso ei vaihtunut  
1. No leader change  
2. Pääverso vaihtunut ennen jatkolannoitusta  
2. Leader change before refertilization

3. Pääverso vaihtunut jatkolannoituksen jälkeen  
3. Leader change after refertilization  
4. Ei selvää elpymistä lannoituksen jälkeen  
4. No clear recovery after fertilization

esiintyminen ollut runsaampaa niillä koealoilla, jotka jatkolannoitettiin. Lannoituksen jälkeen latvanvaihtoja on tapahtunut selvästi vähemmän kuin vertailukoaloilla.

Myös muiden kokeiden lannoittamattomilla koealoilla latvanvaihdot jatkuivat. Kuolleiden puiden osuus oli suurempi vertailukoaloilla kuin lannoitetuilla.

#### 4. TARKASTELU

Eri metsänomistajaryhmien ilmoittamien arviolukujen (suullisia tietoja) perusteella avosoita on ojitettu Suomessa yhteensä noin 235 000 ha. Valtakunnanmetsien inventointien perusteella on aihetta olettaa, että pinta-ala on suurempikin (Ilvessalo 1955, Kuusela 1979). Joka tapauksessa pinta-ala on niin suuri, että näihin kohdistuvilla investoinneilla on taloudellista merkitystä.

Lannoitus on yleensä välttämätön kasvatettaessa metsää avosoilla. Tärkeimpiä lisättäviä ravinteita ovat tällöin fosfori ja kalium (Huikari & Paavilainen 1972, Paavilainen 1979). Luokiteltaessa kasvupaikkoja pintakasvillisuuden perusteella on todettu, että metsänkasvatuksessa tullaan toimeen ilman typpilannoitusta suursaraisilla ja sitä paremmilla suotyypeillä (esim. Huikari & Paar-

lahti 1966, Paavilainen 1979a ja b). Kauniston (1982) mukaan turpeen typpitaloutta puiden kasvun kannalta voidaan verrattain hyvin kuvata myös turpeen kokonaistyyppipitoisuudella. Myös tämän tutkimuksen tuloksissa voitiin todeta positiivinen korrelaatio turpeen kokonaistyyppipitoisuuden ja neulasten typpipitoisuuden sekä turpeen kokonaistyyppipitoisuuden ja sädekasvun välillä. Toisaalta voitiin todeta, että lannoitetuilla koealoilla jokaisessa tapauksessa neulasten typpipitoisuus oli korkeampi kuin Paarlahden ym. (1971) esittämä puutosraja (1,2–1,3 %), ja että 41 koealalla 49:stä neulasten typpipitoisuus oli Kauniston (1982) eräille mäntytaimikoille toteamalla optimialueella (1,5–1,6 %) tai sen yläpuolella.

Vaikka koealuiden luonnontilaiset suo-

tyypit olivat karuhkoja tai keskinkertaisia, puusto tuli toimeen verrattain hyvin pelkääntään turpeen luontaisen typen varassa. Myös peruslannoituksen vaikutusajan pituutta koskevat tulokset viittaavat keskimäärin kohtalaiseen typpitalouteen. Ainoastaan vähätyppisimmällä alueella Latonevalla vaikutuksen kesto jäi lyhyehköksi. Tällöin osasyynä saattoivat olla tarkastelujakson loppupuolella vallinneet epäedulliset sääolot.

Pöykännevalalla, Latonevalla ja Pirttinevalalla 5–10 cm:n turvekerroksen alimmat kokonaistyyppipitoisuudet olivat selvästi alempia kuin Kauniston (1982) mäntytaimikoille esittämät typpilannoitustarpeen raja-arvot, joten on todennäköistä, että vähätyppisimmillä koealoilla kasvua olisi kuitenkin voitu lisätä typpilannoituksella.

Parhaiten puiden sädekasvua selitti kokonaistyyppipitoisuus 5–10, 10–15 ja 5–15 cm:n kerroksissa. Ilmeisesti turvenäytteistä on syytä jättää pois elävän sammalkerroksen lisäksi myös turpeen pintakerros arvioitaessa kasvupaikan mahdollisuuksia tyydyttää puuston typen tarve. Lisäksi voitiin todeta, että 15 cm syvempien turvekerrosten typpipitoisuudet selvittivät huonosti kasvun vaihtelua.

Kuivatus ja lannoitus lisäävät mikrobitoimintaa ja siten orgaanisen aineksen hajoantumista, jolloin samalla tapahtuu typen konsentroitumista. Esim. Karsiston (1979) tutkimuksessa turpeen kokonaistyyppipitoisuus lannoittamattomalla koealalla oli 0–5 cm:n kerroksessa 1,49 %, 5–10 cm:n kerroksessa 1,26 % ja 10–20 cm:n kerroksessa vain 0,87 %, mutta tuhkalannoitetuilla vastaavasti 1,43 %, 0,96 % ja 0,96 %. On ilmeistä, että turpeen kokonaistyyppipitoisuus oli ojitushetkellä ollut verrattain alhainen, mutta ojituksen ansiosta mikrobitoiminta oli vilkastunut ja tyypeä konsentroitunut turpeen pintakerrokseen (0–10 cm).

Toisaalta lannoituksen aiheuttama puuston ja pintakasvillisuuden kasvunlisäys sitoo tyypeä ja näin turpeen typpipitoisuus saattaa alentua (5–10 cm:n kerros tuhalla lannoitetuilla koealoilla) lannoittamattomaan tilanteeseen verrattuna. Pyrittäessä arvioimaan kasvualustan potentiaalista kykyä tuottaa riittävästi tyypeä puustolle on sen vuoksi tärkeää tarkastella turpeen typpipitoisuutta myös syvemmällä profiilissa.

Tässä tutkimuksessa karuimmallakin koealueella, Latonevalla, turpeen keskimääräinen kokonaistyyppipitoisuus oli 10–15 cm:n

kerroksessa 1,38 % ja 15–20 cm:n kerroksessa 1,69 %, joten alueet olivat selvästi Karsiston (1979) aineistoa runsastyppisempiä. Turpeen typpipitoisuus lisääntyi verrattain tasaisesti pinnasta syvemmälle siirryttäessä. On luultavaa, että tämän tutkimuksen koealoilla ei ole samalla tavalla olemassa vaaraa typen puutoksesta tulevaisuudessa kuin Karsiston (1979) esittämässä aineistossa, vaan voidaan olettaa turpeen typpitalouden olevan pysyvästi keskimäärin kohtuullisen korkealla tasolla männyn kasvatusta ajatellen. Tulosten perusteella näyttää siltä, että vanhoilla avosoiden metsitysaloilla saatetaan tulla ilman typpilannoitusta toimeen jonkin verran karummilla suotyypeillä, pintakasvillisuuden perusteella arvioituna, kuin mitä tähän saakka on oletettu.

Koska kalilannoituksen vaikutus näyttää päättyvän fosforilannoitusta aikaisemmin käytettäessä nykyisten suositusten mukaisia ravinnesuhteita ( $P/K = 9/17$ ), kokeiltiin tutkimuksessa myös kaksinkertaista kaliumin määrää fosforiin verrattuna. Seurauksena oli erittäin selvä turpeen vaihtuvan kaliumin määrän kohoaminen normaaliin PK-lannoitukseen verrattuna koko 0–25 cm:n turvekerroksessa. Vaihtuvan kaliumin suhteellinen sekä Pöykännevan ja Rustarin aineistossa myös absoluuttinen lisääntyminen oli pienin 0–5 cm:n pintakerroksessa ja yleensä selvästi suurempi 10–25 kuin 5–10 cm:n kerroksessa. Pöykännevalalla ja Rustarissa suhteellinen lisääntyminen oli suurin syvimmässä (20–25 cm) analysoidussa kerroksessa.

Neulasten kaliumipitoisuus ja sädekasvu eivät olleet riippuvaisia turpeen vaihtuvan kaliumin määrästä, mikäli riippuvuutta tarkasteltiin erikseen lannoittamattomien ja lannoitettujen koealojen osa-aineistoissa. Kun aineistot yhdistettiin, tuloksena oli useissa tapauksissa alaspäin aukeava parabeli, jossa lannoittamattomien koealojen muita alhaisemmat sädekasvun, neulasten kaliumipitoisuuden ja vaihtuvan kaliumin määrän arvot aiheuttivat parabelin kohoavan osan. Lähes vastaavilla turpeen vaihtuvan kaliumin määrillä neulasten kaliumipitoisuus samoin kuin sädekasvukin olivat jatkolannoitetuilla koealoilla selvästi korkeammat kuin jatkolannoittamattomilla eivätkä lisääntyneet suurempaa kalimäärää käytettäessä, vaikka vaihtuvan kaliumin määrä turpeessa tällöin kohosi. Edelleen todettiin, että jatkolannoittamattomien ja jatkolannoitettujen koealojen

yhteisanalyysissä turpeen pintakerrosten (0–5 ja 5–10 cm) vaihtuvan kaliumin määrä selitti huonosti kasvun vaihtelua, kun taas syvempien turvekerrosten (10–15, 15–20 ja 20–25 cm) vaihtuvan kaliumin ja neulasten kaliumin ja sädekasvun välinen regressio oli kiinteä.

On mahdollista, että puut ovat nopeasti käyttäneet turpeen pintakerroksen lannoitekaliumista (0–10 cm) valtaosan ja varastoi-

neet sen neulasiin, kuoreen ja puuhun ja olivat inventointivaiheessa 4–5 vuotta jatkolannoituksen jälkeen paljolti kaliumin sisäisen kierron varassa. Vaihtuvan kaliumin määrän suhteellisesti korostuneemmat erot 10–25 cm:n kerroksessa 0–10 cm:n kerrokseen verrattuna viittaavat siihen, että vaihtuva kalium näissä kerroksissa on jo osittain huuhtoutunut puuston tavoittamattomiin.

