

09.09.91



FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
HELSINKI 1990

766

Jukka Selander, Auli Immonen & Pekka Raukko

LUONTAISEN JA ISTUTETUN MÄNNYNTAIMEN KESTÄVYYS
TUUKKIMIEHENTÄITÄ VASTAAN

Resistance of naturally regenerated and nursery-raised Scots pine
seedlings to the large pine weevil, *Hylobius abietis* (Coleoptera,
Curculionidae)

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 kansallisi- 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 766

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1990

Jukka Selander, Auli Immonen & Pekka Raukko

LUONTAISEN JA ISTUTETUN MÄNNYNTAIMEN KESTÄVYYS
TUUKKIMIEHENTÄITÄ VASTAANResistance of naturally regenerated and nursery-raised Scots pine seedlings to the
large pine weevil, *Hyllobius abietis* (Coleoptera, Curculionidae)

Approved on 23.11.1990

SISÄLLYS

1. JOHDANTO	3
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	4
21. Koeala	4
22. Taimista tehdyt mittaukset	6
23. Aineiston käsittely	7
3. TAIMIEN VIOITTUMINEN	7
31. Taimien alttius vioittua	7
32. Vaurion vakavuus ja määrä	8
33. Taimien riski vioittua	9
34. Vioittuminen ja kasvu	10
4. TAIMIEN KUOLLEISUUS	11
41. Kuolleisuus eri vuosina	11
42. Vioittuminen ja eloonjääminen	11
43. Taimien riski kuolla	11
44. Taimien kunto ja kehityskelpoisuus	12
5. TULOSTEN TARKASTELU	12
KIRJALLISUUS — REFERENCES	13
SUMMARY	15
Liitteet — Appendices	18

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 p.

Tutkimuksessa vertailtiin luontaisen ja istutetun männyntaimen kestävyyttä tukkimiehentäin tuhoille kolmen kasvukauden ajan. Tutkimus toteutettiin pareittaisena koejärjestelyinä istuttamalla luonnontaimen viereen tyveltään samankokoinen viljelytaimi. Viljelytaimia oli viittä taimilajia, sekä paakkutaimia että paljasjuurisia, joita ei käsitelty torjunta-aineilla. Koealana oli tuore, siemenpuuasentoon hakattu kuivahko kangas Padasjoen Vesijaolla.

Taimien menestymistä selvitettiin vioittuvuuden, kasvutunnusten ja kuolleisuuden avulla. Luonnon- ja viljelytaimien vaaraa vioittua ja kuolla vertailtiin logistista mallia käyttäen.

Luonnontaimet menestyivät selvästi istutustaimia paremmin ensimmäisenä kasvukautena, mutta ero kaventui toisena ja kolmantena vuonna. Luonnontaimien vaara vioittua vaihteli taimen pituudesta riippuen 6,9–69,6 %, kun vastaava riski istutustaimilla oli 64,5–98,6 %. Vioittuneiden taimien vaara kuolla ensimmäisenä vuonna oli eri kokoisilla luonnontaimilla 2,3–10,5 % ja istutustaimilla 5,7–22,8 %. Luonnontaimet myös toipuivat vioitukselta istutustaimia paremmin ja ne olivat kehityskelpoisempia. Koejakson aikana vioittuneista luonnontaimista kuoli 54,1 % ja istutustaimista 70,0 %.

The susceptibility of naturally regenerated pine seedlings and nursery-grown, planted seedlings to attack by the large pine weevil was compared in a 3-year pairwise field trial. No insecticides were used. The risk of attack and seedling mortality were calculated using a logistic model.

Naturally generated plants were generally more successful than their planted counterparts. Plant pairs where the planted seedling alone was attacked or killed were significantly more numerous. However, the planted seedlings were no longer as susceptible during the following years. The risk of weevil attack on natural seedlings ranged from 6.9 to 69.6 %, depending on the height of the plants. The corresponding risk for the planted counterparts was 64.5–98.6 %. Even the slightly affected, natural plants had a 2.3–10.5 % risk of dying, and the planted ones a 5.7–22.8 % risk.

Although the natural regenerated plants generally performed better than their planted counterparts, the impact of the pine weevil on the natural seedlings was rather high in the freshly cut seed tree stand used as the experimental site. This was especially the case for the smallest seedling height class. Silvicultural methods should be applied to promote the early establishment of an advanced and robust natural seedling stock before the fresh breeding material produced by logging attracts the weevil to the site.

Keywords: *Hylobius abietis*, *Pinus sylvestris*, plant resistance, natural regeneration, reforestation.
ODC 145×19.91 *Hylobius abietis* + 453

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

ISBN 951-40-1140-6
ISSN 0015-5543
Helsinki 1990. Valtion painatuskeskus

1. Johdanto

Tukkimiehentäin (*Hylobius abietis* L.) aiheuttama männyn taimen vioittuminen on merkittävä taimen kuolinsyy ja riski metsän uudistamisen onnistumiselle. Taimelle haavoittuminen on tapaturma, trauma, joka syntyy kärsäkkään järjessä ravinnokseen varren nilaa ja kuorta. Vaurio katkaisee johtosolukot, aiheuttaa neste-hukkaa sekä vie taimen stressitilaan. Stressi häiritsee taimen energiataloutta, ja ravinnevaroja kuluu normaalin kasvun ja kehityksen sijasta varren pihkoittumiseen ja haavojen kylestymiseen (esim. Selander & Kalo 1979). Traumaattinen stressi on monisäikeinen tapahtuma, joka vaikeuttaa taimen kasvua ja kehitystä. Stressin oireita ja vakavuutta voidaan välillisesti tunnistaa taimen kasvutunnusten ja ravinnepitoisuuden avulla tai pelkistetysti kuvata taimen eloonjäämiseenä tai kuolemana.

Tukkimiehentäin aiheuttamia ongelmia metsän uudistamiselle on tutkittu lähes yksinomaan istutustaimikoissa, joiden tuholaisena tukkimiehentäi varsinaisesti meillä (esim. Nenonen & Jukola 1960, Heikkilä 1981, Långström 1982, 1985) ja muualla (ks. Escherich 1923, Eidmann 1974) tunnetaan. Kärsäkäs vahingoittaa myös luonnontaimia, mutta näiden vahinkojen laatua ja merkitystä on selvitetty vähän ja

vain sellaisissa oloissa, joissa metsien käsittely- ja uudistusmenetelmät poikkesivat huomattavasti nykyisistä (Kangas 1937). Tuhoja on havaittu myös metsän luontaista uudistamista koskevissa selvityksissä (Vaartaja 1952, Lehto 1956, 1969).

Riskikäsitettä on metsänsuojelussa pitkään käytetty esimerkiksi tuhon alttiuden tai uhan synonyyminä ilman siihen liittyvän tilastollisen todennäköisyyden laskemista. Tietojenkäsittelyn kehittyminen on mahdollistanut tuhoriskin todennäköisyyden laskemisen ja mallittamisen. Tällöin riski-käsite tuo mukanaan tilastollisen todennäköisyyden sille, että tuholainen esiintyy joukoittain tiettyinä aikana tietyssä paikassa. Tällainen arvio voi perustua esim. kyseisen tuholaisen populaatiomalliin (Berryman & Stark 1985, Berryman ja Millstein 1989); tai toisaalta tuhoriskiä on voitu kvantifioida ja luokitella metsikkötekijöistä tehtyjen mittausten avulla (esim. Hicks ym. 1987). Riskitutkimusten menetelmiksi soveltuvat tilastolliset erottelufunktiot, regressioyhtälöt ja todennäköisyysfunktiot (esim. Hedden ym. 1981) sekä elinaika-analyysi (Reams ym. 1988).

Tukkimiehentäin tuhon ennusteeseen liittyy kaksi seikkaa: taimen riski vioittua ja vioittuneen taimen riski kuolla. Käytännössä torjunta-

Symbolit — Symbols

s	Keskihajonta
S.D.	Standard deviation
h	Koetaimen pituus, cm <i>Seedling height</i>
d	Varren tyven läpimitta, cm <i>Stem diameter</i>
n	Koetaimien tai taimiparien lukumäärä <i>Number of seedlings or seedling pairs</i>
L	Vioittuneen varren osan pituus, cm <i>Length of damage on stem</i>
V	Vioittuneen varren osan pituus taimen pituudesta, % <i>Proportion of stem damage</i>
Y	Vioituksen kaulaus, % <i>Wound girdling</i>
H	Vioittunut kuoriala vioittuneelta osalta vartta, % <i>Damaged bark area on damaged part of the stem</i>
A	Vioittunut kuoriala, cm ² <i>Damaged bark area</i>
I	Haavaindeksi, vioittunut kuoriala koko kuorivaipalta, % <i>Damage index, damaged bark area</i>

C	Nilaisuus, nilan ja kuoren osuus varren poikkialasta, % <i>Proportion of phloem and bark out of the cross-sectional area of the stem</i>
N	Kuoren paksuus, nila mukaan luettuna, mm <i>Bark thickness including phloem</i>
P	Todennäköisyys <i>Probability</i>
$b_0 \dots b_i$	Logistisen regressioyhtälön vakio ja kulmakerroimet <i>Coefficients of logistic regression equation</i>
$X_1 \dots X_i$	Logistisen yhtälön selittävät muuttujat <i>Dependent variables of logistic regression equation</i>

Tilastolliset testit — Statistical tests

*	5 % riskitaso — risk level $P < 0.05$
**	1 % riskitaso — risk level $P < 0.001$
***	0.1 % riskitaso — risk level $P < 0.001$
n.s.	ei merkitsevä — not significant $P > 0.05$

aineella voidaan alentaa taimien riskiä kuolla, mutta ei niinkään niiden riskiä vioittua. Suojatukin taimi saattaa haavoittua ennenkuin torjunta-aine tehoaa.

Metsän uudistamisen kehitystyössä on tunnettava yhä paremmin traumaattisenkin taimen toipuminen ja menestyminen, koska tukkimiehentäitä on yleisesti lähes kaikilla metsän uudistusaloilla. Myös torjunta-aineella käsitellyistä viljelytaimista melkoinen osa käynee läpi ainakin lievästi traumaattisen varhaiskehityksen. Huomattava on, etteivät luonnontaimetkaan säästy vaurioilta.

Tämä tutkimus tehtiin seuraamalla taimikohdittaisesti luonnontaimen ja sen viereen istutetun viljelytaimen menestymistä tukkimiehintäin aiheuttamassa tuhotilanteessa kolmen kasvukau-

den kuluessa istutuksesta. Torjunta-aineita ei käytetty. Pyrimme selvittämään:

1. Mikä on erilaisten taimien alttius vioittua?
2. Mikä on taimien riski kuolla?
3. Miten vioittuminen vaikuttaa taimen alkukehitykseen ja kehityskelpoisuuteen?

Tutkimus on osa J. Selanderin suunnittelemaasta tutkimuksesta "Männyn taimen tuhonkestävyys". Auli Immonen ja Pekka Raukko tekivät pääosan kenttätöistä. Immonen (1990) teki lisäksi itsenäisesti tutkimusaineiston alustavan tarkastelun ja tilastollisen käsittelyn. Selander laati käsikirjoituksen ja viimeisteli tulokset. Kiitämme professori Erkki Lähdetä, dosentti Kari Löyttyniemeä ja tohtori Bo Långströmiä käsikirjoitusta koskevista hyödyllisistä kommentteista.

