

23.09.91



FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
HELSINKI 1991

771

Selander, Jukka & Immonen, Auli

LANNOITUKSEN VAIKUTUS MÄNNYNTAIMEN
TUHONALTTIUTEEN TUHKIMIEHENTÄILLE

Effect of fertilization on the susceptibility of Scots pine seedlings to the
large pine weevil, *Hylobius abietis* (Coleoptera, Curculionidae)

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

Käyttö

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

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

Puhelin: (90) 857 051
Phone:

Telex: 121286 metla sf
Telefax: (90) 625 308

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Eljas Pohtila
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittajat <i>Editors</i>	Seppo Oja Tommi Salonen

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

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

FOLIA FORESTALIA 771

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1991

Jukka Selander & Auli Immonen

LANNOITUKSEN VAIKUTUS MÄNNYNTAIMEN TUHONALTTIUTEEN
TUKKIMIEHENTÄILLEEffect of fertilization on the susceptibility of Scots pine seedlings to the large pine
weevil, *Hylobius abietis* (Coleoptera, Curculionidae)

Approved on 8.5.1991

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	4
21. Taimien kasvatus taimitarhalla	4
22. Koeala ja taimista tehdyt mittaukset	5
23. Aineiston käsittely	7
3. TAIMIEN VIOITTUMINEN	7
31. Taimien alttius vioittua	7
32. Vaurion vakavuus ja määrä	8
33. Taimien riski vioittua	10
34. Vioittuminen ja kasvu	11
4. TAIMIEN KUOLLEISUUS	12
41. Kuolleisuus eri vuosina	12
42. Taimien riski kuolla	12
43. Taimien kunto ja kehityskelpoisuus	12
5. TULOSTEN TARKASTELU	13
KIRJALLISUUS — REFERENCES	14
SUMMARY	16
Liitteet — Appendices	18

Selander, J. & Immonen, A. 1991. Lannoituksen vaikutus männyn taimen tuhonalttiuteen tukkimiehentäille. Summary: Effect of fertilization on the susceptibility of Scots pine seedlings to the large pine weevil, *Hylobius abietis* (Coleoptera, Curculionidae). *Folia Forestalia* 771. 21 p.

Taimitarhalla eri tavoin lannoitettujen kaksivuotisten männyn paakkutaimien kestävyyttä tukkimiehentäitä vastaan tutkittiin kahden kasvukauden ajan istutuksesta. Taimien kestävyyttä selvitettiin niiden vioittuvuuden, kasvutunnusten ja kuolleisuuden avulla. Koetaimina oli täyslannoitettuja (NPK) taimia, pelkällä typellä lannoitettuja taimia, PK-lannoitettuja taimia ja sellaisia taimia, joita ei lannoitettu lainkaan. Eri tavoin lannoitettuja taimia verrattiin pareittain luonnontaimen, tai täyslannoitettuja taimia verrattiin lannoittamattomiin istutustaimiin. Torjunta-aineita ei käytetty taimien suojaamiseksi.

Täyslannoitetut ja pelkästään typellä lannoitetut taimet olivat herkempiä vioittumaan kuin PK-lannoitetut tai lannoittamattomat taimet. Verrattaessa pareittain täyslannoitettuja ja kokonaan lannoittamattomia taimia oli lannoittamattomien taimien vioittuvuus ja kuolleisuus alhaisempi kuin täyslannoitettujen taimien. Verrattaessa eri tavoin lannoitettuja taimia luonnontaimiin kestivät PK-lannoitetut ja pelkällä typellä lannoitetut taimet kärsäkästä paremmin kuin luonnontaimet. Lannoittamattomien ja täyslannoitettujen taimien menestyminen oli samanlaista luonnontaimiin verrattuna. Tutkimuksessa kuvataan myös taimien vioitusta osana koko varren kuorivaipasta. Tällöin luonnontaimet osoittautuivat kärsäkästä kestävimiksi kuin eri tavoin lannoitetut istutustaimet.

Tulosten mukaan nykyistä käytäntöä niukemmalla ja vain kaliumia ja fosforia sisältävällä lannoituksella voidaan vähentää istutustaimien alttiutta tukkimiehentäin tuhoille. Jatkotutkimuksin olisi selvitettävä vastaako näin saatu tuhonkestävyyden parannus mahdollisia typpiköyhän taimikasvauksen haittoja ja saadaanko näin kelvollinen viljelytulos pidemmälläkin ajanjaksolla.

Keywords: *Hylobius abietis*, *Pinus silvestris*, fertilization, plant resistance, reafforestation.
FDC 453:237 + 145.7 *Hylobius abietis*

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Department of Forest Protection, PL 18, SF-01301 Vantaa, Finland.

The effect of nursery fertilization on the susceptibility of transplanted seedlings to pine weevil damage was studied in a two-year field trial with paired test plants. The study was based on two experiments: differently fertilized planted seedlings *versus* naturally regenerated seedlings, or between two differently fertilized types of planted seedlings. No insecticide was used.

The seedlings fertilized with NPK were more frequently wounded than those fertilized with PK, or those without any fertilization. In a comparison between NPK-fertilized and non-fertilized seedlings, the latter were less susceptible to attack and survived more frequently than the fertilized ones. PK-fertilized seedlings and N-fertilized seedlings performed better, and NPK-fertilized and non-fertilized were equally attacked and survived with the natural plants. When the area of stem bark wounds was related to the size of the plant, the natural plants were less affected than their planted counterparts.

The results suggest that seedlings fertilized with less nitrogen, or PK fertilizer, were less attractive and more resistant against weevil attack. PK fertilization or raising seedlings without fertilization could reduce the susceptibility to attack by the pine weevil. However, such seedlings were smaller than their vigorous-looking counterparts. Their overall performance would require more long-term study.

ISBN 951-40-1154-6

ISSN 0015-5543

Helsinki 1991. Valtion painatuskeskus

1. Johdanto

Tukkimiehentäin (*Hylobius abietis* L.) tuhojen torjuntaa on harjoitettu Suomessa istutustaimien torjunta-ainekäsittelyn avulla jo 1960-luvulta lähtien (Nenonen & Jukola 1960, Rummukainen 1970, Långström 1971, 1975, Annila 1982). Tuhoja voidaan myös vähentää välillisesti istutusalan maanpinnan muokkauksella samoin kuin viljelyn viivyttämisellä vuodella tai kahdella (Heikkilä 1975, Levula & Heikkilä 1979, 1981, Långström 1982, Pullinen 1990). Viime aikoina on tutkittu myös taimien mekaanista suojaamista esim. muovikauluksen tai suojasukan avulla (Lindström ym. 1986, Lilja 1988, Eidmann & von Sydow 1989).

Taimitarhalla annetun lannoituksen vaikutus taimen istutuksen jälkeiseen kestävyYTEEN tukkimiehentäitä vastaan tunnetaan vielä puutteellisesti. Kookkaiksi kasvatettuja taimia pidetään yleensä kestävimpinä (esim. Eidmann 1969), mutta kestävyYden syitä ei ole lähemmin selvitetty. Toisaalta on taimia tuotettaessa selvitetty erilaisten kasvatustoimien vaikutusta taimien eräisiin ominaisuuksiin, kuten taimen morfologiaan sekä pääraivne- ja hiilihydraattipitoisuuteen (esim. Anttila & Lähde 1977, Puttonen 1986, Rikala 1982, 1986, 1989, Rikala & Huurainen 1990). Näillä voisi olla merkitystä myös taimen kärsäkkään kestävyYden kannalta.

Metsänviljelyssä istutustaimet suojataan, mikäli mahdollista torjunta-aineilla, ja tällöin niiden luontainen kestävyys tuholaista vastaan saattaa käytännössä jäädä vaille huomiota. KestävyYdeltään heikkokin taimi saattaa suojattuna selviytyä. Taimien kestävyYttä tulisikin tutkia myös sitoutumatta torjunta-aineiden käyttöön.

Aikaisemmassa tutkimuksessa (Selander ym. 1990) havaitsimme normaalien istutustaimien olevan altimpia tukkimiehentäille kuin luonnontaimet. Tämä antoi aiheen jatkaa tutkimuksia myös normaalista poikkeavasti lannoitetuilla istutustaimilla sekä käyttää luonnontaimia edelleen vertailukohteina. Tutkimuksen tarkoituksena on myös verrata täyslannoitettujen istutustaimien tuhonkestävyYttä lannoittamattomiin istutustaimiin ja pyrkiä vastaamaan kysymykseen voidaanko taimitarhalannoituksen keinoin parantaa istutustaimen tuhonkestävyYttä tukkimiehentäitä vastaan.

Tutkimus kuuluu J. Selanderin suunnittelemaan tutkimussarjaan "Männyn taimen tuhonkestävyys". Auli Immonen ja Pekka Raukko tekivät kenttätöyt. Immonen (1990) suoritti myös tutkimusaineiston alustavan tilastollisen käsittelyn. Selander laati käsikirjoituksen ja viimeisteli tuloksia. Kiitämme Kim v. Weissenbergiä sekä anonyymiä käsikirjoituksen tarkastajaa hyödyllistä kommentista.

Symbolit — Symbols

s	Keskihajonta	I	Haavaindeksi, vioittunut kuoriala koko kuori- vaipalta, %
S.D.	Standard deviation		Damage index, damaged bark area of the stem
h	Koetaimen pituus, cm	P	Todennäköisyys
	Seedling height		Probability
d	Varren tyven läpimitta, cm	$b_0 \dots b_i$	Logistisen regressioyhtälön vakio ja kulma- kertoimet
	Root collar diameter		Coefficients of logistic regression equation
n	Koetaimien tai taimiparien lukumäärä	$X_1 \dots X_i$	Logistisen yhtälön selittävät muuttujat
	Number of seedlings or seedling pairs		Dependent variables of the logistic regression equation
L	Vioittuneen varren osan pituus, cm		
	Length of damage on stem		
Y	Vioituksen kaulaus, %		
	Wound girdling		
H	Vioittunut kuoriala vioittuneelta osalta vartta, %		Tilastolliset testit — Statistical tests
	Damaged bark area on damaged part of the stem	*	5 % riskitaso — risk level $P < 0.05$
A	Vioittunut kuoriala, cm ²	**	1 % riskitaso — risk level $P < 0.001$
	Damaged bark area	***	0.1 % riskitaso — risk level $P < 0.001$
		n.s.	ei merkitsevä — not significant $P > 0.05$

2. Aineisto ja menetelmät

21. Taimien kasvatustaimitarhalla

Tutkimuksessa käytettiin kahta kasvatettua taimiaineistoa, joita testattiin myöhemmin kenttäkokeissa A ja B. Toisessa (Koe A) käytettiin Karttulan metsikkösiementä (T10-78-43) ja toisessa (Koe B) Metsäntutkimuslaitoksen metsänjalostusosaston tuottamaa neljää alkuperää olevaa risteytyssementä (vrt. taulukko 2).

Kylvö tehtiin Vantaan Jokiniemessä kasvihuoneessa 8.6.1984, aineisto A ensokennolevyihin (paakkutilavuus 1,0 dl) ja aineisto B ns. ensopisarakennoihin (paakkutilavuus 1,8 dl). Noin 500 tainta kumpaakin aineistoa siirrettiin ulos sora-alustalle 11.9.1984, jossa niitä kasvatettiin toukokuulle 1986 eli istutukseen saakka.

Kennolevyissä käytettiin Kekkilä Oy:n valmistamaa ravinneköyhää mullan, turpeen ja hiekan maalajiseosta (peruslannoittamatonta Kekkilän kestumultaa). Lannoittamattoman seosmullan ravinnepitoisuus analysoitiin Viljavuuspalvelu OY:ssä (Viljavuustutkimuksen... 1988) seuraavin tuloksin.

pH 4,5
ammoniumtyppi 48 mg l⁻¹
nitraattityppi < 1,0 mg l⁻¹

fosfori 6,0 mg l⁻¹
kalium 20 mg l⁻¹
kalsium 475 mg l⁻¹
magnesium 115 mg l⁻¹
boori 0,2 mg l⁻¹
kupari 3,1 mg l⁻¹
mangaani 12,4 mg l⁻¹
johtokyky 0,9 mS cm⁻¹

Hoitolannoitus aloitettiin 2 viikkoa siemenen itämisen jälkeen. Ravinteet annettiin liuoksina kastelemalla taimet kastelukannalla kahdesti viikossa kahden kasvukauden ajan neljän lannoitusohjelman mukaan: 1. Ei lannoitusta (annettiin kuitenkin yksi NPK-kastelukerta toisen kasvukauden alussa); 2. PK-lannoitus (ei typpeä); 3. Täyslannoitus (lisäksi PK-lannoitus kasvukauden lopulla); 4. Pelkkä typpilannoitus koko kasvukauden (taulukko 1).