## 5. PÄÄTELMÄT

Tulosten perusteella näyttää siltä, että alkuperäiseltä suotyypiltään karuhkoilla tai keskinkertaisilla avosoilla (LkSN-SSN) turpeesta mineralisoitunut typpi on turvannut puuston kohtuullisen typen saannin. Turpeen kokonaistyyppipitoisuudet 5–10, 10–15, 5–15 ja 0–15 cm:n kerroksessa selittivät parhaiten ja lähes samanarvoisesti neulasten tyyppipitoisuuden ja sädekasvun vaihteluna. Käytännössä lienee kuitenkin varmintä ottaa turvenäyte 5–15 cm:n kerroksesta, jolloin vältetään 0–5 cm:n kerroksen suuri satunnaisvaihtelu. Käyttämällä 10 cm:n paksuista kerrosta 5 cm:n paksuisen sijasta voitaneen jossain määrin vähentää näytteenoton tekniikasta aiheutuvaa hajontaa. Turpeen tyyppitalouden pitkän aikavälin ennustetta varten tarvitaan lisäksi turvenäyte syvempää, 20–30 cm:n turvekerroksesta, jonne ojituksen ja lannoituksen vaikutus ei yleensä vielä ole ulottunut.

Kaliumin puutos on kuitenkin useissa tapauksissa jo 10–15 vuoden sisällä rajoittanut puuston sädekasvua ja johtanut lopulta vaikeaan kaliumin puutostilaan, jossa osa puustosta on jopa kuollut. On ilmeistä, että metsitettyjen avosoiden puustojen kaliravitsemustilaan tulisi kiinnittää erityistä huomiota ja että 10 vuoden kuluttua lannoituksesta tarkkailua tulisi tehostaa jopa vuoden, kahden välein tapahtuvaksi, koska kaliumin

puutos johtaa muiden ravinteiden puutosta nopeammin puiden kuolemiseen.

Metsitetyt avosuot luokitellaan riukuasteella ja puuston kehityksen myöhemässä vaiheessa helposti rämeiksi. Koska kuitenkin avosuot ja rämeet näyttävät kalitaloudeltaan olevan varsin erilaisia, tulisi metsitetyt avosuot pysyvästi merkitä metsätaloukartoihin omana ryhmänään, jotta puuston ravinnetilannetta voitaisiin systemaattisemmin tarkkailla.

Kalilannoituksella sekä yksinään että fosforin kanssa annettuna puuston kaliumravitsemusta on voitu parantaa. Puusto on ottanut lannoitekaliumia tehokkaasti turpeen pintakerroksesta (0–10 cm) eikä neulasten kaliumpitoisuus sen paremmin kuin sädekasvukaan 4–5 vuoden kuluttua lannoituksesta ollut riippuvainen turpeesta olevan vaihtuvan kaliumin eikä myöskään lannoitteena annetun kaliumin määrästä tarkasteltaessa jatkolannoittamattomia ja jatkolannoitettuja koealoja erikseen. Sen sijaan lannoitekaliumia oli huuhtoutunut syvempiin (10–25 cm) turvekerroksiin ja mahdollisesti jo osittain puuston tavoittamattomiin sitä enemmän mitä enemmän lannoitekaliumia oli annettu. Tulos korostaa lannoitteena annettavan kaliumin määrää koskevien lisätutkimusten tarvetta.

## 6. TIIVISTELMÄ

### Aineisto

Tutkimuksessa on tarkasteltu puuston sädekasvun kehittymistä 1930-luvulla ojitetuilla ja metsitetyillä, luontaiselta ravinteisuudeltaan karuhkoilla ja keskinkertaisilla avosoilla 1950–1960-luvulla suoritettujen peruslannoitusten jälkeen sekä sädekasvun ja neulasten ravinnepitoisuuksien muutoksia kali- ja fosfori-kalijatkolannoituksen jälkeen. Tutkimuksen aineisto on kerätty neljältä Metsähallinnon Parkanon hoitoalueen maille 1978–1980 perustetulta kokeelta. Suotyyppi koalueilla vaihteli tupasvillanevasta suursaranevaan (taulukko 1). Turpeen kokonais- ja ammoniumtyppipitoisuus vaihtelivat verrattain laajoissa rajoissa (liite 1). Jatkolannoituksessa olivat vertailtavina seuraavat lannoituskäsittelyt: lannoittamaton, kalilannoitus (167 kg/ha kalisuolaa = 83,5 kg/ha K), fosfori-kalilannoitus (Suometsien PK-lannosta 500 kg/ha = 45 kg/ha P, 85 kg/ha K ja 1 kg/ha B), sekä edellinen ja lisäksi 167 kg/ha kalisuolaa. Koaloja oli yhteensä 72 ja mitattuja koepuita 1356.

### Tulokset

#### *Turpeen ominaisuudet*

Vaihtuvan kaliumin pitoisuus oli korkein 0–5 cm:n kerroksessa aleten poikkeuksetta 5 cm:n kerroksittain alaspäin siirryttäessä aina 20 cm:iin saakka (taulukko 3). Kalilannoitus lisäsi vaihtuvan kaliumin määrää aina 20–25 cm:n kerrokseen saakka tilastollisesti merkitsevästi. Normaalisiin PK-lannoitukseen verrattuna kaksinkertainen kaliannos lisäsi edelleen vaihtuvan kaliumin määrää kaikissa tutkituissa turvekerroksissa.

#### *Neulasten ravinnepitoisuudet*

Neulasten fosforipitoisuudet ja, Latonevan lannoittamattomia koaloja lukuunottamatta, myös neulasten typpipitoisuudet olivat selvästi kaikilla koalueilla kirjallisuudessa esitettyjen puutosrajojen yläpuolella (kuva 1). Sensijaan neulasten kaliumpitoisuus oli suhteessa typeen ja fosforiin selvästi alhainen (kuva 1).

Fosfori-, kali- ja boorilannoitus kohottivat vastaavasti näiden ravinteiden pitoisuuksia, neu-

lassissa joskaan ei kaikissa tapauksissa tilastollisesti merkitsevästi (kuva 1, liite 2). Neulasten N/P, N/K ja N/B-suhteet pienenevät lannoitettaessa vastaavasti fosforilla, kaliumilla ja boorilla (kuva 2, liite 2).

#### *Turpeen ominaisuuksien vaikutus neulasten ravinnepitoisuuksiin*

Neulasten typpipitoisuus lisääntyi turpeen kokonais- ja  $\text{NH}_4$ -typpipitoisuuden lisääntyessä (kuva 3, taulukot 4 ja 5). Parhaiten neulasten typpipitoisuutta selittivät 5–10, 10–15, 5–15 ja 0–15 cm:n turvekerroksista mitatut turpeen typpipitoisuudet (taulukot 4 ja 5).

Laskettaessa erikseen yhtälöt jatkolannoitetuille ja jatkolannoittamattomille koaloille turpeen vaihtuva kalium ei korreloinut neulasten kaliumpitoisuuden kanssa. Kaikkien lannoituskäsittelyjen yhteisanalyysissä neulasten kaliumpitoisuuden ja turpeen vaihtuvan kaliumin välistä vuorosuhdetta kuvasi tilastollisesti merkitsevissä tapauksissa useissa tapauksissa alaspäin aukeava parabeli (taulukot 6 ja 7, kuva 4). Yhtälön muoto tässä tapauksessa aiheutui jatkolannoittamattomien koalojen arvojen sijoittumisesta parabelin koavalle osalle (kuva 5). Samanlaisilla turpeen vaihtuvan kaliumin arvoilla neulasten kaliumpitoisuus oli selvästi korkeampi jatkolannoitetuilla kuin jatkolannoittamattomilla koaloilla.

#### *Peruslannoituksen vaikutus sädekasvuun*

Peruslannoitusta tarkasteltiin vain kultakin koéalalta mitatun viiden koepuun tietojen perusteella (yht. 360 koepuuta). Puiden sädekasvu kohosi yleensä jo ensimmäisenä vuotena lannoituksen jälkeen (kuva 6). Latonevalla sädekasvu kohosi jyrkästi kuutena peräkkäisen lannoitusta seuraavana kasvukautena ja laski 14:nä kasvukautena lannoitusta edeltäneelle tasolle. Pöykännevilla sädekasvun palautuminen lannoitusta edeltäneelle tasolle kesti 17, Pirttinevalla 23 ja Rustarissa 11–29 kasvukautta peruslannoituksesta riippuen (kuva 6). Tapauksissa, joissa peruslannoitus sisälsi sekä fosforia että kaliumia (Latoneva, Pöykänneva, osa Rustaria) puiden sädekasvu palautui lannoitusta edeltäneelle tasolle 11–17 vuoden kuluttua lannoituksesta (kuva 6).

Luonnollisesti on muistettava, että kuutiokasvu jatkuu sädekasvua pitempään. Sädekasvu noudatasti verrattain hyvin tehoisan lämpösumman muutoksia paitsi havaintojakson lopussa, jolloin voimakas kaliumin puutos ilmeisesti aiheutti kasvun heikkenemisen tehoisan lämpösumman lisääntymisestä huolimatta (kuva 6).

### *Jatkolannoituksen vaikutus sädekasvuun*

Jatkolannoitusta tarkasteltiin koko mitatun aineiston perusteella (1350 koepuuta). Jatkolannoitus kohotti jokaisessa tapauksessa puiden sädekasvua (kuva 7). Kasvun elpyminen oli kuitenkin hidasta ja vasta kolmantena tai neljäntenä vuotena tilastollisesti merkitsevä lannoittamattomaan verrattuna (liitetaulukko 3). Eri lannoituskäsittelyjen vaikutuksessa sädekasvuun ei ollut systemaattisia eroja, joten ainakaan tässä vaiheessa kaliumin suhteellisen määrän lisääminen fosforiin verrattuna ei ollut tarpeellista.

### *Neulasten ravinnepitoisuudet sädekasvun selittäjinä*

Vuonna 1982 oli aineistossa todettavissa kolme selvästi muita korkeampaa sädekasvuhavaintoa (kuva 8). Yhtälöt laskettiin sekä koko aineistolle (taulukko 8, liitetaulukko 4), että osa-aineistolle, josta kyseiset havainnot oli poistettu (taulukko 9).

Latonevan, Pirttinevan ja Pöykännevan koikeissa sädekasvu lisääntyi tilastollisesti merkitsevästi neulasten typpipitoisuuden kohotessa, mutta Rustarin aineistossa riippuvuus oli lievästi negatiivinen (liite 4). Kaikkien koelueiden yhdistetyssä aineistossa riippuvuutta kuvasi kohoava suora silloin, kun kaikki koelat olivat mukana, mutta alaspäin aukeava parabeli, kun poikkeavat kolme havaintoa oli poistettu aineistosta (taulukot 8 ja 9, kuva 8). Parabelin huipun arvot neulasten typpipitoisuudelle olivat 1,63 % vuonna 1981 ja 1,64 % vuonna 1982. Laskettaessa regressioanalyysi pelkästään jatkolannoitetusta osa-aineistosta, oli myös tuloksena alaspäin aukeava parabeli (ks. sivu 15). Parabelin huippupisteessä neulasten typpipitoisuus oli tällöin 1,61 % vuonna 1981 ja 1,65 % vuonna 1982. Laskettaessa yhtälö kovarianssianalyysillä, jossa paikka oli luokkamuuttujana neulasten typpipitoisuuden ja sädekasvun välinen riippuvuus oli suoraviivainen, mikä ilmeisesti johtui luokkamuuttujan mukaan ottamisesta laskentaan (liite 5).