2. Aineisto ja menetelmät

21. Koeala

Koeala perustettiin istuttamalla luontaisesti syntyneiden männyntaimien viereen, 10–15 cm:n etäisyydelle, taimitarhassa normaalisti kasvatettuja istutustaimia. Istutus tehtiin joko kourukuokalla tai pottiputkella tavalliseen tapaan, mutta maanpintaa ei kaavittu humuksesta. Vierekkäisten taimien ympäristö pyrittiin pitämään siten samanlaisena. Istutettavaksi taimipariksi otettiin kooltaan luonnontainta vastaava istutustaimi. Koeala muodostui siten parittaisista taimista, joiden menestymistä verrattiin keskenään (kuva 1).

Koepaikka sijaitsi Padasjoen Vesijaolla (N 61°22', E 25°05') puolukkatyyppin kuivahkolla kankaalla, joka oli hakattu siemenpuuasentoon edellisenä talvena. Maanpintaa ei muokattu. Hakkuualan koko oli n. 20 ha. Aukolta valittiin kokeeseen 2–3 aarin alat kolmelta eri paikalta, joissa luontaisesti syntyneitä, normaalien istutustaimien kokoisia luonnontaimia oli tarpeeksi koealan perustamiseksi. Tuoreita hakkuutähteitä oli paljon ja tukkimiehintäitä oli todennäköisesti runsaasti.

Kokeissa käytettiin kolmea eri taimityyppiä: luonnontaimia sekä paakku- ja paljasjuurisia istutustaimia. Paakutaimia oli kahta taimilajia (paperipottitaimi 1(Lk-A)Fh508 ja ensokennotaimi 1Me-1Ae) ja paljasjuurisia taimia kolme taimilajia (2A, 1M+1A ja 2Ax1A). Näin pyrittiin hakemaan luonnontaimen vertailupariksi samankokoinen istutustaimi ja myös samalla vertailemaan eri tavoin taimitarhalla kasvatettujen taimien menestymistä luonnontaimen rinnalla (taulukko 1). Taimet istutettiin 17.5.1985. Luonnontaimet valittiin satunnaisesti kehityskelpoisista ja aikaisemmin vioittumattomista taimista. Samankokoisuuden kriteerinä istutettavan taimen kanssa oli tyven läpimitta. Luonnontaimet olivat kuitenkin tyveltään samanpaksuisia istutustaimiparejaan pidempiä (kuva 2).



Kuva 1. Taimipareittainen koejärjestely taimien kestävyyden vertaamiseksi tukkimiehintäitä vastaan: oikealla luonnontaimi, vasemmalla istutettu taimi.

Figure 1. A pair of pine plants used in the field experiment to compare their susceptibility to the large pine weevil: Natural plant on the right; planted, nursery-grown counterpart on the left.

Taulukko 1. Tukkimiehetään vioittamien taimien osuus prosenteina taimiryhmittäin vuosina I, II ja III sekä taimien kumulatiivinen vioittuminen ja kuolleisuus koevuosien I–III aikana.

Table 1. Percentages of the *Hylobius*-wounded plants in different seedling groups during the study years I, II and III, and their cumulative wounding and mortality during the years I–III.

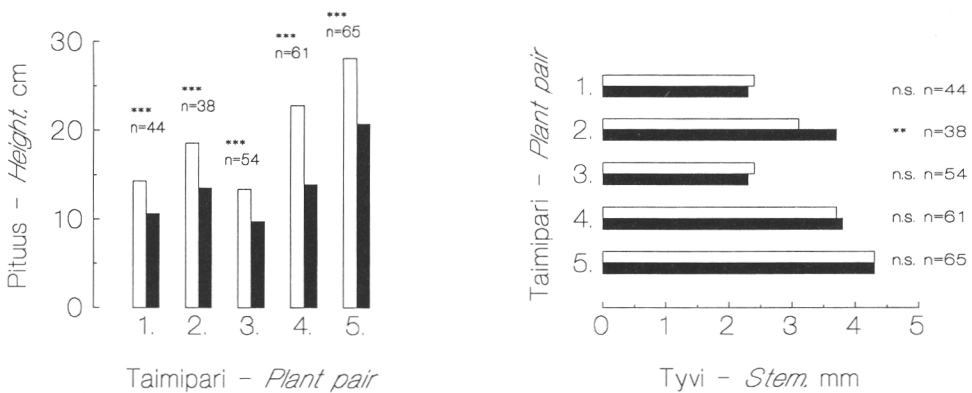
Taimiryhmä — Plant group	Taimia — Plants		Vioittui — Wounded				Kuoli — Died		
	n	I %	II % ¹	n ²	III % ¹	n ²	I–III %	I–III ³ %	I–III %
Istutustaimiparit — Planted counterparts									
1. Kennotaimi — Stock 1(Lk-A)Fh508	44	88,6	0,0	16	34,1	11	90,9	77,5	75,0
2. Paakkutaimi — Stock 1Me-1Ae	38	97,7	13,0	23	15,6	20	94,7	50,0	47,4
3. Paljasjuurinen — Stock 2A	54	85,2	25,0	12	42,9	7	90,7	87,8	87,0
4. Paljasjuurinen — Stock 1M+1A	51	100,0	20,0	15	23,1	13	100,0	74,5	74,5
5. Paljasjuurinen — Stock 2Ax1A	65	100,0	0,0	31	12,0	25	100,0	61,5	61,5
Yhteensä — Total	252	94,0	9,3	97	21,1	76	95,6	70,0	69,8
Luonnontaimet — Natural counterparts									
1. Pari — Pair	44	56,8	12,0	25	20,6	20	63,6	67,9	56,8
2. Pari — Pair	38	81,6	26,1	23	10,0	20	94,7	52,8	52,6
3. Pari — Pair	54	61,1	19,4	36	11,5	26	70,4	63,2	51,9
4. Pari — Pair	51	92,2	8,8	34	3,8	26	92,2	53,2	49,0
5. Pari — Pair	65	92,3	6,0	50	12,8	39	92,3	43,3	40,0
Yhteensä — Total	252	77,8	13,1	168	11,5	15	82,9	54,1	49,2

¹ Vioittuneisuus laskettuna elossa olevista taimista — Percentage of wounded plants out of surviving plants

² Elosa olevien taimien lukumäärä — Number of surviving plants

³ Vioittuneista taimista laskettu kuolleisuus — Mortality of the wounded plants

□ Luonnontaimet - Natural seedlings
 ■ Istutustaimet - Planted seedlings



Kuva 2. Pareittaisten istutustaimien ja luonnontaimien pituuden ja tyven läpimitan keskiarvot kokeen alussa vertailtuna pareittaisella t-testillä. Taimiparit samat kuin taulukossa 1. Ks. symbolit s. 3.

Figure 2. Mean height and stem diameter of paired seedlings (nursery-grown and the naturally regenerated ones) at the beginning of the experiment, compared using the paired t-test. Plant pairs are the same as in Table 1. See symbols on p. 3.

Kokeessa oli mukana 504 tainta eli 252 taimiparia. Kaikki istutustaimet olivat samaa metsikkösiemenalkuperää (Karttula T10-78-43) paitsi 3-vuotias avojuurinen taimilaji (Saarijärvi M29-78-741). Taimet oli kasvatettu Suomenjoen taimitarhalla normaaliin tapaan.

22. Taimista tehdyt mittaukset

Koe kesti kolme kasvukautta (1985,1986,1987) ja taimia tarkastettaessa huomioitiin:

1. Taimen kasvu (pituus, tyven läpimitta)
2. Tukkimiehintäin aiheuttaman vioituksen laatu, määrä ja sen ajoittuminen
3. Taimien kunto ja kehityskelpoisuus
4. Taimien eloonjääminen.

Taimikohtainen seuranta mahdollisti paitsi taimien voittuneisuuden (vaurion prevalenssin) myös niiden vioittuvuuden (insidenssin) tutkimisen eri ajanjaksoilla. Tulokset kolmelta eri koelalalta eivät tilastollisesti poikenneet toisistaan.

Luonnontaimia ja istutustaimia vastaavista taiminäytteistä mitattiin kokeen alussa (15.5.1985) kuoren paksuus, sillä kuorisolukoista varsinkin nila on tukkimiehintäin pääravintoa, ja sen määrä arveltiin hyödylliseksi tutkimuksen tulosten tarkastelussa. Nilasolukon paksuutta ei voitu mitata kuoresta erikseen, koska se ei nuoren taimen varressa kasvianatomisesta yleisvärjäyksestä (Niemelä ym. 1974) huolimatta ole selvästi rajautunut ja mittaustarkkuus olisi jäänyt heikoksi. Kuoreksi luettiin siten kaikki jäljen ulkopuoliset solukot. Kuoren paksuuden mittaukset tehtiin valmistamalla yhteensä 80 taimen varresta mikroskooppiset poikkisuuntaiset leikkeet, joista mitattiin mikroskooppilla okulaarimikrotoomin avulla kuoren säteensuuntainen paksuus. Varren läpimitta mitattiin myös preparaattista. Näin voitiin kuoren paksuus suhteuttaa varren poikkipinta-alaan ja laskea näytteen nilaisuus prosentteina säteen suunnassa sekä varren poikkialasta seuraavasti:

$$C = \frac{\pi \times (d/2)^2 - \pi \times (d/2 - N)^2}{\pi \times (d/2)^2} \times 100$$

$$= 1 - \frac{(d/2 - N)^2}{(d/2)^2} \times 100$$

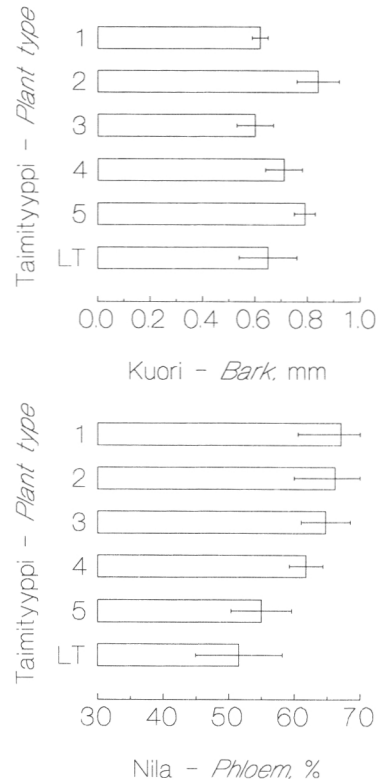
jossa

C = Nilaisuus-%

d = Tyven läpimitta, mm

N = Kuoren ja nilan paksuus, mm

Taimiryhmät olivat erilaisia kuoren paksuudeltaan ja nilaisuudeltaan (ANOVA $P < 0,000$) siten, että luonnontaimet olivat kuoreltaan merkittävästi paksumpia kuin istutustaimilajit 2 ja 5 (Tukeyn testi, $P < 0,05$). Paksusta kuorestaan huolimatta luonnontaimien nilaisuus oli kaikkia istutustaimia, paitsi taimilajia 5, merkittävästi pienempi ($P < 0,05$) (kuva 3).