Taimien yleisen ravitsemustilan määrittämistä ja lannoituksen vaikutuksen mittaamista varten taimista otettiin neulasnäytteet välittömästi ennen istutusta ja niistä määritettiin neulasten pääravinnepitoisuudet Viljavuuspalvelu Oy:ssä. Neulasnäytteistä mitattiin myös 100 neulasen kuivapaino (taulukko 2).

Taulukko 1. Taimitarhalla käytetyt lannoitusohjelmat ja taimille annetut ravinteiden kokonaismäärät (m²).

Table 1. Fertilizer programs of the test plants and the annual amounts of nutrients given (per m²) in the nursery

Lannoitus- Fertilization level	Lannoite ¹ Product ¹	Vuosi Year	Aika Period	Määrä Quantity g	N	NO ₃ -N ²	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	B	Zn	Cu	Mo	Co
1. Ei lann. No fertil.	— Superex-9	I II	— 28.6.1985	— 8	1,6	0,6	0,4	1,6	0,0	<0,0	<0,0	14	8	2	2	1	<0	<0
2. PK-lann. PK fertil.	Superex-7 Superex-7	I II	27.7.–7.9.1984 27.5.–14.9.1985	104 256	0,0 0,0	0,0 0,0	16,6 41,0	20,8 51,2	0,0 0,0	2,4 5,9	3,2 7,9	187 461	100 248	28 69	23 59	14 36	2 5	<1 3
3. Täyslann. NPK fertil.	Superex-9 Superex-7 Superex-9 Superex-7	I I II II	27.7.–6.8.1984 10.8.–7.9.1984 27.5.–8.8.1985 12.8.–14.9.1985	32 72 176 80	6,2 0,0 34,1 0,0	2,3 0,0 12,7 0,0	1,7 11,5 9,3 12,8	6,4 14,4 35,2 16,0	0,0 0,0 0,0 0,0	0,1 1,7 0,4 1,8	0,1 2,2 0,5 2,5	57 130 317 144	31 70 171 78	9 19 48 22	7 17 48 18	4 10 25 11	<1 1 4 2	<1 <1
4. Typpilann. N-fertil.	Kalkki- salpietari Ammonium nitrate	I II	27.7.–7.9.1984 27.5.–22.8.1985	112 224	17,3 34,7	16,2 32,4	0,0 0,0	0,0 0,0	22,4 44,7	0,2 0,5	0,0 0,0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0

¹ Kasteluliusten pääravinnekoostumus (mg/litra) — Composition of diluted fertilizers (mg/litre): Superex-9 N 97, P 27, K 100; Ca 0, Mg 1,0, S 1,5, Fe 0,9, Mn 0,5 B 0,14, Zn 0,12, Cu 0,07 Mo 0,01, Co 0,005; Superex-7 N 0, P 80, K 100, Ca 0, Mg 12, S 16, Fe 0,9, Mn 0,5, B 0,14, Zn 0,12, Cu 0,7, Mo 0,01 Co 0,005; Kalkkisalpietari Ammonium nitrate-N 100, P 0, K 0, Ca 129, Mg 1,3.

² Nitraattityppi sisältyy kokonaistyyppiin — Nitrate nitrogen is included in total nitrogen.

Taulukko 2. Taimitarhalla kasvatettujen taimien neulasten pääravinnepitoisuus ja paino istutusaikana.
Table 2. Average nutrient concentrations and weight of the needles of the test seedlings at planting time.

Koe ja taimiryhmä <i>Experiment and plant group</i>	Neulasten pääravinnepitoisuus <i>Average nutrient concentrations in needles</i>					100 neulasen kuivapaino <i>Dry weight of 100 needles</i>
	N g/kg	P mg/g	K mg/g	Ca mg/g	Mg mg/g	g
Koe A — Experiment A:						
1. Ei lannoitusta — <i>No fertilizer</i>	10,9	1,3	6,8	3,1	1,25	0,61
2. PK-lannoitus — <i>PK fertilizer</i>	10,9	1,9	8,5	2,8	1,34	0,55
3. Täyslannoitus — <i>NPK fertilizer</i>	9,6	1,3	8,0	2,4	1,32	1,62
4. Typpilannoitus — <i>N fertilizer</i>	13,7	0,6	5,1	3,2	1,21	0,70
Koe B — Experiment B:						
Ei lannoitusta — <i>No fertilization:</i>						
1. G1-78-365 E 7190 x E 365	10,9	1,2	6,4	2,9	1,19	—
2. G1-78-340 E 25 x K 34	11,3	1,4	6,4	2,6	1,14	—
3. G1-78-349 K 216 x K 223	10,8	1,5	7,9	2,9	1,33	—
4. G1-78-327 P 403 x P 418	12,8	1,4	7,3	3,1	1,05	—
Yhtensä — <i>Total</i>						0,71
Täyslannoitus — <i>NPK-fertilization:</i>						
1. G1-78-365 E 7190 x E 365	11,3	1,5	7,4	2,4	1,21	—
2. G1-78-340 E 25 x K 34	10,1	1,3	7,2	2,3	1,46	—
3. G1-78-349 K 216 x K 223	10,1	1,5	7,9	2,2	1,31	—
4. G1-78-327 P 403 x P 418	10,1	1,5	7,7	2,1	1,04	—
Yhtensä — <i>Total</i>						1,88

Lannoituksen vaikutusta taimen kuoren ja nilansolukon rakenteeseen pyrittiin myös mittaamaan, koska kuoren solukoista varsinkin nila on tukkimiehintäin ravintoa ja sen määrä saattaa vaikuttaa taimen tuhonalttiuteen ja tuhonsietokykyyn (vrt. Selander ym. 1990). Nilansolukon paksuutta ei voitu sellaisenaan mitata taimen varresta tehdystä poikkileikkauspreparaatista, koska se ei taimen varressa (kasvianatomisesta yleisvärjäyksestä huolimatta, Niemelä ym. 1974) ollut riittävän selvästi eriytynyt muusta kuorisolukosta. Kuorena pidettiin kaikkea jäljen ulkopuolista solukkoa, mutta valtaosa tästä ”kuoresta” oli kuitenkin nilaa, joten nilan ja muiden kuorisolukoiden yhdistäminen oli perusteltua lannoituksen vaikutuksen selvittelyssä. Nilaisuudella tarkoitettiin ”kuoren” %-alaa varren poikkileikkauksesta. Kuoren paksuuden ja nilaisuuden mittaukset tehtiin valmistamalla 80 taimen varresta mikroskooppiset preparaattit, joista mitattiin okulairimikrotomin avulla kuoren paksuus (kuvat 1 ja 2).

22. Koela ja taimista tehdyt mittaukset

Koepaikka sijaitsi Metsäntutkimuslaitoksen Vilppulan kokeilualueella, Kuoreveden Kaltilanmaalla (N 62°01', E 24°48') puolukkatyyppin kuivahkolla kankaalla, joka oli hakattu siemenpuuasentoon edellisellä talvena (v. 1985–

86). Maanpintaa ei muokattu. Hakkuualan koko oli noin 5 ha. Aukolta valittiin kokeeseen kaksi 3–4 aarin koelaa. Toisella koelalla (Koe A) oli runsaasti luontaisesti syntyneitä, normaalin istutustaimien kokoisia luonnontaimia. Tuoreita hakkuutähteitä oli molemmilla koelaloilla paljon ja tukkimiehintäitä todennäköisesti runsaasti.

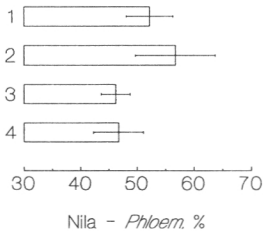
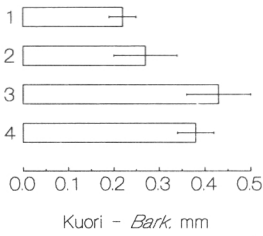
Koelalle A istutettiin 3.6.1986 luontaisesti syntyneiden männyntaimien (n = 360) viereen 10–15 cm:n etäisyydelle taimitarhassa eri tavoin lannoitettuja kaksivuotisia istutustaimia (taulukko 3). Istutus tehtiin kourukuokalla maanpintaa kaapimatta. Luonontaimet olivat hie-man kookkaampia kuin istutustaimet (kuva 3). Se otettiin huomioon laskettaessa vioittumis- ja kuolinriskiä logistisen mallin avulla.

Koelalle B istutettiin 3.–4.6.1986 eri risteytysalkuperää olevia taimia, joista toinen oli lannoitettu ja toinen lannoittamaton (n = 239 taimiparia) (vrt. taulukko 3). Taimiparien etäisyys oli 2–3 metriä. Lannoitetut taimet olivat istutettaessa lannoittamattomia parejaan kookkaampia (kuva 4).

Taimet tarkastettiin ja mitattiin ensimmäisenä kasvukautena (v. 1986) kolme kertaa 23.–27.6., 22.–24.7. ja 18.–21.8.

Taimesta mitattiin pituus, tyven läpimitta, määritettiin alla kuvatulla tavalla tukkimiehintäin vioituksen laatu, määrä ja tapahtumisajankohta sekä arvioitiin taimen kunto ja kehityskelpoisuus.

Koe A - *Experiment A*



Lannoitustasot - *Fertilization levels:*

- 1 = Ei lannoitusta - *No fertilizer*
- 2 = PK-lannoitus - *PK fertilizer*
- 3 = Täyslannoitus - *NPK fertilizer*
- 4 = Tyypilannoitus - *N-fertilizer*

Kuva 1. Kaksivuotisten koetaimien (A) kuoren paksuus ja nilaisuus lannoitustasoittain 1–4 mitattuna istutusaikaan. Keskiarvo ja hajonta. Lannoitustasot ovat kuten taulukossa 1.

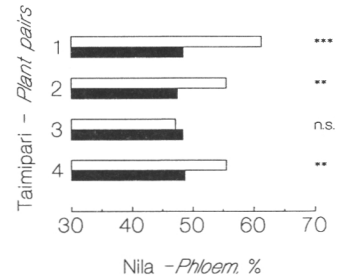
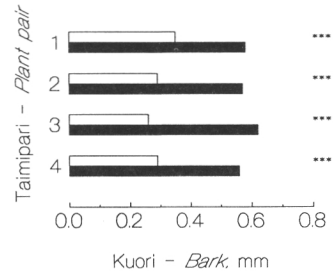
Figure 1. Bark thickness and percentage of radial phloem of 2-year old seedlings (A) according to fertilization levels 1–4 at planting time. Mean and standard deviation. Fertilization levels are as in Table 1.

Toisena kasvukautena (v. 1987) taimet tutkittiin kasvukauden loppupuolella 3.–4.8., jolloin sinä vuonna sattuneet tukkimiehentäin vioitukset voitiin vielä erottaa edellisen vuoden vioituksista.

Taimien tarkastuksessa ja aineiston käsittelyssä käytettiin Selanderin ym. (1990) käyttämiä menetelmiä. Tukkimiehentäin tekemä vioitus taimen tyvellä mitattiin siten kolmen muuttujan avulla: kaulaus (Y) arvioituna 0 %:sta 100 %:iin 5%:n asteikolla varren kehältä, vioituksen pituus cm:nä (L) sekä vioituksen pinta-alan %-osuus (H) 5 %:in tarkkuudella siitä osasta varren kuorivaippaa, jossa vioitusta esiintyi.

Kun taimen pituus (h) ja tyven läpimitta (d) mitattiin, voitiin muuttujat L ja H suhteuttaa taimen kokoon. Järsity kuoriala esitettiin absoluuttisena pinta-alana (A) tai prosenttina eli haavaindeksinä (I) koko taimen varren kuorivaipalta. Varren kuorivaippaan ei luettu saman vuoden kasvainta.