Neulasten fosfori-, kalium- samoin kuin boori- pitoisuudenkin ja sädekasvun välillä vallitsi positiivinen riippuvuus (kuvat 8 ja 9, taulukot 8 ja 9,

liitetaulukot 4 ja 5). Parhaiten kaikista analysoiduista neulasten ravinteista selitti kasvun vaihtelua neulasten kaliumpitoisuus. Joissakin tapauksissa oli kuvaajana alaspäin aukeava parabeli. Kuitenkin vain muutamia havaintoja oli parabelin alenevalla osalla.

Sädekasvu lisääntyi K/P-suhteen kohotessa ja toisaalta N/K-suhteen pienetessä (taulukko 8, liitetaulukot 4 ja 5). Valikoivassa regressioanalyysissä, jossa sädekasvua selitettiin kaikilla neulasisista analysoiduilla ravinteilla tuli malliin mukaan useimmissa tapauksissa ainoastaan yksi muuttuja, neulasten kalium (taulukko 10).

### *Turpeen ravinteisuus sädekasvun selittäjänä*

Puiden sädekasvu lisääntyi turpeen kokonais- ja ammoniumtyppipitoisuuden kohotessa (liitteet 6 ja 7, taulukot 11–16, kuvat 10 ja 11). Eräissä tapauksissa malliin tuli mukaan vain turpeen typpipitoisuuden neliö (taulukko 11). Poistettaessa aikaisemmin mainitut poikkeavat havainnot (kuva 10) yhtälöt muuttuivat suoraviivaisiksi. Eräissä tapauksissa yhteyttä kuvasi ylöspäin aukeava parabeli (taulukko 13). Aineiston arvot olivat kuitenkin parabelin minimikohtaa pienempiä, joten turpeen typpipitoisuuden ja sädekasvun välistä yhteyttä kuvasi näissä tapauksissa parabelin kohoava osa. Turpeen kokonaistyyppipitoisuus selitti sädekasvun vaihtelua ammoniumtyppipitoisuutta paremmin. Parhaiten selitti kasvua turpeen kokonaistyyppipitoisuus 5–10, 5–15, 10–15 ja 0–15 cm:n kerroksissa (taulukot 12 ja 16).

Koko aineistoa koskevilla analyyseillä puiden sädekasvu vuonna 1982 oli kiinteästi riippuvainen turpeen kaliumpitoisuudesta 10–25 cm:n kerroksissa, mutta vain hyvin heikosti kaliumpitoisuudesta 0–10 cm:n kerroksissa (taulukot 17 ja 18, liitteet 8 ja 13, kuva 12). Tarkasteltaessa vuoro- vaikutusta erikseen jatkolannoitetussa ja jatkolannoittamattomassa osa-aineistossa ei kuitenkaan edes 10–25 cm:n turvekerroksissa tällaista riippuvuutta ollut havaittavissa.

Selitetessä sädekasvun vaihtelua kaikilla turpeesta mitatuilla ominaisuuksilla valikoivalla regressioanalyysillä samanaikaisesti ainoastaan kahdessa tapauksessa tuloksena oli monimuuttujamalli (taulukko 19).

### *Puuston vauriot*

Lannoitus ei ainoassakaan tapauksessa vaikuttanut puuston vaurioihin tilastollisesti merkitsevästi. Männyn versoruosteen vaurioita ja pääverson vaihtumisia esiintyi kuitenkin keskimäärin jonkin verran enemmän jatkolannoittamattomilla kuin jatkolannoitetuilla koeloilla (taulukko 20).

## KIRJALLISUUTTA

- Ahti, E. 1983. Fertilizer-induced leaching of phosphorus and potassium from peatlands drained for forestry. Seloste: Lannoituksen vaikutus fosforin ja kaliumin huuhtoutumiseen ojitetuilla soilla. Commun. Inst. For. Fenn. 111:1–20.
- Holmen, H. 1964. Forest ecological studies on drained peatland in the province of Upland, Sweden. Ponts I–III. Studia Forest Suecica 16:1–236.
- Huikari, O. & Paarlahti, K. 1966. Kivisuon metsänlannoituskokeet. Kenttäopas 46 p.
- & Paavilainen, E. 1972. Metsän lannoitus. Kirjayhtymä Helsinki. 68 s.
- Iivessalo, Y. 1955. Suomen metsävarat kolmen valtakunnan metsien arvioinnin valossa 1921–24 — 1951–53. Muutamia pääpiirteitä. Finlands skogstillgångar i belysning av tre riksskogstaxeringar 1921–24 — 1951–53. Några huvuddrag. The forest resources of Finland in the light of three national forest surveys in 1921–24 — 1951–53. Some essential data. Commun. Inst. For. Fenn. 43.4.
- Kaila, A. & Kivekäs, J. 1956. Distribution of extractable calcium, magnesium, potassium and sodium in various depths of some virgin peat soils. J. Scient. Agric. Soc. Finland 28(4):237–247.
- Karsisto, K. 1974. Ojituksen ja metsänlannoituksen vaikutus vesien saastumiseen. Metsäntutkimuslaitoksen Pyhäkosken tutkimusaseman tiedonantoja 13:1–33.
- 1976. Fosforilannoittelajit suometsien lannoituksessa. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja. 6/1976.
- Karsisto, M. 1979. Maanparannustoimenpiteiden vaikutuksista orgaanista ainetta hajottavien mikrobien aktiivisuuteen suometsissä. Osa II. Tuhkalannoituksen vaikutus. Summary: Effect of forest improvement measures on activity of organic matter decomposing micro-organisms in forested peatlands. Part II. Effect of ash fertilization. Suo 30, (4–5): 81–91.
- Kaunisto, S. 1982. Männyn istutustaimien kehityksen riippuvuus eräistä kasvualustan ominaisuuksista sekä muokkauksesta, kalkituksesta ja lannoituksesta avosoilla. Summary: Development of pine plantations on drained bogs as affected by some peat properties, site preparation, liming and fertilization. Commun. Inst. For. Fenn. 109:1–56.
- & Paavilainen, E. 1977. Response of Scots pine plants to nitrogen refertilization on oligotrophic peat. Seloste: Typpijatkolannoituksen vaikutus männyn taimien kehitykseen karulla turvealustalla. Commun. Inst. For. Fenn. 92(1):1–54.
- Kivinen, E. 1948. Suotiede. WSOY Porvoo—Helsinki 219 s.
- Kuusela, K. 1978. Suomen metsävarat ja metsien omistus 1971–1976. Summary: Forest resources and ownership in Finland 1971–1976. Commun. Inst. For. Fenn. 93(6): 1–107.
- Malcolm, D.C. & Cuttle, S.P. 1983. The application of fertilisers to drained peat. 1 Nutrient losses in drainage. Forestry 56. 155–176.
- & Cuttle, S.P. 1983. The application of fertilisers to drained peat. 2 Uptake by vegetation and residual distribution in peat. Forestry 56, 177–185.
- Paarlahti, K. 1976. Ravinteiden ja humuksen huuhtoutumisesta Piipsannevan hyrdologisella kokeella. Pyhäkosken tutkimusaseman tiedonantoja 15(7): 43–45.
- , Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. Seloste: Maa- ja neulasanalyysi turvemaiden männiköiden ravitsemustilan määrittämisestä. Commun. Inst. For. Fenn. 74.5:1–58.
- Paavilainen, E. 1972. Reaction of Scots pine on various nitrogen fertilizers on drained peatlands. Seloste: Typpilannoittelajien vaikutus männyn kasvuun metsäojitetuilla soilla. Commun. Inst. For. Fenn. 77.3: 1–46.
- 1976. Taimistojen lannoitus niukkaravinteisilla soilla. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 1(1976):1–43.
- 1976. Typpilannoitus ohutturpeisilla piensararämeillä. Summary: Nitrogen fertilization on shallow peated *Carex globularis* pine swamps. Folia For. 272:1–16.
- 1977. Jatkolannoitus vähäravinteisillä rämeillä. Ennakkotuloksia. Abstract: Refertilization on oligotrophic pine swamps. Preliminary results. Folia For. 327:1–32.
- 1979a. Jatkolannoitus runsastyypisillä rämeillä. Ennakkotuloksia. Summary: Refertilization on nitrogenrich pine swamps. Preliminary results. Folia For. 414:1–23.
- 1979b. Metsänlannoitusopas. Kirjayhtymä. Helsinki. 112 s.
- Penttilä, T. 1980. Neulasanalyysi turvemaan männikön jatkolannoitustarpeen määrittämisessä. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 5/1980:1–31.
- Puustjärvi, V. 1962a. Turpeen typen mobilisoinnista ja sen käyttökelpoisuudesta suometsissä neulasanalyysin valossa. Summary: On the mobilization of nitrogen in peat and on its usefulness in peatland forests in the light of needle analysis. Suo 1962(1): 2–11.
- 1962b. Suometsien fosforiravitsemuksesta ja neulasen P/N-suhteesta neulasanalyysin valossa. Summary: On the phosphorus nutrition of wet peatland forests and on the P/N-ratio in their needles. Suo 1962,(2):21–24.
- 1962c. Suometsien kaliumravitsemuksesta ja neulasen N/K-suhteesta neulasanalyysin valossa. Summary: On the potassium nutrition of wet peatland forests and on the N/K-ratio of the needles in the light of needle analysis. Suo 1962(3):36–40.
- 1965. Neulasanalyysi männyn lannoitustarpeen ilmentäjänä. Summary: The analysis of needles as an exponent for the need of fertilization of Scots pine. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 1:26–28.