Kuva 3. Istutustaimien (lajit 1–5) ja luonnontaimien (LT) kuoren paksuus (N) ja nilaisuus (C): keskiarvo ja keskihajonta. Taimilajit kuten taulukossa 1.

Figure 3. Bark thickness (N) and percentage of radial phloem (C) of planted pine seedling types 1–5 and natural plants (LT): Mean and standard deviation. Seedling types are as in Table 1.

Koelalalla taimikohtaiset tarkastukset ja mittaukset tehtiin ensimmäisen kasvukauden alkupuolella (27.6.1985) ja lopussa (6.9.1985). Toisena vuonna taimet tutkittiin kasvukauden keskivaiheilla (30.6.1986), jolloin sen vuoden aikaisia tukkimiehintäin vioituksia voitiin vielä tarkastaa verekseltään ja erottaa ne edellisvuotisista vaurioista. Kolmannen vuoden tarkastukset tehtiin kasvukauden lopulla (17.8.1987), jolloin kahden ensimmäisen kasvukauden aikaisen vaurioitumisen seuraukset viimeistään näkyivät taimen kehityksessä ja kuolleisuudessa.

Taimen varren vaurioituminen mitattiin ja arvioitiin seuraavasti (kuva 4):

Y = Vaurion vakavuus arvioitiin suurimman yhtenäisen haavalaikun kaulausprosenttina varren kehältä 5 %:n asteikolla.

L = Vaurioituneen varrenosan pituudeksi mitattiin se osa (cm) taimen vartta, jossa kuorta oli ylipäättänsä järsitty.

H = Vaurioalaksi arvioitiin L:n pituiselta kuorilieriöltä järsityn kuoren pinta-alan osuus 5 %:n asteikolla.

Kun taimen pituus (h) ja tyven läpimitta (d) mitattiin, voitiin muuttujat L ja H myöhemmin suhteuttaa taimen kokoon. Näin vioittuneen varren osan pituus voitiin esittää suhteessa taimen varren pituuteen (V).

Järsitty kuoriala esitettiin absoluuttisena pinta-alana (A) tai prosenttina eli haavaindeksinä (I) koko taimen varren kuorivaipalta. Varren kuorivaippaan ei luettu saman vuoden kasvainta.

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

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

jossa

A = Vioittunut kuoriala, cm²

d = Tyven läpimitta, cm

h = Taimen pituus, cm

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

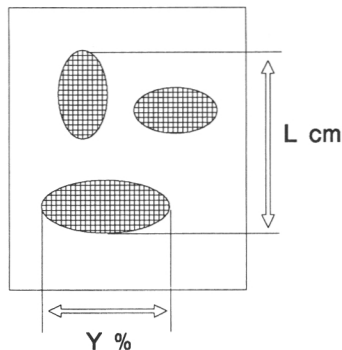
L = Vioittuneen varren osan pituus, cm

I = Haavaindeksi, vaurion ala varren kuorivaipalta, %

Taimet luokiteltiin tarkastuskerroittain 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.

23. Aineiston käsittely

Aineiston esitarkastelussa mittaustulosten jakautumia testattiin Shapiro-Wilks' in ja Lillieforsin menetelmien avulla (Norusis 1989). Esitarkastelun jälkeen käytettiin pa-



Kuva 4. Tukkimiehentäin vioituksen mittaustapa taimen tyven kuorivaipalta (ks. teksti).

Figure 4. Assessment of *Hylobius-damage* on the stem bark of pine seedlings (see text).

reittäisiin mittauksiin ja ei-normaalisiin tai epäsymmetrisiin jakautumiin mukautuvia ei-parametrisia menetelmiä, kuten Wilcoxonin, Kolmogorow-Smirnoff' in ja McNemarin testit sekä merkkitesti (Norusis 1988).

Taimien riskiä vaurioitua selitettiin taimen koon ja lajin avulla, sekä riskiä kuolla edellisten lisäksi myös vioittumisen laatua kuvaavien muuttujien avulla (Y,H jne.). Vaurioitumisena pidettiin 5 %:a suurempaa kaulautumista (Y).

Haavoittumis- ja kuolinvaaran (riskin) laskemisessa käytettiin logistista regressiomallia ja askeltavaa sovitusta BMDP LR-ohjelman tarjoamilla standardimenetelmillä (esim. Häkkinen & Linnilä 1987, Engelman 1988). Taimen vaurioitumisen tai kuoleman sekä naapuritaimen vioittumisen välistä riippuvuutta tutkittiin sovitamalla myös naapurin vaurioitumista kuvaava muuttuja logistiseen regressiomalliin.

3. Taimien vioittuminen

31. Taimien alttius vioittua

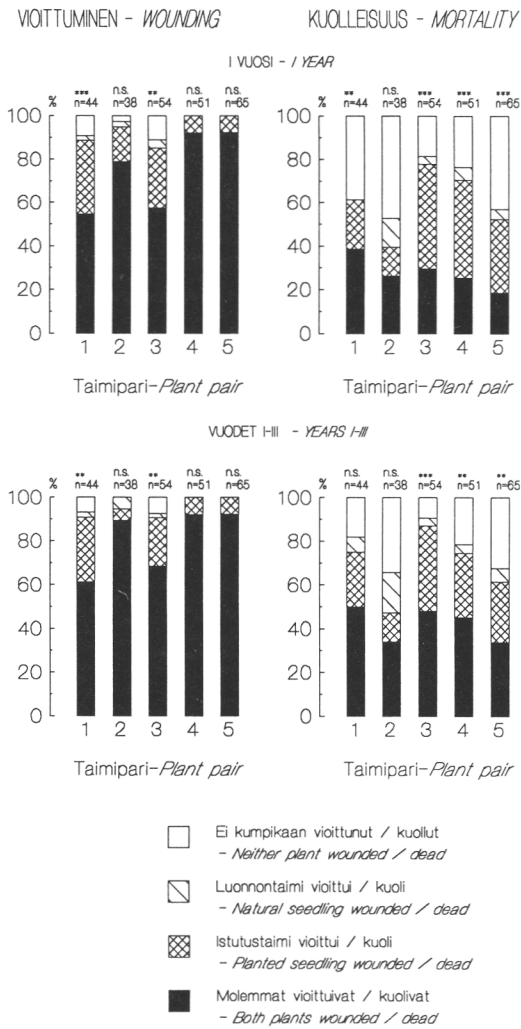
Tukkimiehentäin aiheuttamat vauriot olivat aluksi istutustaimissa yleisempiä kuin luonnontaimissa. Runsaan kuukauden jälkeen vioittuneita istutustaimia oli 84,5 % ja kasvukauden lopulla 94,0 %, kun taas luonnontaimista samassa ajassa vioittui 63,9 % ja 77,8 %. Kolmannen kasvukauden lopussa istutustaimista oli vähintään kerran vioittunut 95,6 % ja luonnontaimista 82,9 %. Vaikka uudet vauriot vähenivät toisena ja kolmantena koevuotena, istutustaimien kumulatiivinen vioittuneisuus säilyi kokeen ajan luonnontaimia suurempana (taulukko 1).

Sama taimi saatettiin todeta verekseltään vioittuneeksi myös useita eri kertoja, mikäli se

säilyi elossa. Siten istutustaimien koko jakson kumulatiiviseen vioittuneisuuteen (95,6 %) sisältyi 18 kaksi, 5 kolme ja 1 neljä kertaa todettua vauriota. Vastaavasti luonnontaimien kumulatiiviseen vioittuneisuuteen (82,9 %) sisältyi 42 kahdesti ja 1 kolmasti vaurioitunutta tainta.

Pareittaisessa koejärjestelyssä viereisen taimen vioittuminen voi riippua myös toisen taimen vioittumisesta, koska tuholainen saattoi helposti järsiä viereistäkin tainta. Taimiparien toisistaan riippuvuus huomioitiin jakamalla pareittaiset havainnot neljään luokkaan:

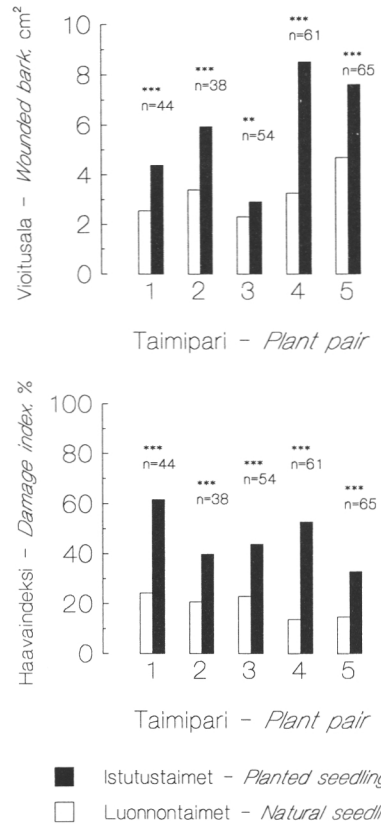
1. Kumpikin taimi säilyi vioittumattomana
2. Vain luonnontaimi vioittui
3. Vain istutustaimi vioittui
4. Molemmat taimet vioittuivat.



Kuva 5. Taimiparien vioittuminen ja kuolleisuus istutusvuotena (I) sekä vuosien (I–III) aikana McNemarin testillä vertailtuna. Taimilajit samat kuin taulukossa 1. Ks. symbolit s. 3.

Figure 5. Wounding and mortality of plant pairs during the planting year (I) and the study years (I–III). Plant pairs are the same as in Table 1. McNemar test, see symbols on p. 3.

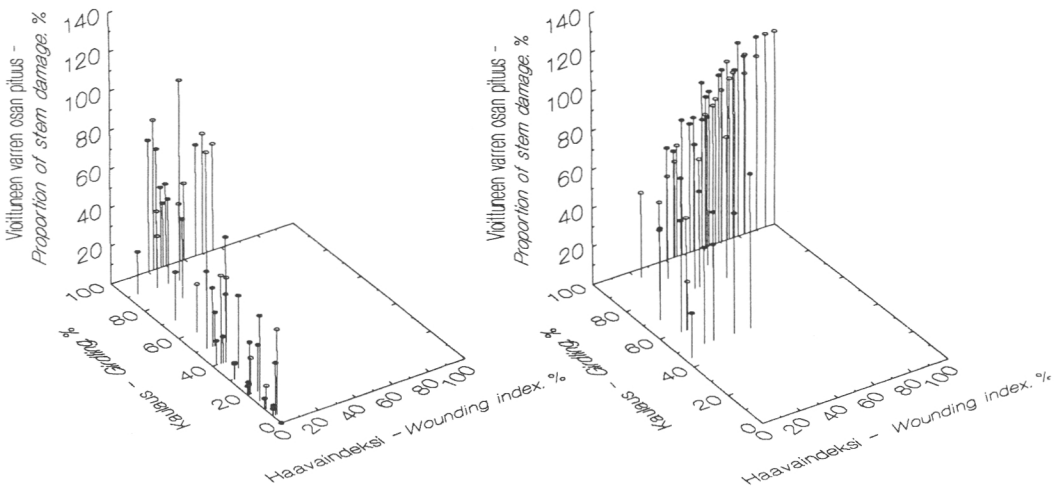
Näin tarkastellen istutustaimet vioittuivat myös herkemmin kuin luonnontaimet (McNemarin testi $p < 0,000$). Verrattaessa istutustaimia lajeittain viereisiin luonnontaimiin kaikki istutustaimilajit olivat alttiimpia vioittumaan, mutta vain osittain merkitsevästi (kuva 5). Taimien kuoleminen pienesi aineistoa ja vaikeutti pareittaisten testien suorittamista.