Koe B - *Experiment B*



- Ei lannoitusta - *No fertilizer*
- Täyslannoitus - *NPK fertilizer*

Kuva 2. Kaksivuotisten koetaimien (B) kuoren paksuus ja nilaisuus mitattuna istutusaikana. Täyslannoitettujen ja lannoittamattomien taimien vertailu t-testillä taimialkuperittäin 1–4. Ks. symbolit s. 3.

Figure 2. Bark thickness and percentage of radial phloem of 2-year old seedlings (B) at planting time. T-test between the means of NPK-fertilized and non-fertilized seedlings by different seedling origin. See symbols on p. 3.

$$A = H/100 \cdot d \cdot \pi \cdot L$$

$$I = A/d \cdot \pi \cdot h \cdot 100$$

jossa

A = Vioittunut kuoriala cm²

d = Tyven läpimitta cm

h = Taimen pituus cm

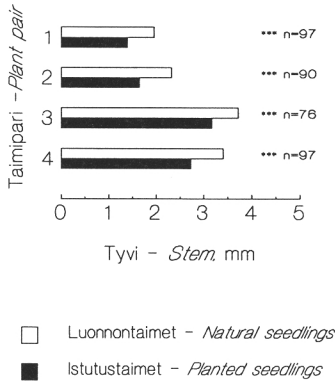
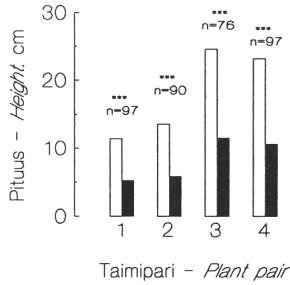
L = Vioittuneen varren osan pituus cm

H = Vioitetun kuoripinnan arvioitu ala % vioitetulta osalta (L) vartta

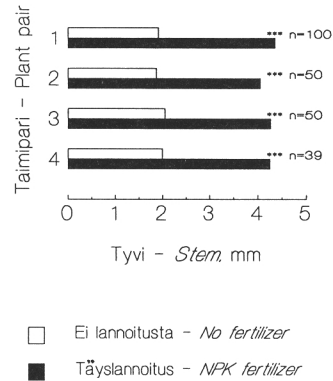
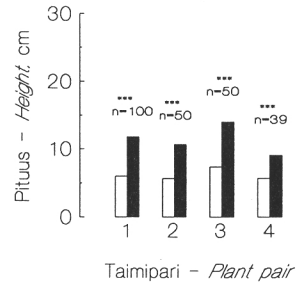
I = Haavaindeksi, vaurion ala varren kuorivaipalta %

Taimet luokiteltiin tarkastuseroittain neljään kuntoluokkaan: normaalit, vikaiset, kituvat ja jakson aikana kuolleet. Vikaisuutena pidettiin latvaverson kuolemista ja monilatvaisuutta, mutta ei kasvun hidastumista. Sen sijaan kituviksi luettiin taimet, joiden muoto oli normaali, mutta versojen pituuskasvu selvästi ja kauttaaltaan hidastunut. Jos taimessa oli sekä kituvuuden että vikaisuuden piirteitä, se luettiin kituvaksi.

Koe A - Experiment A



Koe B - Experiment B



Kuva 3. Koetaimien (A) pituuden ja tyven läpimitan keskiarvot lannoitustasoittain 1–4 verrattuna t-testillä pareina olleisiin luonnontaimiin istutusaikana. Ks. symbolit s. 3.

Figure 3. Height and stem diameter of test seedlings according to fertilization levels 1–4 at planting time. T-test between the means of planted seedlings and their natural counterparts. See symbols on p. 3.

Kuva 4. Lannoittamattomien ja täyslannoitettujen koetaimien (B) pituuden ja tyven läpimitan keskiarvot taimialkuperittäin 1–4 verrattuna keskenään istutusaikana. Ks. symbolit s. 3.

Figure 4. Height and stem diameter of test seedlings according to their origins 1–4 at planting time. T-test between the means of NPK fertilized and non-fertilized counterparts. See symbols on p. 3.

23. Aineiston käsittely

Aineiston esitarkastelussa mittaustulosten jakautumia tarkasteltiin Shapiro-Wilks'in ja Lillieforsin menetelmien avulla (Norusis 1989). Esitarkastelun jälkeen käytettiin pareittaisiin mittaustuloksiin ja ei-normaalisiin tai epäsymmetrisiin jakautumiin mukautuvia ei-parametrisia tilastollisia testejä (Norusis 1988).

Vioittumisena pidettiin 5 %:a suurempaa kaulausta (Y). Taimen vioittumisen tai kuoleman riippuvuutta taimen alkuperästä, lannoituksesta ja koosta tutkittiin logistisen regressiomallin avulla BMDP LR-ohjelman tarjoamalla standardimenetelmillä (esim. Häkkinen & Linnilä 1987, Engelman 1988). Viereisen taimen vioittuminen otettiin myös huomioon sovittamalla sitä kuvaava muuttuja tarkasteltavaksi logistiseen regressiomalliin.

3. Taimien vioittuminen

31. Taimien alttius vioittua

Taimissa oli molemmilla koaloilla runsaasti tukkimiehentäin vioituksia. Herkimpiä vioittumaan olivat kokeessa A täyslannoitetut ja typellä lannoitetut taimet, kun taas lannoittamattomien ja PK-lannoitettujen taimien vioittuminen

oli vähälukuisempaa. Vastaavasti kokeessa B täyslannoitetut taimet olivat selvästi vioittuvampia kuin lannoittamattomat taimet (taulukko 3).

Kokeessa A pareittainen koejärjestely perustui eri tavoin lannoitettujen taimien vertaamiseen luonnontaimen ja pareittaiseen tilastolliseen testaamiseen. Tällöin luonnontaimet olivat

Taulukko 3. Tukkimiehetäin voittamien taimien osuus ensimmäisenä (I) ja toisena (II) kasvukautena sekä taimien kumulatiivinen vioittuminen ja kuolleisuus koejakson aikana (I–II).

Table 3. *Hylobius-wounded plants in different seedlings groups during the first (I) and second (II) years and cumulative wounding and mortality of plants during the study period (I–II).*

Koe ja taimiryhmä <i>Experiment and seedling group</i>	Taimia — <i>Seedlings</i> n	Vioittui — <i>Wounded</i>			Kuoli — <i>Died</i>	
		I %	II ¹ %	I–II %	I–II ² %	I–II ³ %
Koe A — <i>Experiment A:</i>						
Istutustaimet — <i>Planted seedling</i>						
1. Ei lannoitusta — <i>No fertilization</i>	97	24,7	12,7	34,0	72,7	49,5
2. PK-lannoitus — <i>PK fertilizer</i>	90	37,8	10,6	44,4	82,5	52,2
3. Täyslannoitus — <i>NPK fertilizer</i>	76	72,4	26,5	78,9	75,0	69,7
4. Typpilannoitus — <i>N fertilizer</i>	97	61,9	28,6	72,2	72,9	61,9
Yhteensä — <i>Total</i>	360					
Luonnontaimet — <i>Natural counterparts</i>						
1. Pari — <i>Pair</i>	97	50,5	22,8	60,8	81,4	60,8
2. Pari — <i>Pair</i>	90	62,2	25,5	72,2	83,1	70,0
3. Pari — <i>Pair</i>	76	88,2	29,1	93,4	69,0	67,1
4. Pari — <i>Pair</i>	97	93,8	18,3	99,0	82,3	81,4
Yhteensä — <i>Total</i>	360	73,1	23,5	80,8	79,0	70,0
Koe B — <i>Experiment B:</i>						
Ei lannoitusta — <i>No fertilization:</i>						
1. G1-78-365 E 7190 x E 365	100	36,0	11,8	43,0	58,1	40,0
2. G1-78-340 E 25 x K 34	50	30,0	10,7	38,0	63,2	50,0
3. G1-78-349 K 216 x K 223	50	38,0	22,6	48,0	50,0	48,0
4. G1-78-327 P 403 x P 418	39	23,1	2,9	25,6	50,0	17,9
Yhteensä — <i>Total</i>	239	33,1	11,8	40,2	56,3	40,2
Täyslannoitus — <i>NPK fertilizer:</i>						
1. G1-78-365 E 7190 x E 365	100	78,0	15,5	79,0	60,8	56,0
2. G1-78-340 E 25 x K 34	50	72,0	34,8	78,0	69,2	66,0
3. G1-78-349 K 216 x K 223	50	90,0	44,4	94,0	74,5	74,0
4. G1-78-327 P 403 x P 418	39	74,4	25,9	76,9	40,0	35,9
Yhteensä — <i>Total</i>	239	78,7	25,4	81,6	62,6	58,6

¹ Vioittuneisuus elossa olevista taimista — *Previously died plants were omitted*

² Kuolleisuus vioittuneista taimista — *Mortality of the wounded plants*

³ Kuolleisuus kaikista taimista — *Mortality of all plants*

lukumääräisesti merkittävästi haavoittuvampia kuin kaikki istutustaimiryhmät. Sellaisia taimipareja, joissa sekä istutettu taimi että luonnontaimi vioittuivat oli kuitenkin selvästi enemmän silloin, kun luonnontaimen parina oli täyslannoitettu tai tyypellä lannoitettu taimi. Vastaavasti molemmilta taimiltaan koskemattomia pareja oli eniten lannoittamattomien ja PK-lannoitettujen parien joukossa (kuva 5).

Kokeessa B täyslannoituksen vaikutus tuli esiin, kun lannoitettuja ja lannoittamattomia istutustaimia voitiin testata pareittain. Täyslannoitetut taimet olivat tällöin erittäin merkittävästi herkempiä vioittumaan kuin lannoittamattomat taimet. Erot risteytysalkuperien välillä

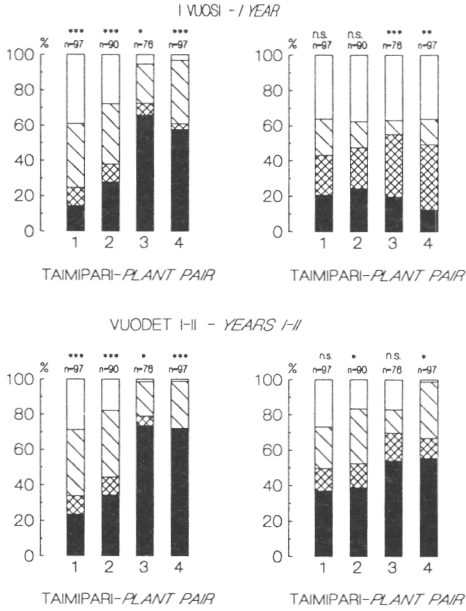
olivat varsin pieniä, mikä voimisti lannoituksen merkittävyyttä vioittuvuuden pääsyynä (kuva 6).

32. Vaurion vakavuus ja määrä

Tutkittaessa taimen vioittuneisuutta kiinnitettiin vaurion vakavuuteen tai määrään huomiota vain siten, että 5 % tai sitä suurempi kaulaus (Y) luokitteli taimen vioittuneeksi. Kuitenkin jokainen voitustapaus oli laadultaan ja määrältään erilainen ja sen vaikutukset taimelle yksilöllisiä. Vioituksen ankaruutta tarkasteltiin siksi myös yksityiskohtaisemmin.

Koe A - Experiment A

VOITTUMINEN - WOUNDING KUOLLEISUUS - MORTALITY



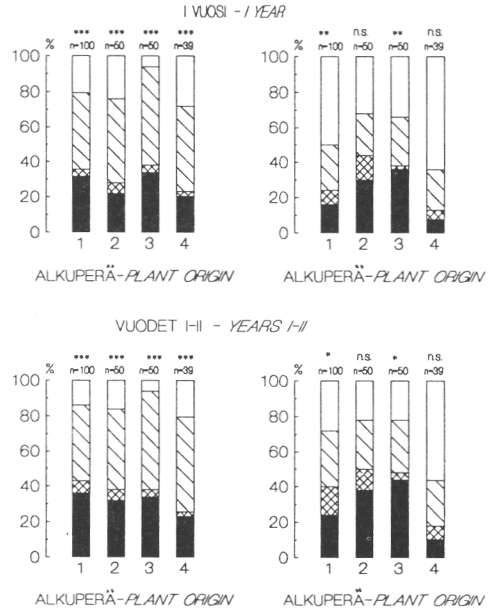
Kuva 5. Taimipareittainen vioittuminen ja kuolleisuus kokeessa A istutusvuonna ja kahtena vuotena vertailtuna lannoitustasoinn 1-4 McNemarin testillä. Ks. symbolit s. 3.