- Raitio, H. 1978. Pääravinnelannoituksen vaikutus männyn neulasten rakenteeseen ja ravinnepitoisuuksiin ojitetulla karulla avosuolla. Parkanon tutkimusasetman tiedonantoja 7.5:1–9.
- 1981. Pääravinnelannoituksen vaikutus männyn neulasten rakenteeseen ja ravinnepitoisuuksiin ojitetulla lyhytkorsinevalla. Summary: Effect of macronutrient fertilization on the structure and nutrient content of pine needles on a drained short sedge bog. *Folia For.* 456:1–9.
- Tamm, C.O. 1956. Studier över skogens näringsförhållanden. IV. Effekten av kalium- och fosfortillförsell till ett oväxtligt bestånd på dikad myr. *Medd. Stat. Skogsforsk.* 46.7:1–27.
- Veijalainen, H. 1977. Use of needle analysis for diagnosing micronutrient deficiencies of Scots pine on drained peatlands. *Seloste: Neulasanalyysi männyn mikroravinnetilanteen määrittämisessä turvemailla.* *Commun. Inst. For. Fenn.* 92.4:1–32.
- 1979. Neulasanalyysi ja sen tulkinta erityisesti turvemaiden mäntypuustojen lannoitustarpeen määrittämisessä. *Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja* 10/1979:1–6.
- 1980. Eräiden hivenlannoitteiden käyttökelpoisuus suometsien lannoituksessa. Neulasanalyysiin perustuva tarkastelu. Summary: Usability of some micronutrient fertilizers in peatland forests. Report basing on needle analysis. *Folia For.* 477:1–15.
- Westmann, C.J. 1981. Fertility of surface peat in relation to the site type and potential stand growth. *Seloste: Pintaturpeen viljavuustunnukset suhteessa kasvupaikkatyyppiin ja puuston kasvupotentiaaliin.* *Acta For. Fenn.* 172:1–77.

*Total of 35 references*

## SUMMARY

### Introduction

In peat soils potassium is mainly in exchangeable form and easily leached in conditions of excessive moisture. Therefore wet bogs are usually quite poor in potassium.

Some bogs had already been drained and afforested either by sowing, or seeding by the border stand in the 1930s in the Parkano district of the State Board of Forestry. As the use of commercial fertilizers became more common, the slow initial growth of stands was accelerated in the 1950s by fertilizing with phosphorus and later with phosphorus and potassium. Even rather nitrogen poor bogs were afforested.

Owing to increased costs of nitrogen fertilizers, stricter fertilization recommendations were issued by the State Board of Forestry in the mid-1970s in order to restrict nitrogen fertilization on peatlands. Then, refertilization of forests only on sedge-rich or more nitrogen rich peatlands, having stands with dominant height of at least 5 meters, was allowed. Consequently, many old bog afforestation areas in the Parkano district were entirely excluded from refertilization since they were classified poorer than sedge-rich bogs. As the stands, which were fairly advanced, clearly past the pole stage, were explicitly suffering from potassium shortage, a decision was made to investigate the possibilities of growing them further by only fertilizing with potassium or with phosphorus and potassium.

### Material

#### *Experimental areas and fertilization*

There are four experimental areas, all of which are situated in the Parkano district of the State Board of Forestry. Pirttineva and Rustari have been afforested by sowing with pine. The other two areas have become afforested naturally by border stand or by sowing. Table 1 presents the coordinates of the experimental areas

and some background information. All the experimental areas are old drainage areas, most of which have already reached the state of transformed peatland i.e. they have reached full productivity after drainage and the ground flora compares with the corresponding site type on mineral soil.

The degree of humification increased steadily from the surface downward. The peat total nitrogen contents were scarce or moderate, although each experimental area included also some nitrogen-rich sample plots (App. 1). Apart from the Rustari area, the ammonium nitrogen contents were low. Peat was extremely acid in all the areas. Acidity varied only little in the samples from different depths.

Phosphorus or phosphorus and potassium had been applied at primary fertilization in the 1950s and 60s (Table 2). The areas were divided into 1400–1500 square meter sample plots for refertilization, which was carried out at Pirttineva in summer 1978, at Pöykänneva in autumn and spring 1979–80 and in the other two areas in spring 1980.

Pirttineva had three refertilization treatments: unfertilized control, potassium application (167 kg/ha of muriate of potash 83.5 kg of potassium) and phosphorus-potassium application (PK fertilizer for peatland forests 500 kg/ha = 45 kg of phosphorus, 85 kg of potassium and 1 kg of boron). The other experimental areas involved an additional fourth fertilization treatment with PK fertilizer for peatland forests with a double dose of potassium (500 kg/ha of PK-fertilizer, 0–9–17, + muriate of potash, 50 % K, 167 kg/ha). The number of sample plots and replications are in the following table:

Experiment	Sample plots, No.	Replications, No.
Latoneva	20	5
Pirttineva	18	6
Pöykänneva	12	3
Rustari	22	3–8
Total	72	

In addition some of the plots at Rustari were thinned, while some remained untreated.

## Measurements and calculation

Needle samples were collected from the second top whorl of branches of 5 trees in the centre of each plot in early spring 1982 and combined into one sample. Needle samples were analyzed for nitrogen, phosphorus, potassium and boron at Viljavuuspalvelu Oy (a commercial laboratory).

The other measurements were carried out in August–September 1982. In the centre of sample plots 15–20 sample trees were chosen by the angle-count method. The height and  $d_{1,3}$  of the sample trees were measured, increment cores from each sample tree extracted at breast height and the radial growth of the last 10 years measured. On each plot 4–5 trees were bored to the pith for determining the breast-height area of the stand and the effect of the primary fertilization by measuring the radial growth since 1952. Information on sample plots are seen in the following table:

Area	Sample trees	Breast-height		age yrs
		$d_{1,3}$	h	
Latoneva	370	14,0	10,0	39
Pirttineva	356	16,9	12,7	42
Pöykänneva	240	13,4	9,5	31
Rustari	390	12,9	10,0	31
Total	1356			

Symptoms of potassium shortage were no longer perceptible in the needles of trees on the fertilized sample plots. There, however, instead occurred leader changes according to which the sample trees were classified:

1. No leader change
2. Leader changed before refertilization
3. Leader changed after refertilization
4. No clear recovery after top drying

The live and dead trees on a 50 m<sup>2</sup>-area in the centre of the plots were counted.

After the cold and wet summer of 1981 the experimental areas had been contaminated by *Gremmeniella abietina*, whose damage to tree stands was visible in summer 1982. The proportion of needles browned by the disease was visually estimated on scale 0–100%. The browning of the leader needles was separately recorded.

Soil samples consisted of four different subsamples, systematically taken from different parts of the circular plot at the following depths: 0–5, 5–10, 10–15, 15–20 and 20–25 cm. Samples were taken from an even peat surface and the live moss layer was removed before dividing the profile into parts.

The peat samples were analyzed total nitrogen by using the Kjeldahl method, NH<sub>4</sub> nitrogen from 0.5 M KCl extract by distilling in alkaline MgO solution. For the determination of exchangeable potassium the extractant was acid (pH 4.8) ammonium acetate. Oven-dry peat was used except for NH<sub>4</sub>-N and pH determinations. Peat pH was determined in distilled water peat/water ratio by volume 1/5. Total nitrogen and exchangeable potassium were analyzed from each peat layer, NH<sub>4</sub> nitrogen and pH from the four uppermost layers.

One and two-way variance analysis was used for calculating the effect of fertilization on radial growth, the occurrence of various types of injuries and foliar nutrient levels. Dependences between the foliar nutrient

levels and radial growth as well as between peat properties and radial growth were tested with regression and covariance analyses. In the Latoneva, Pöykänneva and Pirttineva experiments the statistically significant differences between class variables were tested with the Tukey's w-procedure.

Only the refertilized sample plots were included for explaining the foliar nutrient contents and radial growth with peat total and ammonium nitrogen contents, as then the nutritional status of the stand was presumably balanced in regard to the other main nutrients. When the soil potassium content was used for explaining the foliar nutrient levels and radial growth, the calculation involved the whole material. Similarly, the whole material was used when explaining radial growth with the foliar nutrient levels. In some cases a few observations clearly differed from the main trend. The material was analyzed both with and without these observations.

## Results

### Peat properties

The highest amount of exchangeable potassium was found in the 0–5 cm layer, but it decreased steadily, down to 20 cm (Table 3). Potassium application increased the amount of exchangeable potassium down to the 20–25 cm layer with statistical significance. A double dose of potassium as compared to the normal PK fertilization further increased the amount of exchangeable potassium in all the investigated peat layers.

### Foliar nutrients

#### Effect of fertilization on foliar nutrient levels

The foliar phosphorus levels and, apart from the unfertilized sample plots at Latoneva, the foliar nitrogen levels were clearly above the deficiency limits as quoted in literature (Fig. 1.); where as the foliar potassium levels in relation to other nutrients were clearly lower (Fig. 1).

Phosphorus, potassium and boron applications increased the foliar levels of these nutrients, although not in all cases statistically significantly (Fig. 1, App. 2). The foliar N/P, N/K and N/B ratios decreased when fertilizing with phosphorus, potassium and boron respectively (Fig. 2, App. 2).

#### Effect of peat properties on foliar nutrient levels

The foliar nitrogen level increased with higher peat total and NH<sub>4</sub> nitrogen contents (Fig. 3, Tables 4 and 5). The foliar nitrogen level was best explained by the peat nitrogen contents in the 5–10 and 10–15 cm peat layers (Tables 4 and 5).

The exchangeable potassium in peat did not correlate with the foliar potassium levels on the unfertilized sample plots, but did slightly with potassium on referti-

lized sample plots when calculated separately. In the joint analysis of all the treatments, the relationship between the foliar potassium level and exchangeable potassium in peat in some cases was a downward parabola (Tables 6 and 7, Fig. 5).

## Radial growth

### Effect of primary fertilization on radial growth

The examination of the effects of primary fertilization was based on the information obtained from 5 sample trees per each plot (a total of 360 sample trees). Radial growth was usually stimulated in the year of application (Fig. 6). At Latoneva the radial growth increased in the six growing seasons following fertilization and declined to the prefertilization level on the 14th growing season. At Pöykänneva radial growth declined to the prefertilization level in 17 growing seasons, at Pirttineva in 23 and at Rustari in 11–29 depending on primary fertilization (Fig. 5). When both phosphorus and potassium were applied at primary fertilization, it took 11–17 years until radial growth of trees declined to the prefertilization level (Fig. 5). Radial growth followed quite well the fluctuations in the effective temperature sum, except at the end of the observation period when obviously a severe potassium shortage caused a continuous growth retardation despite the increase in the temperature sum (Fig. 6).