Kuva 6. Vioittuneiden taimien kuoren vioitusalan (A) ja haavaaindeksin keskiarvot (I) istutusvuonna sekä kaikkien taimien pareittainen (n) vertailu merkkiteillä. Taimiparit samat kuin taulukossa 1. Ks. symbolit s. 3.
Figure 6. The mean area of wounded bark (A) and the mean damage index (I) of *Hylobius*-attacked pine seedlings during the planting year. The plant types are the same as in Table 1. The sign test was applied within all pairs (n), see Symbols on p. 3.

32. Vaurion vakavuus ja määrä

Tutkittaessa taimen vioittuvuutta tai vioittuneisuutta, vaurion vakavuuteen tai määrään kiinnitettiin huomiota vain siten, että 5 % tai sitä suurempi kaulaus (Y) luokitteli kulloinkin vioituksen tapahtuneeksi. Kuitenkin jokainen trauma oli laadultaan ja määrältään erilainen ja sen vaikutukset taimelle yksilöllisiä. Koska suurin osa taimista, 94,0 % istutustaimista ja 77,8 % luonnontaimista, vaurioitui ensimmäisenä kasvukautena, käytettiin ensimmäisen vuoden aineistoa taimien vaurioitumisen lähempään tutkimiseen.



Kuva 7. Tukkimiehintäin aiheuttaman vioituksen ankaruuden vertailu istutustaimissa (taimilaji 4, ks. taulukko 1) ja vastaavissa luonnontaimissa ensimmäisenä kasvukautena: Haavaindeksin (I %), varren kaulautumisen (Y %) ja vioitetun varrenosan pituuden (V %) keskinäinen riippuvuus. V:n yli 100 %:n arvo tarkoittaa varren vioittumisen ulottumista maan rajan alapuolelle.

Figure 7. Damage characteristics in the planted seedlings (cf. type 4, Table 1) and their natural counterparts during the first year. The three-dimensional plot shows the relationships between the damage index (I %), the wound girdling (Y %), and the vertical proportion of stem damage (V %). Values of V greater than 100 % refer to the stem damage which extended below the ground level.

Vaurion vakavuutta ja määrää kuvasi hyvin varren kaulausprosentti (Y). Vaurioituneilla istutustaimilla kaulausprosentin keskiarvo oli 80,9 % (mediaani 100 %), kun luonnontaimilla se oli merkittävästi pienempi, 59,6 % (40 %) (Kolmogorov-Smirnovin testi $P < 0,01$).

Silloin kun saman testiparin molempia taimia oli vioitettu ($n = 192$), istutustaimien kaulausprosentin (Y) keskiarvo oli 83,1 % ja mediaani 100 %. Luonnontaimien vastaavat arvot olivat merkittävästi pienempiä, 46,3 % ja mediaani 40 %. Kun vain istutustainta oli vioitettu ($n = 45$) Y:n keskiarvo oli 71,4 % ja mediaani 90 % ja kun vain luonnontainta oli vioitettu keskiarvo oli 26,3 % ja mediaani 25 %. Istutustaimien vioittumisen vakavuus oli siten pareittainkin sekä yleisempää että merkittävästi vakavampaa kuin luonnontaimilla (Wilcoxonin testi, $P < 0,001$).

Vaurion vakavuuden (Y) lisäksi todettiin, että vaurioituneen kuorisolukon pinta-ala (A) ja vaurioituneen varren osan suhteellinen pituus (V) oli istutustaimilla merkittävästi suurempi kuin luonnontaimilla. Vaurioitunut kuoren ala (A) oli istutustaimilajeilla ($5,74 \text{ cm}^2$) merkitse-

västi suurempi ($3,43 \text{ cm}^2$) kuin luonnontaimilla. Haavaindeksi (I) oli vastaavasti 42,4 % ja 17,7 % (kuva 6). Vioittuneen varren osan suhteellinen pituus (V) oli istutustaimilla 58,0 % ja luonnontaimilla 33,4 %. Istutustaimet vioittuivat luonnontaimia selvästi ankarammin (kuva 7).

33. Taimen riski vioittua

Taimen riskiä vioittua tutkittiin tilastollisena todennäköisyytenä käyttäen apuna logistista regressiomallia. Vioittuneiksi luettiin yhden tai useamman kerran ensimmäisen kasvukauden aikana vaurioituneiksi ($Y \geq 5$ %) todetut taimet. Näin aineistoksi tuli 433 vioittunutta ja 71 vioittumatonta tainta. Tilastollisessa korrelaatiotarkastelussa vioittuneisuutta selittivät taimen laji sekä taimen kokoa kuvaavat tunnuksset, istutus-pituus sekä tyven paksuus istutettaessa. Lisäksi viereisen taimen vaurio lisäsi selvästi toisen taimen vioittumista.

Merkitsevin todetun ja mallin ennustaman vioittuvuuden yhteensopivuus saatiin sovittamal-

la malliin järjestyksessä taimen lajia kuvaava muuttuja (TYYPPI), naapuritaimen vioittumistilannetta kuvaava binäärimuuttuja (NAAPURI) sekä taimen pituutta kuvaava luokitteleva muuttuja (ISPITL). Tällöin taimet ryhmiteltiin pituuden mukaan neljään luokkaan: 5–9 cm, 10–14 cm, 15–20 cm ja 21–42 cm. Taimen laji (TYYPPI) yhdistettiin tilastollisten frekvenssi-ruutujen pitämiseksi kohtuullisen vähälukuisina kolmeen luokkaan: paakkutaimiin, taimilajit 1(Lk-A)Fh508 ja 1Me-1Ae, paljasjuurisiin taimilajeihin 2A, 1M+1A ja 2Ax1A sekä luonnontaimiin. Taimen riskiä vioittua voitiin siten ennustaa kolmen luokittelevan muuttujan 24 erilaisen yhdistelmän avulla käyttäen logistista mallia (liite 1):

$$P = \ln(u)/[1+\ln(u)]$$

jossa

P = Vioittuneiden taimien ennustettu osuus

$u = b_0 + b_1(\text{TYYPPI}) + b_2(\text{ISPITL}) + b_3(\text{NAAPURI})$

TYYPPI = Taimityyppi: paakkutaimi, paljasjuuritaimi, luonnontaimi

ISPITL = Taimen istutuspituus luokiteltuna

NAAPURI = Viereinen taimi vioittui tai ei vioittunut

Mallin yhteensopivuutta tutkimusaineiston kanssa selvitettiin Khii-neliö-testin, Hosmer-Lemeshowin ja C.C.Brownin testien avulla, jolloin saatujen testisuureiden vastaavat todennäköisyysarvot ($P = 0,944$, $P = 0,964$ ja $P = 0,698$) osoittavat mallin sopivan tilastollisesti varsin merkittävästi tutkimusaineistoon.

Mallin ennustavuus erilaisissa tilanteissa oli myös hyvä: ennustettaessa vioittumisen todennäköisyyttä alueella 1–84 % taimista 84,4–88,9 % tuli oikein vioittuneiksi tai ei-vioittuneiksi ennustetuksi. Ennustettaessa taimelle suurempaa, 85–90 % todennäköisyyttä vioittua 74,0–70,2 % tapauksista oli oikeita. Yli 90 %:n ennusteissa mallin avulla oikein luokiteltujen tapausten määrä oli pienempi kuin 70 %.

Mallin avulla voitiin todeta, että istutustaimien riski vioittua oli selvästi suurempi kuin luonnontaimien. Sen sijaan paakkutaimien (paperikenko- ja ensokennotaimet) ja paljasjuuristen taimien välisessä vioittumisriskissä ei ollut selvää eroa (liite 1).

Kun naapuritainta oli vioitettu, istutustaimen riski vioittua vaihteli taimen koosta riippuen 84,6–99,8 %, ja vastaavasti luonnontaimen 30,0–92,9 %. Tilanteessa, jossa naapuritainta ei vioitettu, riski oli taimien pituudesta riippuen istutustaimille 64,5–98,6 %, mutta luonnontaimille selvästi alhaisempi, 6,9–69,6 %. Sekä

istutustaimien että luonnontaimien riski vioittua oli sitä suurempi mitä kookkaampi taimi oli (liite 1).

34. Vioittuminen ja kasvu

Vioittumisen vaikutusta kasvuun tutkittiin kolmannen kasvukauden jälkeen eloonjääneillä taimilla vertaamalla niiden vioittumista kuvaavien muuttujien ja kasvutunnusten välistä riippuvuutta. Vaikka taimien kuolleisuus oli huomattavan suuri, riitti aineistoksi silti 128 eloonjäänyttä luonnontainta ja 76 istutustainta.

Tilastoharhan välttämiseksi otettiin huomioon, että kookkaiden taimien riski vioittua oli suurempi kuin pienien. Vioittuneet ja eloonjääneet taimet olivat kolmannen kasvukauden lopussa pidempiä kuin ei-vioittuneet, koska ne alusta pitäen olivat kookkaampia. Jotta vioittumisen vaikutus kasvuun tulisi oikein esiin, laskettiin jokaiselle eloonjääneelle taimelle suhteelliset kasvutunnukset.

Suhteellisena pituuskasvuna pidettiin kolmen kasvukauden pituuskasvun suhdetta istutuspi-tuuteen. Indeksilukua 100 vastasi tilanne, jossa istutus-pituus olisi sama kuin kolmen vuoden kasvu. Vastaavasti paksuuskasvun indeksi laskettiin vertaamalla tyven kolmen kasvukauden kasvu tyven paksuuteen kokeen alussa. Taimet jaettiin kahteen ryhmään: terveisiin ja kerran tai useammin vioittuneisiin.

Terveiden luonnontaimien ($n = 34$) pituuskasvu oli kolmivuotiskautena 15,4 cm ja vioittuneiden ($n = 96$) 15,2 cm. Kokeen lopussa taimien keskipituudet olivat vastaavasti 37,2 ja 29,8 cm. Kasvun ero ei ollut tilastollisesti merkitsevää, mutta kokonaispituuden ero sen sijaan oli (T-testi, $P < 0,001$). Terveiden luonnontaimien kasvuindeksi oli 119, mutta vioittuneiden selvästi alhaisempi 80 ($P < 0,000$). Vioittuneiden luonnontaimien suhteellinen pituuskasvu oli siten keskimäärin 67,2 % terveiden kasvusta. Terveet ja vioittuneina eloonjääneet luonnontaimet eivät poikenneet tilastollisesti merkittävästi toisistaan tyven läpimitan kasvultaan.

Istutustaimien kasvu oli vastaavasti 21,2 ja 22,4 cm, sekä pituus 31,2 ja 38,0 cm. Terveiden istutustaimien kasvuindeksi oli 197 ja vioittuneiden taimien 151. Terveinä koko koejakson säilyneitä istutustaimia oli vain 5 kpl, joten tilastollisesti merkitsevän eron osoittaminen oli epävarmaa. Vioittuneiden istutustaimien suhteellinen pituuskasvu oli kuitenkin vain 77,0 % terveiden pituuskasvusta. Tyven läpimitan kasvussa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja.