Figure 5. Wounding and mortality of plant pairs in experiment A during the years I-II, according to fertilization levels 1-4. McNemar test, see symbols on p. 3.

Koelalla A tukkimiehentäi järsi lannoittamattomia istutustaimia vähiten, keskimäärin vain 0,79 cm² ja toiseksi vähiten PK-lannoitettuja, 1,20 cm². Täyslannoitettuja taimia järsittiin ankarimmin, 3,13 cm², ja typpilannoitettuja taimia, 1,69 cm². Pareina olleita luonnontaimia kärsäkäs voitti merkitsevästi enemmän, 3,20 cm², 4,03 cm², 5,10 cm² ja 4,45 cm² (merkkitesti p < 0,001). Istutustaimet vioittuivat kuitenkin luonnontaimia vakavammin, kun niiden vioitus suhteutettiin haavaindeksinä taimen kokoon (p < 0,01) (kuva 7).

Koe B - Experiment B

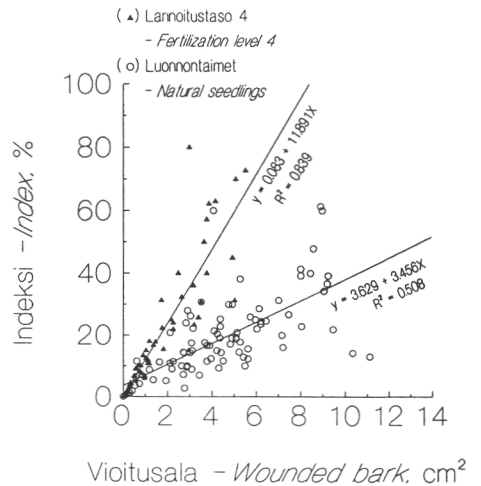
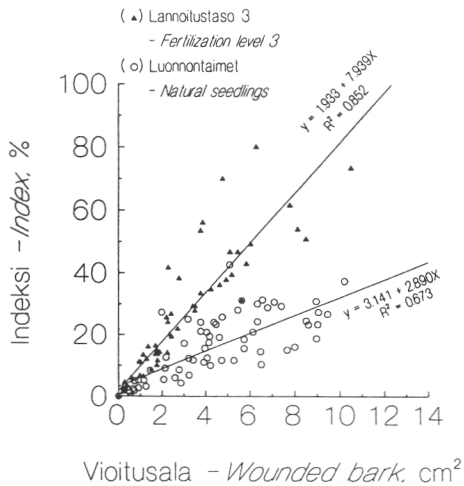
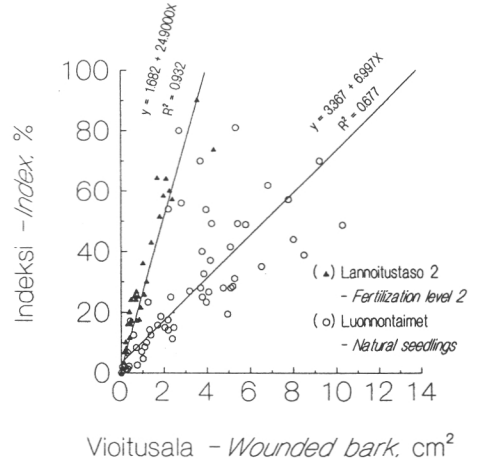
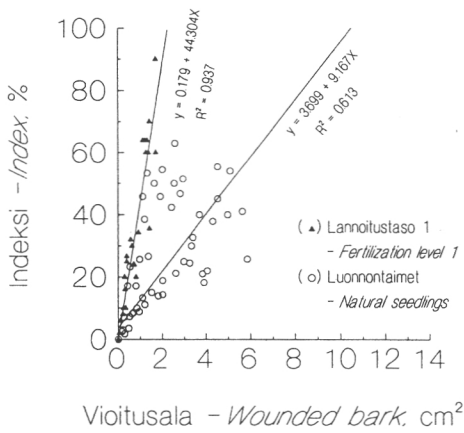
VOITTUMINEN - WOUNDING KUOLLEISUUS - MORTALITY



Kuva 6. Taimipareittainen vioittuminen ja kuolleisuus kokeessa B istutusvuonna ja kahtena vuotena vertailtuna taimialkuperittäin 1-4 McNemarin testillä. Ks. symbolit s. 3.

Figure 6. Wounding and mortality of plant pairs in experiment B during the years I-II, according to plant origins 1-4. McNemar test, see symbols on p. 3.

Koelalla B täyslannoitettujen taimien voitusalala oli alkuperittäin keskimäärin 4,58 cm², 4,67 cm², 4,63 cm² ja 3,85 cm². Se oli merkitsevästi suurempi kuin vastaavien lannoittamattomien taimien (0,87 cm², 0,97 cm², 1,03 cm² ja 0,92 cm²). Täyslannoitetut taimet tulivat myös haavaindeksin mukaan testaten ankarammin vioiteuiksi kuin lannoittamattomat taimet (merkkitesti p < 0,01) (kuva 8.)



Kuva 7. Tukkimiehentäin vioituksen ankaruus koela A:n istutustaimissa (lannoitustasot 1–4, taulukko 1) sekä pareina olleissa luonnontaimissa ilmaistuna taimen varren vioitusalan ja haavaindeksin välisenä riippuvuutena.
 Figure 7. Severity of *Hylobius*-damage during the first year in the experiment A. Relationships between the wounded bark area and damage index, according to fertilization levels 1–4 (Table 1), and compared with their natural counterparts.

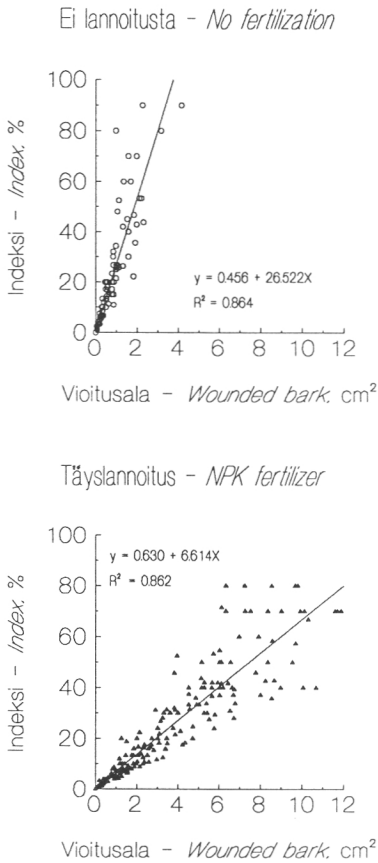
33. Taimien riski vioittua

Taimen riskiä vioittua tutkittiin tilastollisena todennäköisyytenä käyttäen apuna logistista regressiomallia. Vioittuneiksi luettiin ensimmäisen kasvukauden aikana vaurioituneet ($Y \geq 5\%$) taimet. Näin kokeessa A oli 436 vioittunutta ja 284 vioittumatonta tainta sekä kokeessa B vastaavasti 267 vioittunutta ja 211 vioittumatonta tainta.

Logistiseen malliin sovitettiin aluksi askeltavasti kaikki mahdolliset vioitusriskiä selittävät taimitunnusmuuttujat. Lopullisessa mallissa

päädettiin todetun ja mallin ennustaman vioittuneisuuden testejä hyväksi käyttäen sovitukseen, jossa kokeessa A vioitusta selitti taimen laatu (istutustaimen lannoitus, luonnontaimi), naapuritaimen vioittuminen sekä taimen pituus (liite 1A). Kokeessa B malliin otettiin selittäviksi muuttujiksi taimen risteytysalkuperä, lannoitusohjelma sekä naapuritaimen vioittuminen (liite 1B).

Vioittumisriski laskettiin selittävien muuttujien avulla luokitellusta taimiaineistosta käyttäen logistista mallia:



Kuva 8. Tukkimiehentäin vioituksen ankaruus lannoittamattomissa ja täyslannoitetuissa taimissa koealalla B ilmaistuna taimen varren vioitusalan ja haavaindeksin välisenä riippuvuutena ensimmäisenä vuotena. Taimi-alkuperät 1–4 yhdistetty.

Figure 8. Severity of *Hyllobius*-damage during the first year in experiment B. Relationships between the wounded bark area and damage index. Data from different seedling origins are combined.

$P = \ln(u) / [1 + \ln(u)]$
 jossa
 $P =$ Vioittuneiden taimien ennustettu osuus
 $u = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3$
 $b_0...b_3 =$ vakiotermi ja korrelaatiokerroin
 $X_1...X_3 =$ selittävät muuttujat

Molemmilla koealoilla taimien vioittumisessa oli selviä eroja taimiryhmien välillä. Vertailua haittasi kuitenkin se, että naapuritaimen vioitus lisäsi toisenkin taimen riskiä vioittua eikä koejärjestelyn avulla voitu päätellä, kumpaa tainta kärsäkäs oli ensimmäiseksi vioittanut. Sellaiset paritilanteet, jossa jompikumpi taimi vioittui

toisen taimen jäädessä koskemattomaksi, olivat siten luotettavampia tapauksia osoittamaan taimien erilaisuutta.

Kokeessa A tukkimiehentäi vioitti vähiten (20,8 %) pienikokoisia (alle 10 cm) lannoittamattomia istutustaimia, mikä sopi myös hyvin yhteen mallin antaman ennusteen kanssa (ennustettu $p = 0,19$). PK-lannoitetuista taimista vioittui 26,5 % ($p = 0,28$) ja samankokoisista luonnontaimista 33,9 % ($p = 0,37$). Normaalisti lannoitetun ja tyypellä lannoitetun taimen muodostaessa parin tukkimiehentäi vioitti yleensä molempia, joten vertailukelpoinen taimiaineisto jäi pieneksi. Suurin mallista laskettu riski vioittua oli kuitenkin kookkailla luonnontaimilla ($p = 0,97$), jotka kokeessakin vioittuivat 100 %:isesti (liite 1A).

Kokeessa B lannoitetuissa taimissa vioitukset olivat selvästi runsaampia kuin lannoittamattomissa (liite 1B). Taimi-alkuperien välillä ei ollut merkitseviä eroja. Lannoitusta ja taimen kokoa ei sovitettu yhtäaikaan malliin, koska taimen koko oli lannoituksesta selvästi riippuvainen. Koska lannoitetut taimet olivat lähes aina kookkaampia kuin lannoittamattomat, jää epävarmaksi missä määrin taimen riski vioittua johtui pelkästään koosta ja missä määrin lannoituksen muusta vaikutuksesta.

34. Vioittuminen ja kasvu

Vioitusten vaikutusta kasvuun tutkittiin vertaamalla taimien pituutta ja tyven läpimittaa toisen kasvukauden lopulla. Kokeessa A eläviä vioitettuja istutustaimia oli kuitenkin jäljellä vähän ja tilastollisesti luotettavien johtopäätösten teko on epävarmaa. Sen sijaan vioittuneita luonnontaimia oli elossa 32 kpl ja vioittumattomia 42 kpl. Vioittuneet taimet olivat merkittävästi kookkaampia kuin vioittumattomat taimet. Tämä johtui siitä, että tukkimiehentäi vioitti kookkaita taimia enemmän kuin pieniä, kuten edellä todettiin. Tarkasteltaessa suhteellista kasvua eli pituuden tai tyven paksuuden lisääntymistä vioittuneiden taimien pituuskasvu jäi merkittävästi pienemmäksi (t-testi, $p < 0,006$, $n = 74$). Tyviläpimitan kasvussa ei ollut merkitsevää eroa.

Kokeessa B vioittuneiden ja vioittumattomien istutustaimien suhteellinen kasvu oli samanlaista riippumatta siitä, oliko taimi lannoitettu vai lannoittamaton. Eloönjääneet lannoitetut taimet olivat kuitenkin toisen kasvukauden lopulla selvästi kookkaampia kuin lannoittamattomat (t-testi, pituus ja tyven läpimitta: $p < 0,000$, $n = 112$).