### Effect of refertilization on radial growth

The examination of refertilization is based on the whole measured material (1350 sample trees). Refertilization increased radial growth in each case (Fig. 7). Growth, however, recovered slowly and not until the third or fourth year was it statistically significant in comparison to the unfertilized trees (App. 3). The various fertilization treatments had no systematically differing effect on radial growth.

### Foliar nutrients explaining radial growth

The material in 1982 had three observations of radial growth that clearly surpassed the others (Fig. 8). The equations were calculated for the whole material (Table 8, App. 4) and for the part of the material, which excluded the three deviating observations (Table 9). Radial growth increased statistically significantly in the Latoneva, Pirttineva and Pöykänneva experiments as the foliar nitrogen level increased, but the material from Rustari showed a slightly negative dependence (App. 4). In the joint material of all the experimental fields, the dependence between these two factors was depicted by a rising line when all the sample plots were included, but by a downward opening parabola when the three deviating observations were omitted (Tables 8 and 9, Fig. 8). The foliar nitrogen values for the top of the parabola were 1.63 % in 1981 and 1.64 % in 1982. When the regression analysis was based only on the refertilized

part of the material, the result was also a downward opening parabola (see p. 15), in which case the foliar nitrogen content of the top point of the parabola was 1.61 % in 1981 and 1.65 % in 1982. When the equation was calculated with the analysis of covariance where the experiment was the only class variable, a linear model between the foliar nitrogen content and radial growth was achieved, which was obviously due to the inclusion of the class variable (App. 5).

There was a positive correlation between the foliar phosphorus, potassium or boron levels and radial growth (Figs. 8 and 9, Tables 8 and 9, Apps. 4 and 5). The foliar potassium level, explained best the growth variation. In some cases the line was a downward parabola. Radial growth increased as the K/P ratio increased and N/K ratio decreased (Table 8, Apps. 4 and 5). The model in the stepwise regression analysis where radial growth was explained by all the analyzed foliar nutrients included in most cases only one variable, foliar potassium (Table 10).

### Nutrient status of peat as explaining radial growth

The radial growth of trees improved as the peat total and ammonium nitrogen contents increased (Apps. 6 and 7, Tables 11–16, Figs. 10 and 11). In some cases the model included only the square of the peat nitrogen content (Table 11). When omitting the previously mentioned deviating observations (see also Fig. 10), the equations became linear. In some cases the dependence was depicted by an upward opening parabola (Table 13). The values of the material were, however, smaller than at the minimum points of the parabola so that the relationship between the peat nitrogen content and radial growth in these cases was shown by the rising part of the parabola. Variation in radial growth was explained better by the peat total nitrogen content than ammonium nitrogen. The total nitrogen content in the 5–10, 5–15, 10–15 and 0–15 layers best explained the growth (Tables 12 and 16).

The 1982 radial growth in the entire material had a solid correlation with the potassium content in the 10–25 cm peat layer, but not with the potassium content in 0–10 cm peat layer (Tables 17 and 18, App. 8, Figs. 12 and 13). When comparing the dependence of 1982 radial growth on the exchangeable potassium in peat separately in refertilized and unfertilized material no such dependence was found.

When the variation in radial growth was explained by all the measured peat properties simultaneously using the stepwise regression analysis, only two of the cases resulted in a multivariable model (Table 19).

### Damages to tree stands

In none of the cases had fertilization any statistically significant effect on damages. Yet, injuries caused by *Gremmeniella abietina* and the earlier leader changes occurred slightly more frequently on the average on the unfertilized than refertilized sample plots (Table 20).

## Conclusions

It seems that nitrogen mineralized from peat in bogs with originally rather poor or medium nitrogen status (site types ranging from small-sedge to tall-sedge bogs) provided adequate amounts of nitrogen for the stand. The total nitrogen contents in the 5–10, 10–15, 5–15 and 0–15 cm peat layers explained best and consistently the variation in foliar nitrogen content and radial growth. It would, however, be advisable to take a peat sample from the 5–15 cm layer in order to avoid the large random variation in the 0–5 cm layer. Variation caused by sampling technique can be diminished to some extent by using the 10 cm layer instead of the 5 cm layer for sampling. For a long-term prediction of peat nitrogen status, sampling should also include deeper 20–30 cm, layers which are still usually unaffected by drainage and fertilization.

In several cases, potassium shortage inhibited radial growth within 10–15 years, finally leading to a state of severe potassium shortage where part of the stand even died. Special attention should be paid to the potassium status of stands on afforested bogs. Ten years after fer-

tilization the follow-up should occur annually or every two years as potassium shortage will lead to the death of trees faster than other main nutrient shortages.

The afforested bogs in pole stage or later developmental stages will easily be classified as pine swamps. As bogs and pine swamps, however, differ in their potassium requirements, the afforested bogs should be classified as a separate group in forestry maps in order to ensure a more systematic observation of nutritional conditions.

Potassium fertilization with or without phosphorus improved the potassium status of the stand. The stand utilized well the fertilizer potassium in the surface peat layer (0–10 cm) and 4–5 years after the application neither the foliar potassium level nor radial growth on refertilized sample plots any longer depended on the amount of exchangeable potassium in peat or that of fertilizer potassium. Fertilizer potassium had, however, leached into deeper (10–25 cm) peat layers and was already perhaps partly unattainable by the stand, the more so with higher applications of fertilizer potassium. The results clearly show that there is need for additional investigations on the application rate of fertilizer potassium.

Liite 1. Turpeen kokonais- ja ammoniumtyypen määrä sekä pH (vedessä) eri kokeissa.  
*Appendix 1. Peat total and ammonium nitrogen contents and pH (in water) in the experiments.*

Koe Experiment	Mitattu suure Measured quantity	Kerros Layer	Min.	Max.	$\bar{x}$	Keskihajonta Standard deviation		
Latoneva	Kokonais-N Total N, %	0-5	0,87	1,49	1,12	0,15		
		5-10	0,85	1,89	1,25	0,23		
		10-15	1,04	1,75	1,38	0,22		
		15-20	1,11	2,17	1,69	0,30		
		20-25	1,40	2,16	1,86	0,20		
	NH <sub>4</sub> -N, mg/l	0-5	0,50	11,70	4,36	3,22		
		5-10	0,60	10,40	3,29	2,35		
		10-15	0,60	12,90	6,03	4,00		
		15-20	0,60	16,90	6,69	4,58		
		0-5	3,2	3,8	3,5	0,20		
	pH	5-10	3,2	3,9	3,5	0,21		
		10-15	3,1	3,6	3,4	0,15		
		15-20	3,1	3,7	3,5	0,19		
		0-5	1,08	2,03	1,51	0,27		
		Pirttineva	Kokonais-N Total N, %	5-10	0,78	2,02	1,50	0,34
10-15	0,89			2,39	1,63	0,47		
15-20	0,85			2,60	1,87	0,48		
20-25	0,85			2,35	1,82	0,48		
0-5	1,10			19,7	7,62	4,91		
NH <sub>4</sub> -N, mg/l	5-10		1,20	12,3	5,79	3,66		
	10-15		0,90	18,9	4,67	4,28		
	15-20		1,10	16,3	4,40	3,65		
	0-5		3,5	3,9	3,69	0,10		
	pH		5-10	3,5	3,9	3,64	0,10	
10-15			3,5	3,9	3,67	0,11		
15-20			3,6	3,9	3,71	0,08		
Pöykänneva			Kokonais-N Total N, %	0-5	0,91	2,06	1,38	0,31
				5-10	0,96	2,08	1,59	0,31
	10-15			1,10	2,07	1,46	0,29	
	15-20	0,95		2,00	1,57	0,28		
	20-25	0,97		2,22	1,62	0,34		
	NH <sub>4</sub> -N, mg/l	0-5	0,70	6,60	3,08	1,66		
		5-10	0,20	4,70	2,06	1,28		
		10-15	0,60	5,10	3,00	1,54		
		15-20	0,30	7,70	3,15	2,12		
		0-5	3,2	3,7	3,40	0,16		
	pH	5-10	3,2	3,5	3,35	0,09		
		10-15	3,2	3,9	3,43	0,18		
		15-20	3,2	3,6	3,36	0,12		
		Rustari	Kokonais-N Total N, %	0-5	1,33	1,91	1,54	0,14
				5-10	1,29	1,78	1,52	0,13
10-15	1,41			2,22	1,79	0,22		
15-20	1,65			1,98	1,83	0,11		
20-25	1,38			2,08	1,73	0,15		
NH <sub>4</sub> -N, mg/l	0-5		1,50	58,6	16,50	17,90		
	5-10		1,90	28,7	8,72	6,95		
	10-15		0,80	29,1	11,59	7,74		
	15-20		3,00	31,3	14,03	8,40		
	0-5		3,1	3,4	3,25	0,09		
pH	5-10		3,1	3,4	3,21	0,10		
	10-15		3,1	3,5	3,28	0,11		
	15-20		3,2	3,6	3,29	0,09		

Liite 2. F-arvot ja merkitsevyydet neulasten ravinnepitoisuuksista ja ravinnesuhteista lasketuissa varianssianalyseissa eri kokeissa.

*Appendix 2. F values and significances calculated with the analysis of variance for foliar nutrients and nutrient ratios in the experiments.*

Ravinne ja ravinnesuhde <i>Nutrient and nutrient ratio</i>	Koe — Experiment Pöykänneva Vaihtelun lähde — <i>Source of variation</i>						Rustari <i>Thinning</i>	Yhdysvaikutus <i>Interaction</i>
	Latoneva <i>Fertilization</i>	Pirttineva <i>Fertilization</i>	Toisto <i>Replicate</i>	Lannoitus <i>Fertilization</i>	Lannoitus <i>Fertilization</i>			
N	10,96***	0,88	4,33*	0,83	0,20	0,08	0,26	
P	11,88***	1,08	0,81	1,41	0,68	0,51	1,06	
K	14,48***	9,75**	0,73	3,47	9,23**	0,07	1,39	
B	56,83***	9,03**	3,48*	30,33***	7,62**	1,65	0,87	
N/P	1,20	2,91	3,25	0,04	2,29	2,41	2,89	
N/K	3,77*	8,44**	1,24	2,61	11,21***	0,21	0,78	
N/B	10,49***	6,78*	5,44*	26,33***	5,27*	1,56	0,56	
K/P	5,43**	6,92*	0,44	4,62*	8,12**	0,00	0,50	

Liite 3. F-arvot ja merkitsevyydet puiden sädekasvusta lasketuissa varianssianalyseissä eri kokeissa.