4. Taimien kuolleisuus

41. Kuolleisuus eri vuosina

Istutustaimien kumulatiivinen kuolleisuus oli vuosittain 61,1 %, 66,3 % ja 69,8 % sekä luonnontaimien 32,1 %, 42,1 ja 49,2 %. Vuotuinen, jakson alussa elossa olevista taimista laskettu kuolleisuus oli istutustaimilla 44,9 % 13,3 % ja 9,5 % sekä luonnontaimilla 27,8 %, 14,6 % ja 12,3 %. Istutustaimia kuoli selvästi enemmän kuin luonnontaimia ensimmäisenä vuonna ja varsinkin sen alkujakson aikana. Laskettaessa taimien kuolleisuus vain voittuneista taimista ero luonnontaimien eduksi oli vieläkin selkeämpi (taulukko 1).

Pareittain tarkasteltaessa luonnontaimia jäi eloon myös merkitsevästi enemmän kuin istutustaimia. Vuosittain oli sellaisia pareja, joissa vain istutustaimi kuoli 34,1 % 31,7 % ja 27,8 %, mutta sellaisia, joissa vain luonnontaimi kuoli 5,2 % 7,5 % ja 7,1 % (McNemarin testi, $P < 0,000$). Istutustaimia taimilajeittain tarkasteltaessa paakkutaimet (kuva 5, parit 1 ja 2) eivät kuitenkaan tilastollisesti poikenneet vastaavista luonnontaimista.

42. Vioittuminen ja elonjääminen

Istutustaimista vioittui kolmivuotisen jakson aikana kaikkiaan 95,5 % ja luonnontaimista 82,9 %. Vioittuneista istutustaimista jäi eloon 30,0 % ja luonnontaimista 45,9 % (vrt. taulukko 1). Vioittumattomia taimia, jotka kuolivat, oli ensimmäisenä vuotena istutustaimissa vain 3 kpl ja luonnontaimissa 4 kpl, toisena vuotena vastaavasti 9 kpl ja 21 kpl sekä kolmantena vuotena 0 kpl ja 3 kpl.

43. Taimien riski kuolla

Taimien riskiä kuolla tutkittiin samoilla tilastollisilla menetelmillä kuin edellä niiden riskiä vioittua. Aineistona oli ensimmäisen vuoden lopulla 269 elonjäänyttä ja 235 kuollutta tainta.

Kuolleisuus oli voimakkaasti riippuvainen taimen vioituksen määrästä, mutta samalla myös taimen koosta ja tyypistä. Vioituksen määrää eri tavoin kuvaavista muuttujista (Y, H, I, L, V)

valittiin vain parhaiten selittävä vioituksen kaulaus % (Y). Y-muuttujan avulla jaettiin taimet lopullisessa mallissa kolmeen luokkaan: vähän tai ei ollenkaan vioittuneisiin (kaulaus 0–14 %), kohtalaisesti (15–84 %) ja vakavasti vioittuneisiin (85–100 %). Ne muutamat taimet, jotka eivät vioittuneet (Y = 0 %) mutta kuolivat, otettiin myös aineistoon mukaan.

Tyven läpimitta kuvasi taimen kokoa selvemmin kuin pituus, koska traumaattisen taimen menestyminen kytkeytyy juuri varren johtosolukoiden toimintakykyyn. Taimet ryhmiteltiin kolmeen tyviluokkaan: alle 2,4 mm, 2,5–3,4 mm ja yli 3,5 mm. Taimen tyyppi otettiin mukaan luokittelemalla taimet luonnontaimiin ja istutustaimiin. Viereisen taimen vioittumisella ei ollut merkitsevää korrelaatiota elonjäämisen kanssa, toisin kuin vioittumismallissa. Siksi sitä ei sovitettu lopulliseen malliin, jossa olivat mukana selittävinä muuttujina edelliset kolme luokittelevaa muuttujaa ja niiden 18 yhdistelmää (liite 2):

$$P = \ln(u) / [1 + \ln(u)]$$

jossa

P = Kuolleiden taimien ennustettu osuus

u = $b_0 + b_1(Y) + b_2(TYYPPI) + b_3(T)$

Y = Kaulaus % luokiteltuna

TYYPPI = Taimityyppi: luonnontaimi, istutustaimi

T = Taimen tyven paksuus luokiteltuna

Lopullisen mallin ja aineiston tilastollinen yhteensopivuus oli varsin hyvä, vastaten todennäköisyysarvo Khii-neliö-testillä $P = 0,473$, Lemeshowin testillä $P = 0,868$ ja C.C.Brownin testillä $P = 0,859$. Malli ennusti yli 80 % tapauksista oikein kuoleminen todennäköisyyden alueella 14–86 % ja vielä yli 71 % osui oikein todennäköisyyden vaihteluvälillä 10–14 % ja 87–93 %.

Mallin avulla voitiin laskea, että istutustaimien riski kuolla oli selvästi vastaavia luonnontaimia suurempi. Vähiten vioittuneiden istutustaimien riski kuolla vaihteli tyviluokittain 22,8, 17,1 ja 5,7 %, ja luonnontaimien vastaavasti 10,5, 7,6 ja 2,3 %. Vakavimmin vioittuneiden istutustaimien riski kuolla oli vastaavasti tyviluokittain 95,9, 94,3 ja 82,7 %, ja luonnontaimien 90,3, 86,7 ja 65,6 %. Tyveltään paksumpien, sekä istutus- että luonnontaimien, riski kuolla oli pienempi kuin tyviläpimitaltaan pie-

nempien taimien. Tämä piti paikkansa kaikissa voitusluokissa (liite 2).

44. Taimien kunto ja kehityskelpoisuus

Taimia yksilöllisesti seuraamalla voitiin todeta, että luonnontaimista 24,6 % oli kaikkina tarkastuskertoina terveitä, ja istutustaimista vastaavasti 17,5 %. Muiden taimien kunto vaihteli tarkastuskerroittain.

Toipuneita taimia eli sellaisia, jotka olivat kerran tai useammin luokiteltu kituviksi tai vikaisiksi oli vähän: luonnontaimista 1,6 % ja istutustaimista 3,2 %. Vikaisiksi jäi 24,6 % luonnontaimista ja 11,5 % istutustaimista sekä kituviksi 0,8 % ja 0,4 %.

Taimen kehityskelpoisuuden kriteerinä pidettiin normaalia muotoa kolmannen kasvukauden lopussa. Näin ottaen luonnontaimista oli kehityskelpoisia 25,4 % ja istutustaimista 18,3 %.

Koska koejärjestely oli pareittainen, taimien välistä kehityskelpoisuutta vertailtiin myös paritilanne huomioiden. Sellaisia taimipareja, joissa sekä luonnontaimi että istutustaimi jäivät kehityskelpoisiksi oli vain 9,5 %. Kehityskelvottomia pareja oli 65,9 %. Pareja, joissa vain luonnontaimi oli kelvoinen oli 15,9 % ja vain istutustaimi 22 kpl 8,7 %.

Tilastollisessa tarkastelussa luonnontaimet olivat istutustaimia merkitsevästi kehityskelpoisempia (Khii-neliö-testi = 19,60, $P < 0,0000$) ja paritilanne huomioidenkin voitiin luonnontaimia lopulta pitää istutustaimia kehityskelpoisimpina (McNemarin testi $P < 0,03$).

Vioittumisen vaikutus kolmen vuoden kuluessa eloonjääneiden taimien vikaisuuteen tai kituvuuteen ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Siten luonnontaimien ja istutustaimien vikaisuutta ja kituvuutta ei voitu selittää enää tukkimiehintäin voituksista johtuvaksi, vaan siihen vaikuttivat koejärjestelyn ulkopuoliset tekijät.

5. Tulosten tarkastelu

Tulokset osoittivat, että luonnontaimet menestyivät paremmin tukkimiehintäin aiheuttamassa tuhotilanteessa kuin istutetut taimet. Tutkitut tuhonkestävyyden piirteet, voittavuus ja eloonjääminen sekä niistä lasketut riskit tukivat yhdenmukaisesti luonnontaimien parempaa tuhonkestävyyttä ja menestymistä.

On kuitenkin huomattava, että luonnontaimien ja istutustaimien ero oli suurin heti istutuksen jälkeen, jolloin myös tukkimiehintäin merkitys tuholaisena on suurin. Kolmen vuoden kuluessa taimityyppien erot vähenivät niiden kasvaessa ja toisaalta myös tuholaisen vahingollisuuden vähentyessä uudistuslalla (esim. Långström 1982).

Vaikka saadut tulokset paljastavat luonnontaimien ja istutustaimien tuhonkestävyyden eron, tutkimuksen perusteella ei voida osoittaa perimmäisiä syitä tuhonkestävyyteen. Luonnontaimien kestävyys voi johtua niiden edullisimmista geneettisistä piirteistä tai istutustaimien heikkous puolestaan voi liittyä niille tunnusomaiseen stressiin (vrt. Kauppi 1984, Långström & Hellqvist 1989) ja kuivumiseen, joka saattoi herkistää tainta tukkimiehintäille.

Pihkavuoto (resinoosi) on eräs männyn luonnontaimien tuhonkestävyyden perusta. Stressi voi alentaa männyn pihkan määrää ja siten puun luontaista vastustuskykyä (esim. Hodges & Lo-

rio 1975). Tähän viittasi se, että istutustaimet poikkesivat voittavuudeltaan eniten luonnontaimista juuri istutuksen jälkeen, mutta ero taikoitui jo ensimmäisen kasvukauden lopulla.

Istutustaimien herkyys voittua saattoi johtua myös niiden kasvatuksesta taimitarhalla. Esi-merkiksi normaalisti täyslannoitetujen, kokeissa käytettyjen istutustaimien luonnontaimia selvästi suurempi nilapitoisuus (vrt. kuva 3) saattoi vaikuttaa houkuttelevuuteen. Lannoitetun taimen nilan suurempi määrä ja laatu liittyy läheisesti taimen hiilihydraattien, proteiinien ja muiden olennaisten ravintoaineiden määrään, joiden tiedetään houkuttelevan tukkimiehintäitä (esim. Ohnesorge 1953, Hesse ym. 1955, Kauth & Madel 1955).

Toisaalta kasveissa on myös typpipitoisia yhdisteitä, kuten ravintona epäolennaisia proteiineja, alkaloideja, typpipitoisia glykosideja ja nitraatteja, jotka voivat olla ravinnoksi kelpaamattomia tai jopa myrkyllisiä (ks. esim. Brodbeck & Strong 1987). Paitsi nilaan ravintoaineena typpilannoitus voisi vaikuttaa myös epäsuorasti nilan tuoksuun. Typpilannoituksen on todettu lisäävän haihtuvien terpeenien kokonaismäärää varttuneissa männnyissä (Hiltunen ym. 1975). Typpilannoitetusta ja lannoittamattomasta puusta peräisin olleet tukkimiehintäin pyyntipuut olivat tutkittaessa yhtä houkuttelevia (Löyt-

tyniemi & Hiltunen 1976).