4. Taimien kuolleisuus

41. Kuolleisuus eri vuosina

Taimien kuolleisuus oli taimiryhmittäin samansuuntainen kuin niiden vuoittuvuus. Kokeessa A lannoittamattomia taimia kuoli vähiten, ensimmäisenä vuotena 43,3 % ja toisena vuotena kumulatiivisesti 49,5 %. PK-lannoitettuja taimia kuoli vastaavasti 47,8 % ja 52,2 %, täyslannoitettuja 55,3 % ja 69,7 %, sekä typellä lannoitettuja 49,5 % ja 61,9 %. Edellisiin lukuihin sisältyvät myös vuoittumattomina muista syistä kuolleet. Jos kuolleisuus lasketaan vain vuoittuneista taimista, oli taimiryhmien kuolleisuus vähän suurempi, mutta tasoerot säilyivät (taulukko 3).

Kokeessa A voitiin pareittain testattaessa lannoituksen vaikutusta verrata vain luonnontaimen kanssa. Tällöin sekä lannoittamattomat että täyslannoitetut taimet selvisivät yhtä hyvin kuin parina olleet luonnontaimet. PK-lannoitettu ja pelkällä typellä lannoitettu taimi selvisivät kuitenkin mahdollisesti (McNemarin testi $p < 0,05$) paremmin kuin luonnontaimi (kuva 5).

Kokeessa B lannoittamattomien taimien kumulatiivinen kuolleisuus (40,2 %) oli selvästi alempi kuin täyslannoitettujen (58,6 %) (taulukko 3). Risteytysalkuperän 4 taimista kuoli vähiten sekä täyslannoitettuja että lannoittamattomia ja samalla tätä alkuperää jäi kokonaisina taimipareinakin eniten (56,4 %) eloon (kuva 6). Hyvä menestys liittyi tällöin taimen alkuperään enemmän kuin lannoituksen vaikutukseen. Sen sijaan risteytysalkuperät 1 ja 3 menestyivät pareittain tarkastellen lannoittamattomina paremmin kuin lannoitettuna (McNemarin testi, $p < 0,05$), mutta parin molempien taimien eloonjääminen oli selvästi alkuperää 4 huonompi (28,0 % ja 22,0 %) (kuva 6).

42. Taimien riski kuolla

Taimien riskiä kuolla tutkittiin samoin tilastollisin menetelmin kuin edellä niiden riskiä vuoittua. Ensimmäisenä vuonna vuoittuneista taimis-

ta oli kokeessa A kahden koevuoden jälkeen lopulla 111 eloonjäänyttä ja 383 kuollutta sekä kokeessa B vastaavasti 115 elävää ja 176 kuollutta tainta (vrt. taulukko 3).

Vaikka vuoittuminen edellä korreloi sen parin vuoittumisen kanssa, taimen kuolleisuudessa ei tässä todettu vastaavaa riippuvuutta. Kärsäkäs saattoi aluksi syödä molempia taimia, mutta jatkoi myöhemmin syömistä vain toisessa.

Kokeessa A taimien kuolinriski oli logistisen mallin avulla tutkittaessa voimakkaasti riippuvainen varren kaulauksesta (Y) sekä taimiryhmästä (istutustaimien lannoitusohjelmat ja luonnontaimet, liite 2A). Kokeessa B kuolleisuus oli ennenkaikkea riippuvainen kaulauksesta ja lannoituksesta, eikä taimen risteytysalkuperän lisääminen selittäväksi muuttujaksi malliin enää parantanut sen selitystasetta (liite 2B).

43. Taimien kunto ja kehityskelpoisuus

Koejakson lopulla normaaleiksi luokiteltuja, terveinä säilyneitä istutustaimia oli alkuperäisestä taimimäärästä kokeessa A lannoittamattomista 47,4 %, PK-lannoitetuista 44,4 %, täyslannoitetuista 21,1% ja typellä lannoitetuista 33,3 % sekä vastaavista pareina olleista luonnontaimista keskimäärin 21,7 %. Kokeessa B kehityskelpoisia lannoittamattomista taimista oli 70,4 % ja lannoitetuista 50,0 %.

Vikaisten ja kituvien taimien osuus eloonjääneistä oli koealalla A lannoittamattomista 6,1 %, PK-lannoitetuista 7,0 %, täyslannoitetuista 30,4 % ja typellä lannoitetuista 13,5 % sekä luonnontaimista 27,8 %. Taimiryhmät poikkesivat kehityskelpoisuudeltaan toisistaan (khiineliö-testi, $p < 0,0053$, $df = 4$), mutta jäljelle jäänyt taimiaineisto oli supistunut jo melko pieneksi ($n = 260$).

Kokeessa B eloonjääneistä lannoittamattomista taimista kehittyi normaalisti 83,2 %, kun taas lannoitetuista taimista kelvollisia oli merkittävästi vähemmän, 63,6 % (Khiineliö-testi, $p < 0,0005$, $df = 2$).

5. Tulosten tarkastelu

Tulokset osoittavat, että taimitarhan normaali täyslannoitus lisää taimen alttiutta tukkimiehentäin voituksille. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että täyslannoitus lisäsi olennaisesti taimien pituutta, tyven läpimittaa ja kuoren paksuutta. Nilan suhteellisen paksuuden lisääntyessä alttius ei kuitenkaan näytä lisääntyvän, sillä lannoittamattomilla ja PK-lannoitetuilla taimilla nila oli paksumpi kuin täyslannoitetuilla ja pelkällä typellä lannoitetuilla taimilla.

Kookkaat taimet olivat aina herkempiä voituksille kuin saman taimiryhmään kuuluvat pienemmät taimet. Logistisen mallin avulla tämä pyrittiin huomioimaan. Tällöin kävi ilmi, että taimen lannoitustaso sovitui malliin aina suuremmalla merkitsevyydellä kuin taimen koko tai niiden yhteisvaikutus. On kuitenkin huomattava, että taimen koko riippui käytetystä lannoituksesta. Samankokoisia, eri tavoin lannoitettuja taimia olisi pitänyt saada mukaan aineistoon runsaammin, jotta koon ja lannoitustason vaikutusta olisi voitu arvioida yksityiskohtaisemmin.

Neulasten pääravinnepitoisuudet eivät ole selvässä yhteydessä taimien alttiuteen tukkimiehentäille. Vaikka kokeessa B lannoitetut taimet olivat herkempiä voittumaan, ei niiden neulasten pääravinnepitoisuudessa ollut selviä eroja. Lannoituksen vaikutus näkyi selvästi neulasten koossa (100 neulasen paino): täyslannoitettujen taimien neulaset olivat yli kaksi kertaa kookkaampia kuin muilla (taulukko 2). Kookkaat neulaset saattavat vaikuttaa taimen houkuttelevaan tuoksuasuun, mutta tällä tutkimuksella ei sitä voida lähemmin osoittaa.

Tässä tutkimuksessa käytettiin samoja menetelmiä kuin aikaisemmassa työssämme (Selander ym. 1990). Myös siinä mukana olleet normaalisti täyslannoitetut taimet menestyivät luonnontaimia huomattavasti enemmän ensimmäisenä koevuotena. Lähemmin voittumistapaa tarkastellen havaittiin sekä tässä tutkimuksessa (kuva 7) että aiemmassa (Selander ym. 1990, kuva 7), että taimien kokoerotkin huomioiden istutustaimien viotus oli ankarampaa kuin luonnontaimien.

Käsillä olevassa tutkimuksessa voitiin vertailla keskenään myös lannoittamattoman istutustaimen ja luonnontaimen tuhonkestävyyttä. Tällöin luonnontaimet olivat herkempiä voittumaan kuin istutustaimet, mutta kuolleisuudessa ei ollut enää merkitsevää eroa (kuva 5). On kuitenkin huomattava, että viotuksen laatua ja määrää

lähemmin tarkasteltaessa (kuva 7) lannoittamattomat istutustaimet voittivat luonnontaimia vakavammin, samoin kuin muutkin istutetut taimet luonnontaimiin verrattuna. Käytettävissä olleet menetelmät eivät kuitenkaan riittä selvittämään syitä tähän, vaan tarvittaisiin esimerkiksi kemiallisia menetelmiä eri tavoin voittuneiden taimien vertailemiseksi.

Taimien kasvatuksessa käytetään normaalisti täyslannoitusta, jossa varsinkin typpeä on vähintään se määrä, minkä taimi pystyy käyttämään. Kasvukauden lopulla annettavalla PK-lannoituksella pyritään pysäyttämään verson kasvu ja varmistamaan verson puutuminen ennen talvea. On otaksuttu, että lannoitettu ja kasvullisesti hyvin menestynyt taimi kestävä parhaiten noston, varastoinnin, kuljetuksen ja istutuksen aiheuttaman rasituksen (esim. Rikala 1982). Nyt esillä oleva tutkimus osoittaa kuitenkin, että taimen normaalilla täyslannoituksella voi olla epäsuotuisia vaikutuksia.

Tutkimuksen täyslannoitetut taimet vastaavat kasvatuskäytäntöä. Sen sijaan PK-lannoitetut, pelkällä typellä lannoitetut ja lannoittamattomat taimet ovat välttisevan käytäntöön verrattuna poikkeuksellisesti kasvatettuja. Näin kasvatettujen taimien menestymistä maastossa ei ole tutkittu (vrt. Parviainen 1988 ss. 90-120). Taimitarhalannoituksen vaikutusta tulisi tutkia taimen menestymisen ja varsinkin tuhonkestävyyden kannalta vielä pitkään istutuksen jälkeen.

Yleensäkin lannoituksen välillinen vaikutus metsän tuhohyönteisten esiintymiseen tunnetaan varsin puutteellisesti. Typpilannoitus lisää puun terpeenin kokonaismäärää (Hiltunen ym. 1975), mutta lannoitettu puu ei tukkimiehentäin pyyntipölkkinä poikkea houkuttelevuudeltaan lannoittamattomasta (Löyttyniemi & Hiltunen 1976).

Lannoituksen vaikutusta muihin metsätuholaisiin kuin tukkimiehentäihin on selvitetty metsän lannoituskokeiden yhteydessä. Tutkimuksen kohteena on ollut lähinnä varttuneen metsän tuholaiset kuten männyn versoja tuhoava ytimennävertäjä (Löyttyniemi 1978), kuorta imevä lannoittava punalattikka (Heliövaara ym. 1983), neulasia syövä ruskomäntypistiäinen (Larsson & Tenow 1984) sekä eräät männyn neulasia syövät kovakuoriaiset (Heliövaara & Löyttyniemi 1989). Lannoituksen vaikutus ei ole yksiselitteinen, sillä lannoitus saattaa lisätä

tuholaisten määrää, mutta saatu puun kasvun lisäksi voi olla suurempi kuin tuholaisten aiheuttaman menetys.

Tukkimiehentäi poikkeaa edellä mainituista tuholaista esimerkiksi siinä, että kärsäkäs liikkuu vapaasti taimelta toiselle ja käyttää ravinnokseen kuorta ja nilaa. Se syö usein myös vasta istutettuja taimia, jotka saattavat olla huonossa kunnossa kuljetuksen, varastoinnin ja istutuksen vuoksi (vrt. Kauppi 1984). Istutus altistaa tainta kuivuuden vaikutuksille ja muille normaalia aineenvaihduntaa häiritseville tekijöille (esim. Levitt 1972, Hale & Orcutt 1987, Speight & Wainhouse 1989). Hallman'in ym. (1978) mukaan taimi on istutuksen jälkeen koko ensimmäisen kasvukauden rasiutustilassa, jossa fotosynteesi saattaa alentua puoleen normaalista. Istutetun taimen fotosynteesikapasiteetin voimakas aleneminen vaikuttaa luonnollisesti myös taimen sekundaariaineenvaihduntaan ja siten tuholaissille haitallisten pihkan aineosien kuten terpeenien ja fenolien biosynteesin ehtymiseen. Tässä tutkimuksessa samoin kuin aikaisemmin (Selander ym. 1990) todettu selvä tasoero istutustaimien ja luonnontaimien vioituksen vakavuudessa saattaakin olla seurausta tällaisesta istutustaimille ominaisesta rasiutuksesta.