*Appendix 3. F values and significances calculated with the analyses of variance for the radial growth of trees.*

Vuosi <i>Year</i>	Koe — Experiment Pöykänneva Vaihtelun lähde — <i>Source of variation</i>						Rustari <i>Thinning</i>	Yhdysvaikutus <i>Interaction</i>
	Latoneva <i>Fertilization</i>	Pirttineva <i>Fertilization</i>	Toisto <i>Replicate</i>	Lannoitus <i>Fertilization</i>	Lannoitus <i>Fertilization</i>			
1982	4,40*	8,78**	4,76**	1,86	3,09*	0,06	0,09	
81	1,01	3,65*	3,72*	1,54	1,48	0,01	0,43	
80	0,66	0,76	2,43	1,75	0,22	0,31	0,93	
79	1,27	0,32	1,57	1,38	0,30	1,62	2,06	
78	1,50	0,34	1,66	0,68	0,52	3,35	1,96	
77	0,83	0,61	3,99*	0,71	0,65	1,53	1,35	
1976	0,77	0,20	2,99	1,27	0,66	1,72	2,24	

Liite 4. Regressioanalyysillä laskettu puiden sädekasvun (mm) riippuvuus neulasten ravinnepitoisuuksista ja ravinnesuhteista eri kokeissa.

Appendix 4. Dependence of radial growth (mm) on foliar nutrients and nutrient ratios in the experiments.

Koe Experiment	Ravinne tai ravin- nesuhde Nutrient or nutri- ent ratio	Vuosi Year	Yhtälö — Equation	T <sub>x</sub>	T <sub>x</sub> <sup>2</sup>	Mallin Model F	Selitysaste Coeff. det. %
Latoneva	N, %	-82	y= 0,82x-0,34	2,47*	—	6,08**	25,2
		-81	y= 0,63x-0,08	2,38*	—	5,68*	23,8
	P, ‰	-82	y= 0,15x <sup>2</sup> +0,41	—	2,33**	5,44*	23,2
		-81	y= 0,09x <sup>2</sup> +0,57	—	1,68	2,82	13,6
	K, ‰	-82	y= 0,16x-0,60	—	3,30***	10,88***	37,5
		-81	y= 0,26x-0,02x <sup>2</sup>	5,52***	2,06*	1,97	18,0
	B, ppm	-82	y= 0,8001x <sup>2</sup> +0,79	—	2,16*	4,65*	20,5
		-81	y= 0,00003x <sup>2</sup> +0,84	—	0,59	0,35	1,9
	N/P	-82	y=-0,013x+1,01	0,19	—	0,03	0,2
		-81	y= 0,015x+0,75	0,26	—	0,07	0,4
	N/K	-82	y=-0,060x <sup>2</sup> +1,41	—	2,67**	7,13**	28,4
		-81	y=-0,020x <sup>2</sup> +1,04	—	0,99	0,98	5,2
	N/B	-82	y=-0,0007x+0,0000003x <sup>2</sup> +1,24	2,26*	2,01*	2,73	24,3
		-81	y= 0,0003x <sup>2</sup> +0,85	—	0,81	0,66	3,5
K/P	-82	y= 0,27x+0,11	2,02*	—	4,09*	18,5	
	-81	y= 0,11x+0,55	0,96	—	0,92	4,9	
Pirttineva	N, %	-82	y= 0,55x+0,11	1,74	—	3,04	16,0
		-81	y= 0,83x-0,27	2,13*	—	4,56*	22,2
	P, ‰	-82	y= 0,20x+0,57	0,99	—	0,98	5,8
		-81	y= 0,13x+0,79	0,49	—	0,24	1,5
	K, ‰	-82	y= 0,07x+0,64	1,44	—	2,06	11,4
		-81	y= 0,36x-0,03x <sup>2</sup>	2,05*	4,81***	1,31	14,10
	B, ppm	-82	y= 0,0001x <sup>2</sup> +0,92	—	0,85	0,72	4,3
		-81	y= 0,0002x <sup>2</sup> +0,95	—	1,04	1,08	6,3
	N/P	-82	y= 0,003x+0,96	0,07	—	0,01	0,03
		-81	y= 0,027x+0,84	0,53	—	0,28	1,7
	N/K	-82	y=-0,0057x <sup>2</sup> +1,05	—	0,87	0,76	4,5
		-81	y=-0,0078x <sup>2</sup> +1,15	—	0,94	0,88	5,2
	N/B	-82	y= 0,00009x <sup>2</sup> +0,98	—	0,11	0,01	0,08
		-81	y= 0,0003x <sup>2</sup> +1,04	—	0,24	0,06	0,4
K/P	-82	y= 0,03x <sup>2</sup> +0,83	—	1,11	1,23	7,1	
	-81	y= 0,05x <sup>2</sup> +0,78	—	1,58	2,49	13,4	
Pöykän- neva	N, %	-82	y= 0,58x <sup>2</sup> -0,45	—	2,22*	4,91*	29,9
		-81	y= 0,39x <sup>2</sup> -0,10	—	2,22*	4,95*	33,10
	P, ‰	-82	y= 0,58x <sup>2</sup> -1,13	—	4,34***	18,85***	65,3
		-81	y= 0,41x <sup>2</sup> -0,60	—	4,78***	22,82***	69,5
	K, ‰	-82	y= 0,03x <sup>2</sup> +0,16	—	8,54***	72,94***	85,3
		-81	y= 0,02x <sup>2</sup> +0,36	—	6,10***	37,17***	78,8
	B, ppm	-82	y= 0,0004x <sup>2</sup> +0,77	—	1,51	2,27	18,5
		-81	y= 0,0003x <sup>2</sup> +0,76	—	1,35	1,83	15,5
	N/P	-82	y=-0,0079x <sup>2</sup> +1,57	—	0,58	0,34	3,3
		-81	y=-0,0006x <sup>2</sup> +1,33	—	0,65	0,42	4,1
	N/K	-82	y=-0,339x-0,042x <sup>2</sup> +7,37	3,18***	2,73*	10,78**	70,6
		-81	y=-0,232x+0,029x <sup>2</sup> +5,2	2,77**	2,43*	7,09**	61,2
	N/B	-82	y=-0,0001x+1,13	0,42	—	0,18	1,8
		-81	y=-0,00006x+0,97	0,31	—	0,10	0,9
K/P	-82	y= 0,17x <sup>2</sup> -0,26	—	5,91***	34,92***	77,7	
	-81	y= 0,10x <sup>2</sup> +0,13	—	4,09***	16,76***	62,6	
Rustari	N, %	-82	y=-0,20x <sup>2</sup> +1,66	—	0,81	0,66	3,2
		-81	y=-0,04x <sup>2</sup> +0,92	—	0,21	0,04	0,2
	P, ‰	-82	y=-0,13x+1,28	0,22	—	0,05	0,2
		-81	y= 0,04x <sup>2</sup> +0,70	—	0,38	0,14	0,7
	K, ‰	-82	y= 0,04x <sup>2</sup> +0,29	—	4,66***	21,69***	52,0
		-81	y= 0,02x <sup>2</sup> +0,44	—	2,79**	7,79**	28,0
	B, ppm	-82	y= 0,0006x <sup>2</sup> +0,51	—	3,44***	11,84***	37,2
		-81	y= 0,0003x <sup>2</sup> +0,54	—	2,29*	5,25*	20,8
	N/P	-82	y=-0,37x+1,42	0,29	—	0,08	0,4
		-81	y=-0,42x+1,23	0,50	—	0,25	1,2
	N/K	-82	y=-0,311x+2,29	4,38***	—	19,17***	48,9
		-81	y=-0,145x+1,39	2,53**	—	6,41**	24,3
	N/B	-82	y=-0,0009x+1,67	3,09***	—	9,58**	32,4
		-81	y=-0,0004x+1,06	1,63	—	2,67	11,8
K/P	-82	y= 0,12x <sup>2</sup> +0,19	—	5,32***	28,34***	58,6	
	-81	y= 0,06x <sup>2</sup> +0,42	—	2,78**	7,70**	27,8	

Liite 5. Kovarianssianalysillä laskettu vuosien 1982 ja 1981 sädekasvun (mm) riippuvuus neulasten ravinnepitoisuuksista ja ravinnesuhteista. Luokkamuuttujana koe. Sisältää kaikki koalat kolmea poikkeavaa lukuunottamatta (ks. esim. kuva 8). Selitysaste sisältää myös luokkamuuttujan vaikutuksen.

*Appendix 5. Dependence of the 1982 and 1981 radial growth (mm) on foliar nutrient levels and nutrient ratios as calculated with the analysis of covariance. The experiment as class variable. Includes all the sample plots except the three deviating ones (see e.g. Fig. 8). Coefficient of determination includes also the influence of class variables.*

Ravinne tai ravinnesuhde <i>Nutrient or nutrient ratio</i>	Vuosi <i>Year</i>	Luokkamuuttuja <i>Class var.</i> F	Regressiomuuttujat — <i>Regression variables</i>				Selitysaste <i>Coeff. det.</i> %
			Kerroin <i>Coeff.</i> x	F <sub>x</sub>	Kerroin <i>Coeff.</i> x <sub>2</sub>	F <sub>x<sup>2</sup></sub>	
N, %	82	0,34	0,237	1,06	—	—	78,2
	81	10,01***	0,419	4,90**	—	—	85,0
P, ‰	82	0,34	0,258	2,59	—	—	78,7
	81	3,68*	0,279	4,39*	—	—	84,9
K, ‰	82	3,84	0,470	4,43*	-0,032	1,85	19,82***
	81	7,54***	0,291	1,79	-0,021	0,81	6,94**
B, ppm	82	1,66	-0,027	2,45	0,0007	4,61*	9,39***
	81	10,76***	-0,032	4,12*	0,0007	5,34*	4,16*
N/P	82	0,56	-0,029	0,62	—	—	78,1
	81	4,35**	-0,017	0,32	—	—	83,9
N/K	82	4,35**	-0,180	0,72	0,00079	0,00	14,00***
	81	6,90***	0,018	0,01	-0,012	0,25	3,63*
N/B	82	1,00	-0,0011	16,44	0,45x10 <sup>-6</sup>	13,20***	8,86***
	81	9,33***	-0,0007	7,60	0,32x10 <sup>-6</sup>	7,98**	4,00*

Liite 6. Regressioanalyysillä laskettu vuosien 1973, 1978 ja 1983 sädekasvun (mm) riippuvuus turpeen kokonaistyyppipitoisuudesta (%) eri kokeissa. Vuoden 1982 sädekasvun laskennassa mukana vain jatkolannoitetut koealat.