Luonnontaimille oli ominaista myös parempi toipuminen vioituksesta, vaikka kärsäkäs saattoi vioittaa niitä istutustaimia toistuvammin, mutta sekä absoluuttisesti (pinta-alana) että suhteellisesti (%-alana varren vaipalta) ottaen niukemmin. Luonnontaimien parempi kyky kestää toistuvaa vioitusta ja toipua siitä voi olla osoitus luonnontaimen paremmin toimivasta luontaisesta puolustusjärjestelmästä. Siihen saattaa liittyä pihkahappojen ja muiden suoja-aineiden kasautuminen vioituskohtiin (esim. Selander 1976, Gref & Ericsson 1985, Ericsson 1988). Lisätutkimuksia tarvitaan selvittämään yksityiskohtaisemmin niitä tekijöitä, joista vastaistutetun taimen suhteellisen heikoksi havaittu tuhonkestävyys johtuu, ja sitä miten sitä voitaisiin parantaa.

Toisaalta tulokset osoittavat että luonnontaimetkin saattavat kärsiä vakavasti tukkimiehintäin vioituksesta. Tämä onkin hyvin mahdollista olosuhteissa, joissa kärsäkäs populaatio on tiheä ja tuoreita hakkuutähteitä on paikalla, kuten koepaikkana olleella siemenpuustoisella tuoreella hakkuualalla. Vaartajan (1952) havainnot tukkimiehintäin vahingollisuudesta männyn luontaiselle uudistamiselle liittyivät myös tilanteisiin, joissa uudistusala sijaitsi lähellä avohakkuualaa.

Istutustaimet suojataan tukkimiehintäitä vastaan torjunta-aineella tavallisesti jo taimitarhalla. Torjunta-aineet eivät kuitenkaan soveltune luonnontaimien suojaukseen, sillä niiden käyttö olisi metsässä varsin kallista. Luontaisesti uudistettavalla alalla tukkimiehintäin torjunnan tulisi perustua sellaisiin metsänhoidollisiin menetelmiin, joilla taimia saataisiin syntymään mahdollisimman aikaisin ennen hakkuuta ja

samalla voitaisiin varmistaa kärsäkästä kestävä vanteran taimiaineuksen muodostuminen.

Tutkimus tuki käsitystä, että kookkaammat istutustaimet menestyvät paremmin kuin pienikokoiset (Eidmann 1969). Tämä piti tosin paikkansa vain paljasjuuristen taimien osalta, sillä kaksivuotinen, paljasjuurisia taimia pienempi paakkutaimi menestyi vieläkin paremmin.

Tässä tutkimuksessa laaditutuilla taimen riskimalleilla voidaan ennustaa taimiyksilön menestymistä taimesta itsestään johtuvien ominaisuuksien avulla. On kuitenkin huomattava, että mallit perustuvat vain yhteen kenttäkokeeseen ja näiden mallien yleispätevyyden lisäämiseksi tarvittaisiin vielä laajempia kokeita ja mallien edelleen testaamista. On selvää, että tässä tutkimuksessa selvitettyjen taimitunnusten lisäksi sekä tuholaispopulaation yksilömäärä että taimen kasvupaikkatekijät vaikuttavat myös taimien riskiin vioittua ja kuolla.

Tuholaispopulaation määrän arvioimiseksi ja populaatiomallin laatimisen avuksi onkin jo alustavasti tutkittu pyydyksiin sopivia tuoksuaineita (esim. Selander ym. 1973, Selander 1979, Tilles ym. 1986a, 1986b, Nordlander 1987) sekä myös kärsäkkään itsensä tuottamia houkuttelevia feromoneja (Selander 1978, Kalo 1979, Tilles ym. 1988). Kärsäkkään aiheuttamaa taimikuolleisuutta on toisaalta pyritty ennustamaan myös ilman populaatiomallia käyttäen uudistusalan kasvupaikkatekijöitä riskimallin laadintaan (Pullinen 1989).

Vasta taimen kestävyysmallin, tukkimiehintäin populaatiomallin ja kasvupaikkatekijöiden soveltaminen yhteen riskimalliin ja sen integroiminen metsänuudistamisen päätöksentekoon voi johtaa metsänsuojelun käytäntöä hyödyttäviin sovellutuksiin.

Kirjallisuus — References

- Berryman, A.A. & Millstein, J.A. 1989. Population analysis system. Popsys Ser.1 v.2. (Manuaali ja mikro-tietokoneohjelma). Ecological System Analysis, Pullman, USA.
- & Stark, R.W. 1985. Assessing the risk of forest insect outbreaks. Zeitschrift für Angewandte Entomologie 99: 199–208.
- Brodbeck, B. & Strong, D. 1987. Amino acid nutrition of herbivorous insects and stress to host plants. Teoksessa: Barbosa, P. & Schultz, J.C. (toim.) Insect outbreaks. Academic Press. San Diego. s. 347–364.
- Escherich, K. 1923. Die Forstinsekten Mitteleuropas. II. Berlin. 663 s.
- Eidmann, H.H. 1969. Rüsselkäferschäden an verschiedenen Nahrungspflanzen. Anzeiger für Schädlingskunde und Pflanzenschutz 42: 22–26.
- 1974. Hylobius Schönh. Teoksessa: Schwenke, W. (toim.) Die Forstschädlinge Europas II. Käfer. Hamburg-Berlin. s. 275–293.
- 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.
- Gref, R. & Ericsson, A. 1985. Wound-induced changes of resin acid concentrations in living bark of Scots pine seedlings. Canadian Journal of Forest Research 15: 92–96.
- Hedden, R.L., Barras, S.J. & Coster, J.E. (toim.) 1981. Hazard-rating systems in forest insect pest management: symposium proceedings. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. General Technical Report WO-27. 169 s.
- Hesse, G., Kauth, H. & Wächter, R. 1955. Frasslockstoffe beim Fichtenrüsselkäfer, *Hylobius abietis* L. Zeitschrift für Angewandte Entomologie 37: 239–244.
- Heikkilä, R. 1981. Männyn istutustaimikkojen tuhot Pohjois-Suomessa. Summary: Damage in Scots pine plantations in northern Finland. Folia Forestalia 479. 22 s.
- Hicks, R.R., Coster, J.E. & Mason, G.N. 1987. Forest insect hazard rating. Journal of Forestry 1987(10): 20–25.
- 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.
- Hodges, J.D. & Lorio, P.L. 1975. Moisture stress and composition of xylem oleoresin in loblolly pine. Forest Science 21: 283–290.
- Häkkinen, R. & Linnilä, K. 1987. Logistiset ja logilineaariset mallit ja niiden ratkaiseminen BMDP-ohjelmistolla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 279. 47 s.
- Immonen, Auli. 1990. Männyn (*Pinus sylvestris* L.) taimen alttiudesta tukkimiehentäille (*Hylobius abietis* L.). Joensuu yliopisto, biologian laitos. Pro gradu -työ. 106 s.
- Kalo, P. 1979. Identification of potential sex pheromones in the large pine weevil, *Hylobius abietis* L. (Coleoptera, Curculionidae). Finnish Chemical Letters 1979: 189–192.
- Kangas, E. 1937. Tutkimuksia mäntytaimistotuhoista ja niiden merkityksestä. Referat: Untersuchungen über die in Kiefernplanzbeständen auftretenden Schäden und ihre Bedeutung. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 24. 304 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.
- Kauth, H. & Madel, W. 1955. Über die Ergebnisse der im Schwarzwald und Hunsrück von 1952 bis 1964 durchgeführten Freilandversuche zur Anlockung des grossen braunen Rüsselkäfers, *Hylobius abietis*. Zeitschrift für Angewandte Entomologie 37. 249 s.
- Lehto, J. 1956. Tutkimuksia männyn luontaisesta uudistumisesta Etelä-Suomen kangasmailla. Summary: Studies on the natural reproduction of Scots pine on the uplands soils of Southern Finland. Acta Forestalia Fennica 66(2). 106 s.
- 1969. Tutkimuksia männyn uudistamisesta Pohjois-Suomessa siemenpuu- ja suojukspuumenetelmällä. Summary: Studies conducted in Northern Finland on the regeneration of Scots pine by means of the seed tree and shelterwood methods. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 67(4). 140 s.
- Långström, B. 1982. Abundance and seasonal activity of adult *Hylobius*-weevils in reforestation areas during first years following final felling. Seloste: Tukkikärsäkäsäkaisten runsaus ja esiintyminen avohakkuu-aloilla päätehakkuun jälkeisinä vuosina. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 106. 23 s.
- 1985. Tukkimiehentäin aiheuttamat tuhot Suomessa vuosina 1970–1971. Yhteispuhjoisaisen tutkimuksen Suomea koskevat tulokset. Summary: Damage caused by *Hylobius abietis* in Finland 1970–1971. Results from the Finnish part of a joint Nordic study. Folia Forestalia 612. 11 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. & 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 Fenniae 42: 185–188.
- Nenonen, M. & Jukola, J. 1960. Tukkimiehetäin (*Hylobius abietis*) tuhoista männyntaimistoissa ja niiden torjunnasta DDT:n avulla. Summary: Pine weevil (*Hylobius abietis*) injuries and their control by DDT in Scots pine seedling stands. Silva Fennica 104(2). 30 s.
- Niemelä, M., Pyykkö, M. & Uotila, M. 1974. Mikrotekniikan kurssi. Helsingin yliopiston kasvitieteen laitoksen monisteita 14. 38 s.
- Nordlander, G. 1987. A method for trapping *Hylobius abietis* L. with a standardized bait and its potential for forecasting seedling damage. Scandinavian Journal of Forest Research 2: 199–213.
- Norusis, M.J. 1988. SPSS/PC+ V2.0 Base Manual. SPSS Inc. Chicago.
- 1989. SPSS/PC+ V3.0 Update Manual. SPSS Inc., Chicago.
- Ohnesorge, B. 1953. Der Einfluss von Geruchs- und Geschmackstoffen auf die Wahl der Frasspflanzen beim grossen braunen Rüsselkäfer *Hylobius abietis* L. Beiträge zur Entomologie 3: 437–468.
- Pullinen, J. 1989. Mahdollisuuksista ennakoita uudistusalan kasvupaikkatekijöiden perusteella tukkimiehetäin tuhoja männyn taimilla. Helsingin Yliopisto, maatalous- ja metsäeläintieteen laitos. Pro gradu -työ. 94 s.
- Reams, G.A., Brann, T.B. & Halteman, W.A. 1988. A nonparametric survival model for balsam fir during spruce budworm outbreak. Canadian Journal of Forest Research 18: 787–793.
- Selander, J. 1976. Männyn viljelytaimien pihkan moniterpeenihiihivetyjen koostumuksesta *Hylobius abietis* L. aiheuttamissa fysiogeenisissä vioituksissa. Helsingin yliopisto, kasvipatologian laitos. Laudaturtyö. 45 s.
- 1978. Evidence of pheromone mediated behaviour in the large pine weevil, *Hylobius abietis* L. (Col., Curculionidae). Annales Entomologici Fenniae 44: 105–112.
- 1979. Olfactory behaviour of the large pine weevil, *Hylobius abietis* L. (Coleoptera, Curculionidae) with pertinent aspects concerning its integrated control.