Rasiutukseen liittyvä pitkäaikainen veden puute voi johtaa lievästikin vioittuneen taimen kuolemaan sekundaariaineenvaihdunnan ehtyessä ja luontaisen puolustusjärjestelmän lakatessa toimimasta (vrt. Gershenzon 1984). Lievässä rasiutustilassa hyvin ravittu taimi saattaa kuitenkin selviytyä ja reagoida nopeasti yhteyttämisen vähenemiseen rajoittamalla kasvuaan, jolloin

hiilihydraatteja jää enemmän tarpeellisten puolustusaineiden synteisiin (vrt. Kramer 1983, Sharpe ym. 1985), pihkan muodostumiseen (Selander & Kalo 1979) sekä uusien vioitusten paranemiseen (vrt. Gref & Eriksson 1985, Ericsson ym. 1988, Långström & Hellqvist 1989). Tässä tutkimuksessa todetut tasoerot lannoittamattomien ja lannoitettujen istutustaimien vioituksen vakavuuden kesken voivat olla seurausta tämän tyyppisestä tuhonkestävyydestä, jota tulisi lähemmin selvittää.

Tutkimuksessa todetut tuhonkestävyyserot ovat mahdollisesti useiden välillisesti lannoitukseen liittyvien seikkojen yhteisvaikutusta. Niissä on keskeistä, paitsi tässä tutkitut taimen koon ja kuoren tunnuksat, myös taimen fysiologinen tila ja kyky kestää istutusshokki ja samalla säilyttää pihkaneritykseen perustuva puolustautumiskyky varsinkin heti istutuksen jälkeen. Lisäksi taimien väliset erot, paitsi nilan määrässä, myös kärsäkkään ravinnoksi kelpaavuudessa vaikuttavat ilmeisesti tuholaisten käyttäytymiseen ja siten tulevan taimivaurion vakavuuteen.

Tutkimuksen mukaan näyttää siltä, että taimitarhalla voitaisiin parantaa taimen maastokestävyyttä tukkimiehentäitä vastaan sopeuttamalla lannoitusohjelmaa siten, että tyypilannoitusta supistetaan nykyistä käytäntöä aikaisemmin ja kalium- ja fosforilannoitusta lisätään kasvatusjakson lopussa. Jatkotutkimuksen olisi syytä selvittää vastaako näin saatu tuhonkestävyyden parannus mahdollisia tyyppiköyhän taimikasvatuksen haittoja ja saadaanko näin kelvollinen viljelytulos pidemmälläkin ajanjaksolla.

Kirjallisuus — References

- Annala, E. 1982. Lindaanin käyttö männyn paperikennotaimien suojaamiseksi tukkimiehentäin tuhoilta. Summary: Lindane treatment against *Hylobius* damage on paper pot seedlings of Scots pine. *Folia Forestalia* 512. 14 s.
- Anttila, T. & Lähde, E. 1977. Lannoituksen vaikutus paperikennoissa kasvatettujen männyn taimien kehitykseen taimitarhassa. Summary: Effect of fertilization on the development of containerized pine seedlings in the nursery. *Folia Forestalia* 314. 19 s.
- Eidmann, H.H. 1969. Rüsselkäferschäden an verschiedenen Nahrungspflanzen. *Anzeiger für Schädlingskunde und Pflanzenschutz* 42: 22–26.
- & von Sydow, F. 1989. Stockings for protection of containerized conifer seedlings against pine weevil (*Hylobius abietis* L.) damage. *Scandinavian Journal of Forest Research* 4: 537–547.
- Engelman, L. 1988. Stepwise logistic regression. Julkaisussa: Dixon, W.J. (toim.) *BMDP statistical software manual* vol. 2, University of California Press, Berkeley. s. 941–969 ja 1168–1169.
- Ericsson, A., Gref, R., Hellqvist, C. & Långström, B. 1988. Wound response of living bark of Scots pine seedlings and its influence on feeding by the weevil, *Hylobius abietis*. Teoksessa: Mattson, W.J., Levieux, J. & Bernard-Degan, C. (toim.) *Mechanisms of woody plant defenses against insects*. Springer-Verlag, New York, s. 227–235.
- Gershenzon, J. 1984. Changes in the level of plant secondary metabolites under water and nutrient stress. Teoksessa: Timmermann, B.N., Steelink, C. & Loewus, F.A. (toim.) *Phytochemical adaptation to stress*, s. 273–320. Plenum, New York.
- Gref, R. & Ericsson, A. 1985. Wound-induced changes of

- resin acid concentration in living bark of Scots pine seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 15: 92–96.
- Hale, M.G. & Orcutt, D.M. 1987. *The physiology of plants under stress*. John Wiley & Sons, New York. 206 s.
- Hallman, E., Hari, P., Räsänen, P.K. & Smolander 1978. The effect of planting shock on the transpiration, photosynthesis, and height increment of Scots pine seedlings. *Seloste: Istutusshokin vaikutus männyntaimien transpiraatioon, fotosynteesiin ja pituuskasvuun*. *Acta Forestalia Fennica* 161. 26 s.
- Heikkilä, R. 1975. Männyn viljelytaimistojen eläintuhoista Pohjois-Suomessa. *Metsäntutkimuslaitos. Pyhäkosken tutkimuskeskuksen tiedonantoja* 14: 20–26.
- 1981. Männyn istutustaimikkojen tuhot Pohjois-Suomessa. Summary: Damage in Scots pine plantations in northern Finland. *Folia Forestalia* 479. 22 s.
- Heliövaara, K., Terho, E. & Annala, E. 1983. Effect of nitrogen fertilization and insecticides on the population density of the pine bark bug, *Aradus cinnamomeus* (Heteroptera, Aradidae). *Seloste: Typpilannoituksen ja eräiden hyönteismyrkköjen vaikutus punalattikan esiintymisrunsauteen*. *Silva Fennica* 17: 351–357.
- & Löyttyniemi, K. 1989. Effect of forest fertilization on pine needle-feeding Coleoptera. *Seloste: Lannoituksen vaikutus männyn neulasilla eläviin kovakuoriaisiin*. *Silva Fennica* 23: 279–286.
- Hiltunen, R., Schantz, M. & Löyttyniemi, K. 1975. The effect of fertilization on the composition and the quantity of volatile oil in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 85(1). 14 s.
- Häkkinen, R. & Linnilä, K. 1987. Logistiset ja logilineaariset mallit ja niiden ratkaiseminen BMDP-ohjelmistolla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 279. 47 s.
- Immonen, A. 1990. Männyn (*Pinus sylvestris* L.) taimien alttiudesta tukkimiehentäille (*Hylobius abietis* L.). Joensuun yliopisto, biologian laitos. Pro gradu-työ. 106 s..
- Kauppi, P. 1984. Stress, strain, and injury: Scots pine transplants from lifting to acclimation on the planting site. *Seloste: Metsänviljelytaimien vaurioituminen noston ja istutuksen välillä*. *Acta Forestalia Fennica* 185. 49 s.
- Kramer, P.J. 1983. *Water relations of plants*. Academic Press. New York. 489 s.
- Larsson, S. & Tenow, O. 1984. Areal distribution of a Neodiprion sertifer outbreak on Scots pine as related to stand condition. *Holarctic Ecology* 7: 81–90.
- Levitt, J. 1972. Responses of plants to environmental stresses. Academic Press. New York. 567 s.
- Levula, T. & Heikkilä, R. 1979. Maankäsittelyn vaikutus männyntaimien alkukehitykseen Lapissa. *Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimuskeskuksen tiedonantoja* 18. 12 s.
- 1981. Maanmuokkauksen vaikutus männyntaimien alkukehitykseen Pohjois-Karjalassa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 11. 12 s.
- Lilja, S. 1988. Metsätuhot ja niiden torjunta. Helsingin Yliopiston neuvontaopin ja täydennyskoulutuksen keskus. *Monistesarja* 88(4): 5–17.
- Lindström, A., Hellqvist, C., Gyldberg, B., Långström, B. & Mattson, A. 1986. Field performance of protective collar against damage by *Hylobius abietis*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 1: 3–15.
- Långström, B. 1971. Insektisidien käyttö havupuiden taimien suojaukseen tukkimiehentäin (*Hylobius abietis* L.) tuhoilta. Summary: The use of insecticides for protection of coniferous planting stock against the large pine weevil (*Hylobius abietis* L.). *Folia Forestalia* 129. 8 s.
- 1975. Eräiden insektisidien testaus tukkimiehentäin, *Hylobius abietis* L. (Col., Curculionidae), tuhojen torjumiseksi. Summary: Testing of same insecticides for the control of damages caused by the large pine weevil, *Hylobius abietis* L. (Col., Curculionidae). *Folia Forestalia* 226. 11 s.
- 1982. Abundance and seasonal activity of adult *Hylobius*-weevils in reforestation areas during first years following final felling. *Seloste: Tukkipäätösaikuisen runsaus ja esiintyminen avohakkuuolilla päättehakkuihin jälkeisinä vuosina*. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 106. 23 s.
- & Hellqvist, C. 1989. Effects of defoliation, decapitation, and partial girdling on root and shoot growth of pine and spruce seedlings. Teoksessa: Alfaro, R.I. & Glover, S.G. (toim.) *Insects affecting reforestation: Biology and damage*. Proceedings of a meeting of the IUFRO Working Group on Insects Affecting Reforestations. Vancouver, July, 1988. s. 89–100.
- Löyttyniemi, K. 1978. Metsälannoituksen vaikutuksesta ytimennävertäjiin (*Tomicus* spp., Col., Scolytidae). Summary: Effect of forest fertilization on pine shoot beetles (*Tomicus* spp., Col., Scolytidae). *Folia Forestalia* 348. 19 s.
- & Hiltunen, R. 1976. The effect of nitrogen fertilization and terpene content on the attractiveness of pine trapping bolts to *Hylobius abietis* L. and *Pissodes pini* F. (Col., Curculionidae). *Annales Entomologici Fennici* 42: 185–188.
- Nenonen, M. & Jukola, J. 1960. Tukkimiehentäin (*Hylobius abietis*) tuhoista männyntaimistoissa ja niiden torjunnasta DDT:n avulla. Summary: Pine weevil (*Hylobius abietis*) injuries and their control by DDT in Scotch pine seedling stands. *Silva Fennica* 104(2). 30 s.
- Niemelä, T., Pyykkö, M. & Uotila, M. 1974. Mikrotekniikan kurssi. Helsingin yliopiston kasvitieteen laitoksen monisteita 14. 38 s.
- Norusis, M.J. 1988. SPSS/PC+ V2.0 Base Manual. SPSS Inc. Chicago.
- 1989. SPSS/PC+ Update for V3.0 and V3.1. SPSS Inc. Chicago.
- Parviainen, J. 1988. Metsänviljely. Perusteet ja sovellukset. *Silva Carelica* 9. 177 s.
- Pullinen, J. 1989. Mahdollisuuksista ennakoita uudistusalan kasvupaikkatekijöiden perusteella tukkimiehentäin tuhoja männyn taimilla. Helsingin Yliopisto. Maatalous- ja metsäeläintieteen laitos. Pro gradu-työ. 94 s.
- Puttonen, P. 1986. Carbohydrate reserves in *Pinus sylvestris* seedling needles as an attribute of seedling vigour. *Scandinavian Journal of Forest Research* 1: 181–193.
- Rikala, R. 1982. Gödslingens och bevattningens inverkan på tallplantornas kvalitet. Teoksessa: Puttonen, P. (toim.) *Vitality and quality of nursery stock*. Proceedings of a nordic symposium, Hyytiälä, January, 1982. s. 111–122.
- 1986. Lannoituksen vaikutus männyn paakkutaimien kehittymiseen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 221. 22 s.