Appendix 6. Dependence of the 1973, 1978 and 1982 radial growth (mm) on peat total nitrogen content (%) in different experiments as calculated with regression analysis. Only the refertilized sample plots included in the calculation of the 1982 radial growth.

Koe Experiment	Kerros Layer	Vuosi Year	Yhtälö Equation	$T_x$	$T_{x^2}$	Mallin Model F	Selitysaste Coeff. det., %
Latoneva	0-5	-82	$y = -0,04x + 1,02$	0,14	—	0,02	0,1
		-78	$y = 0,53x + 0,74$	1,74	—	3,03	14,4
		-73	$y = 1,13x^2 + 1,57$	—	2,38*	5,68*	24,0
	5-10	-82	$y = -0,02x + 1,00$	0,11	—	0,01	0,1
		-78	$y = 0,18x^2 + 0,11$	—	1,87*	3,50*	16,3
		-73	$y = 0,67x^2 + 1,95$	—	2,56**	6,54**	26,7
	10-15	-82	$y = 0,03x + 0,93$	0,16	—	0,03	0,2
		-78	$y = 0,13x^2 + 1,09$	—	1,74*	3,02	14,4
		-73	$y = 0,59x^2 + 0,19$	—	2,12*	4,51*	20,0
	15-20	-82	$y = 2,27x - 0,68x^2 - 0,86$	1,61	1,62	1,31	17,9
		-78	$y = 0,05x^2 + 1,19$	—	1,07	1,15	6,0
		-73	$y = 0,26x^2 + 2,27$	—	1,43	2,05	10,2
	20-25	-82	$y = 4,48x - 1,23x^2 - 3,05$	1,37	1,35	1,01	14,5
		-78	$y = 0,06x + 1,23$	0,26	—	0,07	0,4
		-73	$y = 0,48x + 2,13$	0,52	—	0,27	1,5
Pirtineva	0-5	-82	$y = 3,97x - 1,26x^2 - 2,00$	3,15**	3,12**	4,96*	52,3
		-78	$y = 0,17x^2 - 0,84$	—	2,57*	6,59**	29,2
		-73	$y = 0,22x^2 + 1,11$	—	1,81*	3,27	17,0
	5-10	-82	$y = 0,40x + 0,43$	3,54***	—	12,50**	55,6
		-78	$y = -3,07x + 1,24x^2 + 2,92$	3,42***	4,03***	18,85***	71,5
		-73	$y = -5,69x + 2,11x^2 + 5,18$	2,64**	2,85**	5,27*	41,3
	10-15	-82	$y = 0,26x + 0,63$	3,42***	—	11,68**	53,9
		-78	$y = 0,11x^2 + 0,91$	—	3,25***	10,57**	39,8
		-73	$y = 0,08x^2 + 1,39$	—	1,07	1,14	6,7
	15-20	-82	$y = 0,16x + 0,73$	1,77	—	3,15	23,9
		-78	$y = 0,08x^2 + 0,96$	—	2,07*	4,27*	21,1
		-73	$y = 0,05x^2 + 1,45$	—	0,68	0,46	2,8
	20-25	-82	$y = 0,16x + 0,76$	1,94*	—	3,77	27,4
		-78	$y = 0,06x^2 + 1,02$	—	1,52	2,30	12,6
		-73	$y = 0,08x^2 + 1,34$	—	1,13	1,28	7,4
Pöykänneva	0-5	-82	$y = 0,62x + 0,29$	1,59	—	2,53	26,6
		-78	$y = 0,30x + 1,11$	0,93	—	0,86	7,9
		-73	$y = 0,59x^2 + 1,54$	—	3,10**	9,61**	49,0
	0-10	-82	$y = 0,54x + 0,29$	1,39	—	1,92	21,6
		-78	$y = 0,16x^2 + 1,08$	—	1,78*	3,17	24,1
		-73	$y = 1,25x + 0,73$	1,79	—	3,21	21,2
	10-15	-82	$y = 0,46x + 0,46$	1,03	—	1,05	13,1
		-78	$y = 0,57x + 0,68$	1,87*	—	3,50	9,2
		-73	$y = 1,14x + 0,73$	1,86*	—	3,47	25,8
	15-20	-82	$y = 0,23x + 0,80$	0,46	—	0,21	2,9
		-78	$y = 0,15x^2 + 1,13$	—	1,29	1,65	14,2
		-73	$y = 0,64x^2 + 1,10$	—	2,92**	8,50**	45,9
	20-25	-82	$y = 0,35x + 0,59$	0,93	—	0,87	11,1
		-78	$y = 0,22x + 1,14$	0,77	—	0,60	5,7
		-73	$y = 0,52x^2 + 1,30$	—	3,57***	12,77**	56,1
Rustari	0-5	-82	$y = 0,47x + 0,55$	0,43	—	0,19	1,4
		-78	$y = -0,24x + 1,40$	0,58	—	0,34	1,7
		-73	$y = -0,12x + 2,22$	0,22	—	0,05	0,2
	5-10	-82	$y = 0,17x + 1,00$	0,20	—	0,04	0,3
		-78	$y = -0,08x^2 + 0,85$	—	0,58	0,34	1,7
		-73	$y = -25,41x + 8,31x^2 + 21,34$	2,26*	2,27*	2,61	21,6
	10-15	-82	$y = 0,76x - 0,14$	1,55	—	2,40	15,6
		-78	$y = -8,63x + 2,40x^2 + 8,71$	2,38*	2,37*	2,83	23,0
		-73	$y = -17,05x + 4,71x^2 + 17,28$	4,03***	3,99***	8,19***	46,3
	15-20	-82	$y = 67,10x - 18,62x^2 - 58,94$	1,73	1,75*	2,14	26,3
		-78	$y = 0,13x^2 + 0,56$	—	0,96	0,92	4,6
		-73	$y = 0,19x^2 + 1,40$	—	0,95	0,89	4,5
	20-25	-82	$y = 0,17x + 1,55$	0,25	—	0,06	0,5
		-78	$y = 0,08x + 0,89$	0,21	—	0,04	0,2
		-73	$y = 0,31x + 1,54$	0,55	—	0,30	1,5

Liite 7. Regressioanalyysillä laskettu vuosien 1973, 1978 ja 1982 sädekasvun (mm) riippuvuus turpeen ammoniumtyppipitoisuudesta (mg/l) eri kokeissa. Vuoden 1982 sädekasvun laskennassa mukana vain jatkolannoitetut kokeet.

Appendix 7. Dependence of the 1973, 1978 and 1982 radial growth (mm) on peat ammonium nitrogen content (mg/l) in different experiments as calculated with regression analysis. Only the refertilized sample plots included in the calculation of the 1982 radial growth.

Koe Experiment	Kerros Layer	Vuosi Year	Yhtälö Equation	$T_x$	$T_x^2$	Mallin Model F	Selitysaste Coeff. det., %	
Latoneva	0-5	-82	$y = 0,10x + 0,009x^2 + 1,12$	2,90**	3,17***	5,16*	46,2	
		-78	$y = 0,02x + 1,24$	1,72	—	2,97	14,2	
		-73	$y = 0,07x + 2,74$	1,18	—	1,39	7,2	
	5-10	-82	$y = 0,02x + 0,91$	1,04	—	1,08	7,7	
		-78	$y = 0,001x^2 + 1,33$	—	0,59	0,39	1,9	
		-73	$y = 0,01x^2 + 2,85$	—	1,56	2,43	11,9	
	10-15	-82	$y = 0,001x^2 + 0,91$	—	1,64	2,69	17,2	
		-78	$y = -0,01x + 1,42$	1,05	—	1,09	5,7	
		-73	$y = -0,05x + 3,33$	1,10	—	1,20	6,3	
	15-20	-82	$y = 0,002x + 0,96$	0,13	—	0,02	0,1	
		-78	$y = -0,0006x^2 + 1,38$	—	0,89	0,79	4,3	
		-73	$y = -0,001x^2 + 3,12$	—	0,59	0,35	1,9	
	Pirttineva	0-5	-82	$y = 0,01x + 0,97$	1,10	—	1,21	10,8
			-78	$y = 0,001x^2 + 1,14$	—	1,95*	3,80*	19,2
			-73	$y = 0,0005x^2 + 1,57$	—	0,45	0,20	1,3
5-10		-82	$y = -0,002x + 1,06$	0,13	—	0,02	0,2	
		-78	$y = 0,003x^2 + 1,11$	—	2,49*	6,18*	27,9	
		-73	$y = 0,004x^2 + 1,45$	—	1,76*	3,09	16,2	
10-15		-82	$y = 0,05x + 0,87$	2,46*	—	6,06*	37,7	
		-78	$y = 0,034x + 1,08$	2,48*	—	6,14*	27,7	
		-73	$y = 0,02x + 1,51$	0,86	—	0,74	4,4	
15-20		-82	$y = 0,01x + 1,00$	0,70	—	0,48	4,6	
		-78	$y = 0,02x + 1,13$	1,42	—	2,01	11,2	
		-73	$y = -0,002x + 1,63$	0,07	—	0,01	0,03	
Pöykänneva		0-5	-82	$y = 0,07x + 0,93$	0,54	—	0,29	4,0
			-78	$y = 0,05x + 1,33$	0,93	—	0,86	8,0
			-73	$y = 0,14x + 2,28$	1,03	—	1,06	9,6
	5-10	-82	$y = -0,02x + 1,20$	0,22	—	0,05	0,7	
		-78	$y = -0,08x + 1,66$	1,04	—	1,08	9,7	
		-73	$y = -0,38x + 3,50$	2,54*	—	6,45*	39,2	
	10-15	-82	$y = -0,0007x + 1,03$	0,02	—	0,00	0,01	
		-78	$y = -0,10x + 1,80$	1,53	—	2,33	20,6	
		-73	$y = -0,17x + 0,32$	1,05	—	1,11	11,0	
	15-20	-82	$y = 0,02x^2 + 0,91$	—	3,07*	9,42*	57,4	
		-78	$y = -0,06x + 1,70$	1,44	—	2,07	17,2	
		-73	$y = -0,11x + 3,06$	0,97	—	0,94	8,6	
	Rustari	0-5	-82	$y = -0,0007x + 1,35$	1,08	—	1,17	8,3
			-78	$y = -0,002x + 1,00$	0,55	—	0,30	1,5
			-73	$y = -0,00001x^2 + 2,07$	—	0,15	0,02	0,1
5-10		-82	$y = -0,02x + 1,39$	0,98	—	0,95	7,4	
		-78	$y = -0,0004x^2 + 0,98$	—	1,53	2,34	10,9	
		-73	—	—	—	—	—	—
10-15		-82	$y = -0,01x + 1,40$	0,98	—	0,96	6,9	
		-78	$y = 0,006x + 0,97$	0,78	—	0,60	2,9	
		-73	$y = -0,00008x^2 + 2,08$	—	0,22	0,05	0,3	
15-20		-82	$y = -0,13x - 0,005x^2 + 1,94$	2,25*	2,18*	2,54	29,7	
		-78	$y = -0,018x + 1,04$	0,28	—	0,08	0,4	
		-73	$y = -0,0036x + 2,09$	0,39	—	0,15	0,8	