- University of Helsinki. Department of Agricultural and Forest Zoology, Reports 1. 46 s.
- & Kalo, P. 1979. Männyn taimen pihkan monoterpeenien vaikutuksesta tuhonkestävyyteen tukkimiehen-täitä, *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 monoterpene composition. *Silva Fennica* 13(2): 115–130.
- , Kangas, E., Perttunen, V. & Oksanen, H. 1973. Olfactory responses of *Hylobius abietis* L. (Col., Curculionidae) to substances naturally present in pine phloem or their synthetic counterparts. *Annales Entomologici Fenniae* 39: 40–45.
- Tilles, D.A., Nordlander, G., Nordenhem, H., Eidmann, H.H., Wassgren, A. & Bergström, G. 1986a. Increased release of host volatiles from feeding scars: a major cause of field aggregation in the pine weevil *Hylobius abietis* (Coleoptera: Curculionidae). *Environmental Entomology* 15: 1050–1054.
- , Sjödin, K., Nordlander, G. & Eidmann, H.H. 1986b. Synergism between ethanol and conifer host volatiles as attractants for the pine weevil, *Hylobius abietis* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Economical Entomology* 79: 970–973.
- , Eidmann, H.H. & Solbreck, B. 1988. Mating stimulant of the pine weevil, *Hylobius abietis* (L.). *Journal of Chemical Ecology* 14: 1495–1503.
- Vaartaja, O. 1952. Alikasvosasemasta vapautettujen männyn taimistojen toipumisesta ja merkityksestä metsänhoidossa. Summary: On the recovery of released pine advance growth and its silvicultural importance. *Acta Forestalia Fennica* 59. 133 s.

Total of 44 references

Summary

Resistance of naturally regenerated and nursery-raised Scots pine seedlings to the large pine weevil, *Hylobius abietis* (Coleoptera, Curculionidae)

The large pine weevil (*Hylobius abietis* L.) has so far been almost exclusively studied as a pest of artificially regenerated stands (cf. Escherich 1923, Eidmann 1974, Långström 1982, 1985). The weevil is abundant on such sites because the newly logged forest areas are attractive to the weevil for breeding. This coincides with its destructive feeding on the newly planted seedlings. In contrast, the weevil population proved to be low in the naturally regenerated forests, and consequent damage to the naturally grown seedlings negligible (cf. Vaartaja 1952, Lehto 1956, Eidmann 1974).

The extent of the damage caused by the weevil is largely dependent on its population size in a planted forest site (e.g. Nordlander 1987). It is also known that different types of planted seedlings vary in their susceptibility to damage by the weevil (Eidmann 1969). However, little is known about the comparative susceptibility of naturally regenerated and nursery-grown planted seedlings. The objective of this study was to evaluate the success of both type of plant grown in similar conditions, and to assess the risk of their being attacked or killed by the weevil.

Material and methods

The 3-year study was carried out in a freshly cut seed stand at Vesijako (N 61°22', E 25°05'), southern Finland, during 1985–1987. The experimental design was based on a total of 252 plant pairs. Each pair consisted of a naturally generated seedling and a nursery grown counterpart of about the same stem diameter, planted at a distance of 10 cm from the natural seedling (Fig. 1, Table 1). No

insecticides were used to protect the plants.

All the plants were inspected twice during the first year: shortly after the establishment of the trial, and in the autumn. The plants were also inspected during the second and third years by distinguishing between the fresh wounds and the scars from earlier years. The height (h) and stem diameter (d) of the surviving plants were also measured (Fig 2). Samples from planted seedlings and naturally grown seedlings were also measured in laboratory for their stem phloem thickness (Fig. 3).

The severity of weevil injury to the stem bark was estimated using three variables. The girdling percentage (Y) was used to indicate the maximum circumference of wounds on the cross-sectional area of the stem. Variable Y was estimated visually using the scale 0 to 100 % with a 5 % interval. In general, a plant was considered to have been attacked, if Y was equal or greater than 5 %. The vertical extent (L in cm) of damaged bark on the stem was measured. The damaged bark area percentage (H) over the length of variable L was estimated using 5 % intervals (Fig. 4).

The proportion of stem damage (V %), out of the total height of the plant, was also calculated. This was used to calculate the absolute damaged bark area (variable A cm²) out of the length of damage on the stem for each plant. The variable A was further used to calculate the wounding index (I %), i.e. the percentage of the affected bark area out of the total area of the stem bark surface of individual plants (excluding the current year's shoot).

Analysis of the data for the two correlated samples, i.e. the natural plants versus the planted seedlings, required statistical methods that fully took into account the paired design of the experiment. The McNemar test was used to

determine the significance between the paired proportions of attacked/not attacked, and survived/dead plants. When the variables representing the severity of wounding (Y, L, A, and their derivatives V, I) were neither normally nor symmetrically distributed in the data (Lilliefors' test), the Willcoxon matched-pairs signed-ranks test was employed instead of parametric statistics (Norusis 1988, 1989).

The risk of plants being attacked or killed was calculated by means of a logistic regression model and stepwise fitting of the explanatory variables: plant type, height and stem diameter (cf. Engelmann 1988). In addition, the fate of the counterpart was considered as a dichotomous variable in the model, because if a weevil fed on one plant then it was highly likely to feed also on the counterpart plant.

Results

Susceptibility of seedlings to attack

The planted seedlings were more frequently attacked than their naturally regenerated counterparts. One month after the beginning of the trial, 84.5 % of the planted seedlings had been attacked, and 63.9 % of the natural ones. At the end of the 3-year study period, 95.6 % of the planted seedlings and 82.9 % of the natural seedlings had been once or more frequently attacked (Table 1). There was a significantly greater number of plant pairs where only the planted seedling had been attacked (Fig. 5).

It was also notable that the damage was, in a number of ways, more severe on the planted seedlings than on the natural plants. For example, the mean girdling percentage (Y) of the planted seedlings was 80.9 % (median 100 %), but was much lower for the natural seedlings, (59.6 %, median 40 %). The mean area of wounded bark (A) on the planted seedlings, was 5.74 cm², corresponding to 42.4 % of the stem bark total (I). The corresponding values for the natural seedlings were 3.43 cm² and 17.7 %, only (Figs. 6 and 7).

The risk of attack was studied by constructing a logistic regression model to explain the probability of attack occurring on an individual plant. The data for the first year only were used and included 433 once or more frequently damaged plants and 71 sound plants. The plant type, height, stem diameter and the fate of the counterpart were tentatively and stepwisely fitted to the model as the explanatory variables. The final model was specified by fitting the following logistic model (Appendix 1):

$$P = \ln(u) / [1 + \ln(u)]$$

where

P = Predicted proportion of attacked plants

u = $b_0 + b_1(\text{TYYPPI}) + b_2(\text{ISPITL}) + b_3(\text{NAAPURI})$

b_i = constant or coefficient of the independent variables

TYYPPI: 1 = Natural plant,

2 = Planted counterpart/ ball-rooted seedlings,

3 = Planted counterpart/ bare-rooted seedling.

ISPITL: Height class of the plant:

1 = 5–9 cm, 2 = 10–14 cm, 3 = 15–20 cm,
4 = 21–42 cm

NAAPURI: Counterpart 1 = Attacked,

2 = Not attacked

The goodness of fit was significant in the Chi-square test (P = 0.944), in the Hosmer-Lemeshow test (P = 0.964), and in the C.C.Brown's test (P = 0.698). The model predicted 84.4–88.9 % of the cases of attack correctly when the predicted probability of damage ranged from 1 to 84 %. However, the model was less sensitive to the range of 85–90 % (or over), when only 70.2–74.0 % of the data were correctly classified.

According to the model, the risk of attack on the planted seedlings was clearly higher (84.6–99.8 % depending on plant height) than that for their natural counterparts (30.0–92.9 %). The taller plants had a higher risk of being attacked than the smaller ones, but the planted seedlings were generally more susceptible to weevil attack. In addition, attack on the counterpart plant increased the risk of attack to the other plant in the pair under all conditions (Appendix 1).

Plant mortality

The yearly cumulative mortality of the planted seedlings was 61.1 %, 66.6 % and 69.8 %, and that of natural plants 32.1 %, 42.1 % and 49.2 % (Table 1). When the paired experimental design was taken into account, the cumulative 3-year percentage of pairs in which only the planted seedling died was 27.8 %. In contrast, those pairs where only the natural seedling died accounted for only 7.1 % (Fig. 5).

The risk of mortality was also studied using a logistic model. The data for the first year included 269 survived and 235 dead plants. The final model was obtained by specifying the following model (Appendix 2):

$$P = \ln(u) / [1 + \ln(u)]$$

where

P = Predicted proportion of killed plants

u = $b_0 + b_1(Y) + b_2(\text{TYYPPI}) + b_3(\text{TYVI})$

Y = Girdling percentage:

1 = 0–14 % Negligible,

2 = 15–84 % Moderate or severe,

3 = 85–100 % Very severe.

TYYPPI: 1 = Natural plant, 2 = Planted seedling.

TYVI (Stem diameter):

1 = 1.0–2.4 mm, 2 = 2.5–3.4 mm, 3 = 3.5–8.0 mm

The goodness of fit of the model was very significant in the Chi-square test (P = 0.473), in the Hosmer-Lemeshow test (P = 0.868), and in C.C.Brown's test (P = 0.859). The model predicted 80 % of the cases correctly when the predicted probability of damage ranged from 14 to 86 %. However, the model was less sensitive to the cutpoint ranges of 10–14 % and 87–93 % (and over), when only 71

% of the data became correctly classified.

According to the model, the mortality risk for the planted seedlings was clearly higher than that of their naturally generated counterparts. For example, the mortality risk of natural plants in the slightly affected plant class ($Y < 14$ %) ranged from 2.3–10.5 % depending on their stem diameter. The corresponding risk for the planted seedlings was 5.7–22.8 %. In general, the plants with larger stem diameter had lower mortality risk (Appendix 2).

Plant development

The success of the living test plants, i.e. their survival, growth and form, were evaluated. There were relatively few recovering plants: 1.6 % of the natural plants and 3.2 % of the planted seedlings. The mortality due to weevil damage was overwhelmingly the most important reason for poor success. In addition, 24.6 % of the natural plants and 11.5 % of the planted seedlings showed slight disturbance in shoot development. However, this did not correlate with weevil damage.

Based on the above criteria, 64 of the natural plants (25.4 % of the original number) had acceptable form and growth. A total of 46 planted seedlings (18.3 %) had good form and growth. There were 40 (15.9 %) pairs where the natural plant only showed acceptable development. In contrast, there were only 22 (8.7 %) pairs where the planted counterpart alone performed successfully.

Discussion

The results showed that the naturally regenerated plants were less susceptible to weevil injury than their planted counterparts. The results suggest that owing to the weevil's sparse distribution in natural reforestation areas, the damage they cause to the natural seedlings is less severe. However, it was notable that the difference was the greatest shortly after transplanting, but decreased during the next two years. This would suggest that water stress or some other physiological effect related to transplanting (cf. Kauppi 1984, Långström & Hellqvist 1989) was one of the reasons why they were relatively more attractive to the weevils.