- 1989. Planting performance of size graded Scots pine seedlings. *Forestry* 62(Supplement): 29–37.
- & Huurinainen, S. 1990. Lannoituksen vaikutus kasvuvuotisen männyn paakkutaimen kasvuun taimitarhalla ja istutuksen jälkeen. Summary: Effect of fertilization on the nursery growth and outplanting success of two-year-old containerized Scots pine seedlings. *Folia Forestalia* 745. 16 s.
- Rummukainen, U. 1970. Tukkimiehentäin, *Hylobius abietis* L., ennakkotorjunnasta taimitarhassa. Summary: On the prevention of *Hylobius abietis* L. in the nursery. *Folia Forestalia* 76. 10 s.
- Selander, J., Immonen, A. & Raukko, P. 1990. Luontaisen ja istutetun männyntaimen kestävyys tukkimiehentäitä vastaan. Summary: Resistance of naturally regenerated and nursery-raised Scots pine seedlings to the large pine weevil, *Hylobius abietis* (Coleoptera, Curculionidae). *Folia Forestalia* 766. 19 s.
- & Kalo, P. 1979. Männyn taimen pihkan monoterpeenien vaikutuksesta tuhonnekävyyteen tukkimiehentäitä, *Hylobius abietis* L. (Coleoptera, Curculionidae) vastaan. Summary: Evaluation of resistance of Scots pine seedlings against the large pine weevil, *Hylobius abietis* L. (Coleoptera, Curculionidae) in relation to their monoterpane composition. *Silva Fennica* 13: 115–130.
- Sharpe, P. J. H., Wu, H., Cates, R.G. & Goeschl, J.D. 1985. Energetics of pine defence systems to bark beetle attack. Teoksessa: Branham, S.J. & Thatcher, R.C. (toim.). Integrated pest management research symposium: The proceedings, ss. 206–223. USDA Forest Service General technical report SO-56.
- Speight, M.R. & Wainhouse, D. 1989. Ecology and management of forest insects. Clarendon Press, Oxford.
- Viljavuustutkimuksen tulkinta metsäpuiden taimituotannossa. 1988. Viljavuuspalvelu Oy. Moniste 11 s.

Total of 48 references

Summary

Effect of fertilization on the susceptibility of Scots pine seedlings to the large pine weevil, *Hylobius abietis* (Coleoptera, Curculionidae)

Scots pine seedlings are usually given full NPK fertilization during the growing season in the nursery. Optimum nitrogen fertilization aims at maximizing shoot growth while PK fertilizer given in late summer terminates the shoot growth and prepares the seedlings for dormancy (Rikala 1982, 1986, Rikala & Huurinainen 1990). This practice results in the production of tall and vigorous-looking seedlings, which are usually regarded to be the most resistant to attack by the large pine weevil (e.g. Eidmann 1969).

However, there is very little experimental evidence available about why tall, vigorous-looking and full NPK fertilized seedlings would be better able to withstand weevil damage. It is known that if nitrogen fertilization is reduced, the seedlings are smaller in size, of different form, and the properties of stem phloem as food for the weevils are also likely to change.

The purpose of this study was to find out how seedlings raised without fertilizer, or seedlings given PK, or nitrogen only, perform in the field as to the weevil's damage, compared with fully NPK fertilized seedlings and with naturally grown seedlings.

Material and methods

A two-year study was carried out in a freshly cut seed stand at Vilppula (N 61°01', E 24°48'), central Finland, during 1986–1987. The experimental design was based on a total of 360 (Experiment A) and 239 (Experiment B) plant pairs, corresponding to the field trials A and B. The planted seedlings were two-year-old, containerized seedlings, and were raised using four different fertilization levels (Table 1). The nutrient concentrations and 100-

needle weight of planted seedlings were determined (Table 2), and the thickness of the stem bark and cross-sectional proportion of radial phloem in the stem was measured (Figs. 1 and 2).

In experiment A, each plant pair consisted of a naturally grown seedling, and a nursery-grown counterpart planted at a distance of 10–15 cm from the natural seedlings of about the same stem diameter (Figure 3). In experiment B, two transplanted seedlings, one fertilized with NPK and one unfertilized, were planted in a similar way. The latter seedlings (B) were raised from seed of four different controlled-crossing pine origins (Table 2). No insecticides were used to protect the plants.

The seedlings were inspected individually three times during the first year (1986): shortly after the establishment of the trial in early June, and again in July and in August. During the second year (1987) the plants were examined in August. Fresh wounds and scars from earlier attacks were noted separately.

The methods used in inspecting the seedlings and the statistical treatment of the data were the same as used in an earlier study (Selander & al. 1990). The severity of weevil damage to the stem bark was estimated using three variables. The girdling percentage (Y) was used to indicate the maximum circumferential wounding on the stem surface. The variable Y was visually estimated using a scale of 0 to 100 % with 5 %-intervals. In general, a seedling was considered to have been attacked if Y was the same or greater than 5 %. Secondly, the extent (L cm) of wounded bark in vertical direction along the stem surface was measured. Thirdly, the wounded bark area percentage (H %) within L was estimated in 5 % intervals.

The shoot height and stem diameter of the surviving seedlings were also measured. It was thus possible to estimate the wounded bark area (A cm²) on each plant, as

well as the wounding index (I %) or the damage from the whole stem bark surface of individual seedlings (excluding the current year's shoot).

Results

Susceptibility of seedlings to attack

During the two growing seasons, the seedlings in experiment A with NPK and N fertilization were more frequently attacked than those given PK or no fertilization. However, naturally grown seedlings were always more attacked than their planted counterpart. In experiment B, the NPK fertilized seedlings were clearly more frequently attacked than their unfertilized counterparts (Table 3).

The seedlings without fertilization or those given PK fertilizer were also less frequently attacked (Figs. 5 and 6).

The area of wounded bark was the largest in the NPK fertilized seedlings (mean 3.13 cm²) compared with the PK fertilized ones (1.20 cm²), unfertilized ones (0.79 cm²) and those given nitrogen fertilization alone (1.69 cm²). The wounded bark surface was larger in the natural seedlings (Sign test $P < 0.001$), but according to the wounding index ($P < 0.001$) the planted seedlings were more severely wounded than their natural counterparts (Figure 7).

In experiment B, NPK fertilized seedlings were significantly more severely (Sign test $P < 0.01$) attacked than their unfertilized counterparts (Figure 8).

The risk of attack was studied by constructing a logistic regression model to explain the probability on an individual plant. Only the data of the first year's experiment were considered: 436 once or more wounded seedlings and 284 sound seedlings in experiment A (Appendix 1A), and 267 or 211 seedlings respectively experiment B (Appendix 1B). The risk of weevil attack on the seedlings was clearly dependent of the fertilization levels, plant size, and attack on the counterpart seedling.

Seedling survival

In experiment A, the seedlings without fertilization and those given PK fertilizer had a lower mortality (49.5 % and 52.2 %, respectively) than the normally NPK fertilized seedlings (69.7 %). The survival of N-fertilized seedlings was 61.9 % (Table 3). The natural seedlings had a better survival during the first year than their NPK fertilized counterparts, but during the second year the difference was statistically more significant. PK fertilized and N-fertilized seedlings performed slightly better (McNemar test, $P < 0.05$) than the natural seedlings, but there was significant difference between the unfertilized and natural seedlings (Figure 5).

In experiment B, the unfertilized seedlings had a lower mortality than their NPK fertilized counterparts (Table 3, Figure 6).

The risk of seedling mortality was studied using a

similar logistic model as above. The data included 111 surviving and 383 dead seedlings in experiment A (Appendix 2A), and 115 and 176 seedling respectively in experiment B (Appendix 2B). Only wounded seedlings were included in the model. The risk of seedling mortality was clearly dependent on the fertilization level and severity of damage (girdling). The effect of genetic origin in experiment B was also tested in the model, but it did not improve the goodness of model fit.

Discussion

The results demonstrated that the NPK fertilized seedlings were more susceptible to weevil damage than those given PK fertilization or no fertilizer at all. The seedlings with a less frequent attack incidence and a better survival were characterized by their smaller height, thinner stem, and smaller needle size, but on the other hand, their phloem tissue was relatively thicker than that of the fully fertilized seedlings. Nitrogen fertilization seemed to be associated with a larger amount of wood rather than bark and increased needle biomass.

The alternative fertilization levels tested in this study are unusual, and not used in common nursery practice at all. Furthermore, no silvicultural studies have been carried out on the long-term performance of such seedlings.

It was difficult in this study to distinguish between the effects of seedling size and other possible effects of fertilization on the degree of weevil attack. This is why the seedlings given low doses of fertilizer were smaller in the nursery, and there were no similarly-sized but differently fertilized seedlings available for the trial.

There are several possible reasons for the better performance of the unfertilized seedlings. Transplanting shock (Kauppi 1984) may possibly have different effects on differently fertilized seedlings. Such shock predisposes the seedlings to the effects of water deficiency and disturbances in primary metabolism (e.g. Hale & Orcutt 1987, Speight & Wainhouse 1989, pp. 98–107). According to Hallman & al. (1978), transplanting shock in pine seedlings can reduce the daily amount of photosynthesis to half the potential capacity. The reduction of primary metabolism is generally associated with the biosynthesis of secondary metabolites that play a role in the plant's defences against insect attack.

A severe water deficiency can break down the defence mechanisms of plants owing to a reduction in secondary metabolism and lead to death (cf. Gershenson 1984). In a case of less severe stress, the plant may be capable of reacting to the loss in photosynthesis by rapidly reducing growth, and thus save or even increase the carbohydrate reserves (cf. Kramer 1983, Sharpe & al. 1985). Hypothetically, there would be carbohydrate reserves in the shock-affected pine seedlings available for allocation to the biosynthesis of repellent monoterpenes (e.g. Selander & Kalo 1979), as well as resin acids and other chemicals that can improve the defence system of the seedling against weevil feeding (Gref & Ericsson 1985, Ericsson & al. 1988, Långström ja Hellqvist 1989).

The observed differences in the susceptibility of the seedlings to weevils' attack may thus be due to the extent to which the differently fertilized seedlings can withstand planting shock, as well as due to the quantity of phloem available for feeding and its nutritional properties. In addition, a small seedling size may reduce its appearance and make it less attractive to the weevils.

The results indicate that nursery fertilization has considerable effects on the success of transplanted seedlings success in the field. These results were obtained over a relatively short time period but do, however, corroborate our earlier results (Selander & al. 1990). They indicate that more research still has to be done on the effects of seedling fertilization on success in reforestation.

Liite 1A. Logistisen voittumisriskimallin muuttujat sekä todetun ja ennustetun voittuneisuuden vertailu ensimmäisenä kasvukautena kokeessa A.
Appendix 1A. The variables of the logistic risk model, and comparison between the observed and predicted occurrence of wounding during the first season in experiment A.

Mallin selittävät muuttujat Dependent variables in model			Todettu voittuneisuus Observed wounding			a) Ennuste Predicted	
Taimilaji/lannoitustaso Type of plant/ fertilization level	Pari vioittui? Counterpart wounded?	Pituus cm Height cm	Kyllä Yes n	Ei No n	Yht Total n	%	P =
Luonnontaimi Natural plant	Ei — No	-10	20	39	59	33,9	0,37
	Ei — No	11–19	55	25	80	68,8	0,67
	Ei — No	20–29	31	5	36	81,1	0,85
	Ei — No	30–46	11	1	12	91,7	0,95
	Kyllä — Yes	-10	8	11	19	42,1	0,53
	Kyllä — Yes	11–19	46	9	55	83,6	0,80
	Kyllä — Yes	20–29	77	7	84	91,7	0,92
Ei lannoitusta Not fertilized	Kyllä — Yes	30–46	11	0	15	100,0	0,97
	Ei — No	-10	10	38	48	20,8	0,19
PK-lannoitus PK fertilizer	Kyllä — Yes	-10	14	35	49	28,6	0,31
	Ei — No	-10	9	25	34	26,5	0,28
	Kyllä — Yes	-10	24	31	55	43,6	0,43
Täyslannoitus NPK fertilization	Kyllä — Yes	11–19	1	0	1	100,0	0,72
	Ei — No	-10	1	1	2	50,0	0,40
	Ei — No	11–19	4	3	7	57,1	0,70
	Kyllä — Yes	-10	15	7	22	68,2	0,57
Tyypilannoitus N fertilizer	Kyllä — Yes	11–19	35	10	45	77,8	0,82
	Ei — No	-10	2	3	5	40,0	0,36
	Ei — No	11–19	1	0	1	100,0	0,66
	Kyllä — Yes	-10	28	24	52	53,9	0,52
	Kyllä — Yes	11–19	29	10	39	74,4	0,79

a) Todetun ja ennustetun voittuneisuuden yhteensopivuudesta — Goodness of fit between observed and predicted occurrence of wounding: Chi-square $P = 0,998$; Hosmer-Lemeshow $P = 0,998$; C.C.Brown $P = 0,954$.