Liite 8. Regressioanalyysillä laskettu vuoden 1982 sädekasvun (mm) riippuvuus eri syvyyksistä määritetyn turpeen vaihtuvan kaliumin määrästä (mg/l) kokeittain. Esitetty vain tilastollisesti merkitsevät tapaukset.

*Appendix 8. Dependence of the 1982 radial growth (mm) on the amount of exchangeable potassium (mg/l) in different peat layers as calculated with regression analysis. Only the statistically significant cases included.*

Koe Experiment	Kerroin Layer cm	Yhtälö — Equation	F <sub>x</sub>	F <sub>x</sub> <sup>2</sup>	Mallin Model F	Selitysaste Coeff. det., %
Latoneva	0–5	$y=0,0018x+0,59$	4,01 *			18,0
	5–10	$y=0,0022x+0,61$	6,40*			26,2
	15–20	$y=0,0032x+0,73$	4,37*			19,6
Pirtti- neva	0–5	$y=0,000006x^2+$	4,91*			23,6
Pöykän- neva	20–25	$y=0,0115x+0,59$	5,34*			43,6
Rustari	0–5	$y=0,000016x^2+0,74$	4,52*			20,1
	5–10	$y=0,0042x+0,58$	5,73*			24,2
	10–15	$y=0,0352x-0,00027x^2+0,03$	8,80**	5,85*	7,37**	46,4
	15–20	$y=0,0431x-0,00038x^2-0,005$	7,44*	4,98*	7,79**	47,8
	20–25	$y=0,0517x-0,00048x^2-0,12$	12,16**	9,11*	8,35**	49,5

ODC 237.4+2--114.444+114.54  
ISBN 951-40-0655-0  
ISSN 0015-5543

KAUNISTO, S. & TUKEVA, J. 1984. Kaliannoituksen tarve vanhojen avosuojitusalueiden männiköissä. Need for potassium fertilization in pole stage pine stands established on bogs. *Folia For* 585:1—40.

It took 11–17 years until the radial growth of trees declined to the level before primary fertilization with P or PK. At the time of refertilization trees suffered from severe K deficiency, and leader dieback was common. Refertilization with potassium increased the foliar potassium level and fertilization with phosphorus and potassium the foliar phosphorus and potassium levels. Both K and PK fertilization increased the radial growth of trees similarly, although very slowly. Part of the fertilizer potassium had leached at least down to the depth of 20–25 cm 3–5 years after refertilization. The total nitrogen content in the 0–15, 5–10, 5–15 and 10–15 peat layer explained best the variation in foliar nitrogen levels. The nitrogen status of trees was good, although the original site types were mainly small-sedge and cottongrass bogs.

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Parkano Research Station, SF-39700 Parkano, Finland.

ODC 237.4+2--114.444+114.54  
ISBN 951-40-0655-0  
ISSN 0015-5543

KAUNISTO, S. & TUKEVA, J. 1984. Kaliannoituksen tarve vanhojen avosuojitusalueiden männiköissä. Need for potassium fertilization in pole stage pine stands established on bogs. *Folia For* 585:1—40.

It took 11–17 years until the radial growth of trees declined to the level before primary fertilization with P or PK. At the time of refertilization trees suffered from severe K deficiency, and leader dieback was common. Refertilization with potassium increased the foliar potassium level and fertilization with phosphorus and potassium the foliar phosphorus and potassium levels. Both K and PK fertilization increased the radial growth of trees similarly, although very slowly. Part of the fertilizer potassium had leached at least down to the depth of 20–25 cm 3–5 years after refertilization. The total nitrogen content in the 0–15, 5–10, 5–15 and 10–15 peat layer explained best the variation in foliar nitrogen levels. The nitrogen status of trees was good, although the original site types were mainly small-sedge and cottongrass bogs.

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Parkano Research Station, SF-39700 Parkano, Finland.

Tilaa 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





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

Ojajoen koeasema  
*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:* (995) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema  
*Rovaniemi Research Station*  
Os. — *Address:* Eteläranta 55  
96300 Rovaniemi 30, Finland  
Puh. — *Phone:* (991) 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 jalostuskoeasema  
*Ruotsinkylä Tree Breeding Station*  
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland  
Puh. — *Phone:* (90) 824 420

- No 563 Pellikka, Marketta & Kotimaa, Marjut: Polttohakkeen käsittelystä aiheutuva ilman homepölypitoisuus sekä siihen vaikuttavat tekijät.  
The mold dust concentration caused by the handling of fuel chips and its modifying factors.
- No 564 Päivinen, Risto: Metsikön tukkiosuuden arviointimenetelmä.  
A method for estimating the sawlog percentage in Scots pine and Norway spruce stands.
- No 565 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1981—83.  
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1981—83.
- No 566 Miettinen, Reijo & Uusvaara, Olli: Pystykarsitun männikön koesahaus.  
Test sawing of pruned pine stand.
- No 567 Tiihonen, Paavo & Virtanen, Jaakko: Koetuloksia ilmakuvien käyttömahdollisuuksista energiapuun arvioinnissa Pohjanmaalla ja Pohjois-Savossa v. 1980—82.  
Possibilities of using aerial photographs in the estimation of energy wood resources in Ostrobothnia and northern Savo in 1980—82.
- No 568 Kuusela, Kullervo & Salminen, Sakari: Metsävarat Etelä-Suomen kuuden pohjoisimman piirimetsälautakunnan alueella 1979—1982 sekä koko Etelä-Suomessa 1977—1982.  
Forest resources in the six northernmost Forestry Board Districts of South Finland, 1979—1982, and in the whole of South Finland, 1977—1982.
- No 569 Rousi, Matti: Myyrien aiheuttamat vahingot Pohjois-Suomen puulajikokeissa talvella 1981/82.  
Vole damage in tree species trials in northern Finland in the winter of 1981/82.
- No 570 Hämäläinen, Jouko & Laakkonen, Olavi: Turvemaan varttuneiden männiköiden lannoituksen edullisuus. Profitability of fertilization in mature Scots pine stands on peatland.
- No 571 Lähde, Erkki & Savonen, Eira-Maija: Kastelun vaikutus männyn paakkutaimien kehitykseen sekä turpeen vesi- ja ilmasuhteisiin paakussa.  
Effects of watering on the development of containerized Scots pine seedlings and water and air conditions in peat growing mediums.
- No 572 Korhonen, Kirsi-Marja, Teivainen, Terttu, Kaikusalo, Asko, Kananen, Aino & Kuhlman, Eeva: Lapinmyyrän aiheuttamien tuhojen esiintyminen Pohjois-Suomen mäntymetsissä huippuvuoden 1978 jälkeen.  
Occurrence of damage caused by the root vole (*Microtus oeconomus*) on Scots pine in northern Finland after the peak year 1978.
- No 573 Jokinen, Katriina: Metsänlannoituksen vaikutus juurikäävän esiintymiseen — Kirjallisuuskatsaus.  
The effect of fertilization on the occurrence of *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. — A literature review.
- No 574 Sevola, Yrjö: Metsähallinnon Nurmeksen hoitoalueen voimaperäinen puunkasvatust: Seurantajärjestelmä ja tuloksia.  
Intensive timber growing in a state forest district: Monitoring system and results.
- No 575 Nepveu, Gerard & Velling, Pirkko: Rauduskoivun puuaineen laadun geneettinen vaihtelu.  
Individual genetic variability of wood quality in *Betula pendula*.
- No 576 Gustavsen, Hans Gustav & Fagerström, Håkan: Brösthöjdsformalets variation i tall-, gran- och björkbestånd. The variation of the breast height form factor for pine, spruce and birch stands in Finland.  
Männyn, kuusen ja koivun muotolukujen vaihtelu.
- No 577 Laakkonen, Olavi, Keipi, Kari & Lipas, Erkki: Typpilannoituksen kannattavuus varttuneissa kangasmetsissä. Profitability of nitrogen fertilization in mature forests on mineral soils.
- No 578 Vuollekoski, Martti: Hydrostaattisella voimansiirrolla varustetun kaivurin soveltuvuus metsäojien perkaukseen.  
Evaluation of a specially developed excavator for forest ditch cleaning.
- No 579 Lähde, Erkki, Högnäs, Bo, Jaakkola, Aimo & Huuri, Olavi: Tall- och granplanteringarnas utveckling på Åland.  
Männyn ja kuusen istutuksen onnistuminen Ahvenanmaalla.  
The success of Scots pine and Norway spruce planting in the Åland Islands.

1984

- No 580 Paavilainen, Eero & Tiihonen, Paavo: Etelä- ja Keski-Suomen suometsät 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.
- 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 palstahaketusten menetelmällä.
- No 585 Kaunisto, Seppo & Tukeva, Jorma: Kalilannoituksen tarve avosoille perustetuissa riukuasteen männiköissä.  
Need for potassium fertilization in pole stage pine stands established on bogs.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomonisteita koskevat pyynnöt osoitetaan a.o. 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 951-40-0655-0  
ISSN 0015-5543