The nursery-raised seedlings had thicker stem phloem (Fig. 3) due to fertilization and tending. The phloem thickness may make the seedlings more attractive to the weevils since their food is likely to contain more carbohydrates, proteins and other essential nutrients (Ohnesorge 1953, Hesse et al. 1955, Kauth & Madel 1955). On the other hand, nitrogen is also present in plants in the form of non-essential proteins, alkaloids, cyanogenic glycosides and nitrates, which are nutritionally useless or even toxic (cf. Brodbeck & Strong 1987). Nitrogen fertilization is also known to increase the quantity of volatile terpenoids in trees (Hiltunen et al. 1975). However, bait bolts originating from trees given different types of fertilizer do not

differ in their catch of pine weevils (Löyttyniemi & Hiltunen 1976).

The naturally regenerated seedlings recovered better than their planted counterparts, even if they had been more frequently attacked. On the other hand, their wounds were less severe in terms of the absolute or relative area of damaged bark. This indicates a more effective defence system in natural plants, possibly supported by the accumulation of resin acid surrounding the wounded area (cf. Selander 1976, Gref & Ericsson 1985, Ericsson 1988). More studies are needed to determine the reasons for the high susceptibility of newly planted seedlings to weevil attack.

The damage caused by the pine weevil to the natural plants, although less than that of the planted seedlings, was still considerably high in this experiment on a site designated for natural regeneration. The smallest, naturally regenerated plants especially, were severely affected. Planted seedlings can be easily protected by using insecticides in the nursery or before planting, but it is not feasible to use chemicals to protect naturally regenerated seedlings owing to the high labour costs and application problems.

In favorable regeneration conditions, an abundant naturally regenerated seedling stock is likely to ensure an acceptable number of well developed plants. On the other hand, the weevil's impact under poor regeneration conditions may considerably reduce the natural seedling stock, particularly the number of smallest plants. Silvicultural methods could be applied to promote the establishment of a robust seedling stock on the site to be naturally regenerated, before the weevils are likely to invade the site in large numbers as a result of attraction by the fresh logging residues.

Taller planted seedlings are generally considered to survive weevil attack better than smaller ones (Eidmann 1969, 1974). In general, the results of this study are in agreement. On the other hand, it was difficult to make comparisons between the natural plants and the planted seedlings because the plants differed as regards height and stem diameter (natural seedlings are more slender), as well as in other morphological features. However, the results indicated that the type of plant (natural or planted) was a better explanatory variable than plant size in predicting weevil attack.

The methodological goal of this study was to provide a risk model for the attack or death of individual plant. It is notable that the models presented here can only be used for the paired comparison of two types of plants. A weevil population model is still needed for assessing the weevil population size and consequent risk on a forest site. Since the population size of the weevil is related to seedling damage, a number of attractive materials have been evaluated for use in field traps (Selander et al. 1973, 1978, 1979; Kalo 1979, Tilles et al. 1986a, 1986b, 1988; Nordlander 1987). Integration of the host impact model (risk of attack and death) with the weevil's population model will be the key to improved decision-making in forest regeneration matters.

Liite 1. Logistisen voittumisriskimallin muuttujat, parametrit sekä todetun ja ennustetun voittuneisuuden vertailu.
Appendix 1. The variables and their parameters of the logistic risk model, and comparison between the observed and predicted incidence of damage.

Selittävät muuttujat <i>Dependent variable</i>			Todettu voittuneisuus <i>Observed incidence of wounding</i>				Malli ja sen ennustama voittuneisuus <i>Model and predicted incidence of wounding</i>					
TYYPPI	ISPITL	NAAPURI	Kyllä	Ei	Yht.	Vioittui	$P = \ln(u)/[1+\ln(u)]$					Vioittuneisuus <i>Wounded</i>
Taimityyppi <i>Type of plant</i>	Pituus cm <i>Height cm</i>	Pari voittui? <i>Counterpart damaged?</i>	Yes n	No n	Total n	Wounded %	b_0	$+ b_1X_1$	$+ b_2X_2$	$+ b_3X_3$	= u	P =
X_1	X_2	X_3										
Luonnontaimi <i>Natural plants</i>	5–9	Kyllä–Yes	2	7	9	22.2	2.292	–2.20	–1.81	.878	–.838	.302
		Ei–No	0	4	4	0.0	2.292	–2.20	–1.81	–.878	–2.59	.070
	10–14	Kyllä–Yes	30	18	48	62.5	2.292	–2.20	–.555	.878	.412	.602
		Ei–No	2	6	8	25.0	2.292	–2.20	–.555	–.878	–1.34	.207
	15–20	Kyllä–Yes	65	13	78	83.3	2.292	–2.20	.748	.878	1.715	.848
		Ei–No	1	0	1	100.0	2.292	–2.20	.748	–.878	–.041	.490
21–42	Kyllä–Yes	95	7	102	93.1	2.292	–2.20	1.612	.878	2.580	.930	
	Ei–No	1	1	2	50.0	2.292	–2.20	1.612	–.878	.824	.695	
Paakkutaimi <i>Ball-rooted seedlings</i>	5–9	Kyllä–Yes	10	0	10	100.0	2.292	.998	–1.81	.878	2.362	.914
		Ei–No	6	2	8	75.0	2.292	.998	–1.81	–.878	.606	.647
	10–14	Kyllä–Yes	29	2	31	93.6	2.292	.998	–.555	.878	3.613	.974
		Ei–No	14	3	17	82.4	2.292	.998	–.555	–.878	1.857	.865
	15–20	Kyllä–Yes	15	0	15	100.0	2.292	.998	.748	.878	4.916	.993
		Ei–No	1	0	1	100.0	2.292	.998	.748	–.878	3.160	.959
Paljasjuurinen taimi <i>Bare-rooted seedlings</i>	5–9	Kyllä–Yes	12	1	13	92.3	2.292	1.205	–1.81	.878	2.569	.929
		Ei–No	9	5	14	64.3	2.292	1.205	–1.81	–.878	.813	.693
	10–14	Kyllä–Yes	51	1	52	98.1	2.292	1.205	–.555	.878	3.820	.979
		Ei–No	9	1	10	90.0	2.292	1.205	–.555	–.878	2.064	.887
	15–20	Kyllä–Yes	46	0	46	100.0	2.292	1.205	.748	.878	5.123	.994
		Ei–No	2	0	2	100.0	2.292	1.205	.748	–.878	3.367	.967
21–42	Kyllä–Yes	29	0	29	100.0	2.292	1.205	1.612	.878	5.987	.997	
	Ei–No	4	0	4	100.0	2.292	1.205	1.612	–.878	4.231	.986	

Liite 2. Logistisen kuolinriskimallin muuttujat, parametrit sekä todetun ja ennustetun kuolleisuuden vertailu.
Appendix 2. The variables and parameters of the logistic risk model, and comparison between the observed and predicted mortality.

Selittävät muuttujat Dependent variable			Todettu kuolleisuus Observed mortality				Malli ja sen ennustama kuolleisuus Model and predicted mortality					
Y	TYYPPI	TYVI	Kyllä	Ei	Yht.	Kuoli	P = ln(u)/[1+ln(u)]				Kuolleisuus	
Kaulaus- luokka <i>Girdling</i> class	Taimityyppi <i>Type of plant</i>	Tyven lpm <i>Stem diam.</i> mm	Yes n	No n	Total n	Died %					Mortality	
X1	X2	X3					b ₀	+ b ₁ X ₁	+ b ₂ X ₂	+ b ₃ X ₃	= u	P =
0–14%	Luonnontaimi	1.0–2.4	1	33	34	2.9	-.559	-1.77	-.460	.650	-2.14	.105
	<i>Natural plants</i>	2.5–3.4	4	22	26	15.4	-.559	-1.77	-.460	.292	-2.50	.076
		3.5–8.0	1	29	30	3.3	-.559	-1.77	-.460	-.942	-3.73	.023
		Istutustaimi	1.0–2.4	3	7	10	30.0	-.559	-1.77	.460	.650	-1.22
	<i>Planted seedlings</i>	2.5–3.4	0	7	7	0.0	-.559	-1.77	.460	.292	-1.58	.171
		3.5–8.0	1	4	5	20.0	-.559	-1.77	.460	-.942	-2.81	.057
15–84%	Luonnontaimi	1.0–2.4	2	8	10	20.0	-.559	-.832	-.460	.650	-1.20	.231
	<i>Natural plants</i>	2.5–3.4	6	21	27	22.2	-.559	-.832	-.460	.292	-1.56	.174
		3.5–8.0	1	46	47	2.1	-.559	-.832	-.460	-.942	-2.79	.058
		Istutustaimi	1.0–2.4	3	2	5	60.0	-.559	-.832	.460	.650	-.281
	<i>Planted seedlings</i>	2.5–3.4	6	11	17	35.3	-.559	-.832	.460	.292	-.639	.346
		3.5–8.0	8	54	62	12.9	-.559	-.832	.460	-.942	-1.87	.133
85–100%	Luonnontaimi	1.0–2.4	31	2	33	93.9	-.559	2.605	-.460	.650	2.236	.903
	<i>Natural plants</i>	2.5–3.4	22	5	27	81.5	-.559	2.605	-.460	.292	1.878	.867
		3.5–8.0	13	5	18	72.2	-.559	2.605	-.460	-.942	.644	.656
		Istutustaimi	1.0–2.4	50	2	52	96.2	-.559	2.605	.460	.650	3.156
	<i>Planted seedlings</i>	2.5–3.4	51	4	55	92.7	-.559	2.605	.460	.292	2.798	.943
		3.5–8.0	32	7	39	82.1	-.559	2.605	.460	-.942	1.564	.827

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) 82 912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* Kirkkosaarentie, 91500 Muhos, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 533 1404

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

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

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



- No 757 Kaila, Erkki & Saarenmaa, Hannu: Tietokoneavusteinen päätöksenteko metsätaloudessa.
Computer-aided decision making in forestry.
- No 758 Ylitälo, Esa, Mäki-Simola, Elina & Turunen, Jukka: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1988.
Removals and flows of commercial roundwood in Finland in 1988, by districts.
- No 759 Pätilä, Antti & Nieminen, Mika: Turpeen emäsraavinne- ja rikki-tase karuilla ojitetuilla rämeillä laskeuma huomioon ottaen.
Base cation nutrients and sulphur status of drained oligotrophic pine mires considering the atmospheric input.
- No 760 Aarne, Martti, Uusitalo, Matti & Herrala-Ylinen, Helena (toim.): Metsätalollinen vuosikirja 1989.
Yearbook of forest statistics, 1989.
- No 761 Poikolainen, Jarmo: Hailuodon jäkäläkankaiden taimikot ja niiden hirvituhot.
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 kasvupaikkatyypin 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 windthrow of Scots pine stands in Lapland.
- No 765 Uotila, Esa & Peltola, Aarre: Hankinta- ja pystykaupan tulojen katelaskentamenetelmä.
A method for calculating residual incomes from delivery and standing sales of timber.
- No 766 Selander, Jukka, Immonen, Auli & Raukko, Pekka: Luontaisen ja istutetun männyntaimen kestävyys tukkimiehentäitä vastaan.
Resistance of naturally regenerated and nursery-raised Scots pine seedlings to the large pine weevil, *Hylobius abietis* (Coleoptera, Curculionidae).