Liite 1B. Logistisen vioittumisriskimallin muuttujat sekä todetun ja ennustetun vioittuneisuuden vertailu ensimmäisenä kasvukautena kokeessa B.

Appendix 1B. The variables of the logistic model and comparison between the observed and predicted incidence of wounding during the first season in experiment B.

Mallin selittävät muuttujat <i>Dependent variables in model</i>			Todettu vioittuneisuus <i>Observed wounding</i>				^{a)} Ennuste <i>Predicted</i>
Taimialkuperä <i>Origin of seedlings</i>	Pari vioittui? <i>Counterpart wounded?</i>	Lannoitus <i>Fertilization</i>	Kyllä <i>Yes</i> n	Ei <i>No</i> n	Yht <i>Total</i> n	%	P =
1. G1-78-365 E 7190 x E 365	Ei — <i>No</i>	Ei — <i>No</i>	5	17	22	22,7	0,23
	Ei — <i>No</i>	Kyllä — <i>Yes</i>	47	17	64	73,4	0,77
	Kyllä — <i>Yes</i>	Ei — <i>No</i>	31	47	78	39,7	0,37
	Kyllä — <i>Yes</i>	Kyllä — <i>Yes</i>	31	5	36	86,1	0,86
2. G1-78-340 E 25 x K 34	Ei — <i>No</i>	Ei — <i>No</i>	3	11	14	21,4	0,19
	Ei — <i>No</i>	Kyllä — <i>Yes</i>	24	11	35	68,6	0,71
	Kyllä — <i>Yes</i>	Ei — <i>No</i>	12	24	36	33,3	0,31
	Kyllä — <i>Yes</i>	Kyllä — <i>Yes</i>	12	3	15	80,0	0,83
3. G1-78-349 K 216 x K 223	Ei — <i>No</i>	Ei — <i>No</i>	2	3	5	40,0	0,29
	Ei — <i>No</i>	Kyllä — <i>Yes</i>	28	3	31	90,3	0,82
	Kyllä — <i>Yes</i>	Ei — <i>No</i>	17	28	45	37,8	0,45
	Kyllä — <i>Yes</i>	Kyllä — <i>Yes</i>	17	2	19	89,5	0,90
4. G1-78-327 P 403 x P 418	Ei — <i>No</i>	Ei — <i>No</i>	1	9	10	10,0	0,17
	Ei — <i>No</i>	Kyllä — <i>Yes</i>	21	9	30	70,0	0,69
	Kyllä — <i>Yes</i>	Ei — <i>No</i>	8	21	29	27,6	0,28
	Kyllä — <i>Yes</i>	Kyllä — <i>Yes</i>	8	1	9	88,9	0,81

^{a)} Todetun ja ennustetun vioittuneisuuden yhteensopivuudesta — *Goodness of fit between observed and predicted occurrence of wounding*:
Chi-square P = 0,911; Hosmer-Lemeshow P = 0,892; C.C.Brown P = 0,701.

Liite 2A. Vioittuneiden taimien logistisen kuolinriskimallin muuttujat sekä todetun ja ennustetun kuolleisuuden vertailu toisen kasvukauden lopulla kokeessa A.
Appendix 2A. The variables of the logistic risk model, and comparison between the observed and predicted mortality of the wounded seedlings at the end of the second growing season in experiment A.

Mallin selittävät muuttujat <i>Dependent variables in model</i>		Todettu kuolleisuus <i>Observed mortality</i>				^{a)} Ennuste <i>Predicted</i>
Taimilaji/lannoitustaso <i>Type of plant/fertilization level</i>	Kalaus <i>Girdling</i>	Kyllä <i>Yes</i> n	Ei <i>No</i> n	Yht <i>Total</i> n	%	P =
Luonnontaimi <i>Natural plant</i>	5–14 %	10	18	28	35,7	0,19
	15–64 %	51	37	88	58,0	0,61
	65–85 %	33	5	38	86,8	0,92
	86–100 %	136	1	137	99,3	0,99
Ei lannoitusta <i>Not fertilized</i>	5–14 %	1	8	9	11,1	0,24
	15–64 %	5	1	6	83,3	0,68
	65–85 %	2	0	2	100,0	0,94
	86–100 %	16	0	16	100,0	1,00
PK-lannoitus <i>PK fertilizer</i>	5–14 %	1	5	6	16,7	0,34
	15–64 %	11	2	13	84,6	0,78
	65–85 %	5	0	5	100,0	0,96
	86–100 %	16	0	16	100,0	1,00
Täyslannoitus <i>NPK fertilization</i>	5–14 %	0	5	5	0,0	0,15
	15–64 %	11	10	21	52,4	0,55
	65–85 %	12	0	12	100,0	0,90
	86–100 %	0	22	22	100,0	0,99
Typpilannoitus <i>N fertilizer</i>	5–14 %	1	10	11	9,0	0,26
	15–64 %	25	9	34	73,5	0,70
	65–85 %	10	0	10	100,0	0,95
	86–100 %	15	0	15	100,0	1,00

^{a)} Todetun ja ennustetun kuolleisuuden yhteensopivuudesta — *Goodness of fit between observed and predicted mortality wounding*: Chi-square P = 0,112; Hosmer-Lemeshow P = 0,705; C.C.Brown P = 0,113.

Liite 2B. Vioittuneiden taimien logistisen kuolinriskimallin muuttujat sekä todetun ja ennustetun kuolleisuuden vertailu toisen kasvukauden lopulla kokeessa B.

Appendix 2B. The variables of the logistic risk model, comparison between the observed and predicted mortality at the end of the second growing season in experiment B.

Mallin selittävät muuttujat <i>Dependent variables in model</i>			Todettu kuolleisuus <i>Observed mortality</i>				^{a)} Ennuste <i>Predicted</i>
Taimialkuperä <i>Origin of seedlings</i>	Lannoitus <i>Fertilization</i>	Kaulaus <i>Girdling</i>	Kyllä <i>Yes</i> n	Ei <i>No</i> n	Yht <i>Total</i> n	%	P =
1. G1-78-365 E 7190 x E 365	Ei — No	5–14 %	1	7	8	12,5	0,14
	Ei — No	15–64 %	6	10	16	37,5	0,29
	Ei — No	65–85 %	5	1	6	83,3	0,92
	Ei — No	86–100 %	13	0	13	100,0	1,00
	Kyllä — Yes	5–14 %	1	2	3	33,3	0,26
	Kyllä — Yes	15–64 %	22	29	51	34,1	0,46
	Kyllä — Yes	65–85 %	11	0	11	100,0	0,96
	Kyllä — Yes	86–100 %	14	0	14	100,0	1,00
2. G1-78-340 E 25 x E 34	Ei — No	5–14 %	1	4	5	20,0	0,16
	Ei — No	15–64 %	1	3	4	25,0	0,32
	Ei — No	65–85 %	3	0	3	100,0	0,93
	Ei — No	86–100 %	7	0	7	100,0	1,00
	Kyllä — Yes	5–14 %	3	1	4	75,0	0,30
	Kyllä — Yes	15–64 %	7	11	18	38,9	0,51
	Kyllä — Yes	65–85 %	6	0	6	100,0	0,97
	Kyllä — Yes	86–100 %	11	0	11	100,0	1,00
3. G1-78-349 K 216 x K 223	Ei — No	5–14 %	0	5	5	0,0	0,22
	Ei — No	15–64 %	6	6	12	50,0	0,40
	Ei — No	65–85 %	2	1	3	66,7	0,95
	Ei — No	86–100 %	4	0	4	100,0	1,00
	Kyllä — Yes	5–14 %	0	2	2	0,0	0,37
	Kyllä — Yes	15–64 %	18	10	28	64,3	0,59
	Kyllä — Yes	65–85 %	4	0	4	100,0	0,98
	Kyllä — Yes	86–100 %	13	0	13	100,0	1,00
4. G1-78-327 P 403 x P 418	Ei — No	5–14 %	0	1	1	0,0	0,04
	Ei — No	15–64 %	0	4	4	0,0	0,08
	Ei — No	65–85 %	1	0	1	100,0	0,72
	Ei — No	86–100 %	4	0	4	100,0	1,00
	Kyllä — Yes	5–14 %	0	3	3	0,0	0,07
	Kyllä — Yes	15–64 %	3	15	18	16,7	0,16
	Kyllä — Yes	65–85 %	1	0	1	100,0	0,84
	Kyllä — Yes	86–100 %	8	0	8	100,0	1,00
Taimialkuperät yhdessä <i>All seedlings</i>	Ei — No	5–14 %	2	17	19	10,5	0,16
	Ei — No	15–64 %	13	23	36	36,1	0,31
	Ei — No	65–85 %	11	2	13	84,6	0,92
	Ei — No	86–100 %	28	0	28	100,0	1,00
	Kyllä — Yes	5–14 %	4	8	12	33,3	0,25
	Kyllä — Yes	15–64 %	50	65	115	43,5	0,45
	Kyllä — Yes	65–85 %	22	0	22	100,0	0,96
	Kyllä — Yes	86–100 %	46	0	46	100,0	1,00

^{a)} Todetun ja ennustetun vioittuneisuuden yhteensopivuudesta (suluissa yhdistetyn aineiston yhteensopivuus) — *Goodness of fit between observed and predicted occurrence of wounding (fit of combined data in parentheses)*: Chi-square P = 0,822 (0,243); Hosmer-Lemeshow P = 0,998 (0,620); C.C.Brown P = 0,954 (0,106).

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

Metsäekonomin 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) 82 912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* Kirkkosaarentie, 91500 Muhos, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 5331 404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — *Phone:* (979) 1381

Punkaharjun tutkimusasema
Punkaharju Research Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

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

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

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* PL 16
96301 Rovaniemi, Finland
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 1514 000

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

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



- No 761 Poikolainen, Jarmo: Hailuodon jäkäläkankaiden taimikot ja niiden hirvi-
tuhot.
Condition of sapling stands on the lichen heaths of Hailuoto and damage by
moose.
- No 762 Saarenmaa, Liisa: Viljelyketjun valinta asiantuntijajärjestelmän avulla
Lapissa.
Choice of reforestation method based on an expert system in Finnish
Lapland.
- No 763 Hotanen, Juha-Pekka & Nousiainen, Hannu: Metsä- ja suokasvillisuuden
numeerisen ryhmittelyn ja kasvupaikkatyyppien rinnastettavuus.
The parity between the numerical units and site types of forest and mire
vegetation.
- No 764 Hirvelä, Hannu & Hynynen, Jari: Lannoituksen vaikutus männikön kasvuun,
latvavaurioihin ja tuulituhoalttiuteen Lapissa.
Effect of fertilization on the growth, top damage and susceptibility to wind-
throw of Scots pine stands in Lapland.
- No 765 Uotila, Esa & Peltola, Aarre: Hankinta- ja pystykaupan tulojen katelas-
kentamenetelmä.
A method for calculating residual incomes from delivery and standing sales
of timber.
- No 766 Selander, Jukka, Immonen, Auli & Raukko, Pekka: Luontaisen ja istutetun
männynntaimen kestävyys tukkimiehentäitä vastaan.
Resistance of naturally regenerated and nursery-raised Scots pine seed-
lings to the large pine weevil, *Hylobius abietis* (Coleoptera,
Curculionidae).
- No 767 Nurmi, Juha: Polttohakkeen varastointi suurissa aumoissa.
Longterm storage of fuel chips in large piles.
- 1991
- No 768 Saarsalmi, Anna, Palmgren, Kristina & Levula, Teuvo: Harmaalepän
vesojen biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö.
Biomass production and nutrient consumption of the sprouts of *Alnus
incana*.
- No 769 Silfverberg, Klaus & Issakainen, Jorma: Tuhkalannoituksen vaikutukset
metsämarjoihin.
Effects of ash fertilization on forest berries.
- No 770 Lipponen, Katriina: Juurikäävän kantotartunta ja sen torjunta ensi-
harvennusmetsiköissä.
Stump infection by *Heterobasidion annosum* and its control in stands at
the first thinning stage.
- No 771 Selander, Jukka & Immonen, Auli: Lannoituksen vaikutus männynntaimen
tuhonalltiuteen tukkimiehentäille.
Effect of fertilization on the susceptibility of Scots pine seedlings to the
large pine weevil, *Hylobius abietis* (Coleoptera, Curculionidae).