

09.09.91



FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
HELSINKI 1990

766

Jukka Selander, Auli Immonen & Pekka Raukko

LUONTAISEN JA ISTITUTETUN MÄNNYNTAIMEN KESTÄVYYS
TUKKIMIEHENTÄITÄ 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:
Director:

Professori
Professor

Eljas Pohtila

Julkaisujen jakelu:
*Distribution of
publications:*

Kirjastonhoitaja
Librarian

Liisa Ikävalko-Ahonen

Julkaisujen toimitus:
Editorial office:

Toimittajat
Editors

Seppo Oja
Tommi Salonen

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

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

FOLIA FORESTALIA 766

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1990

Jukka Selander, Auli Immonen & Pekka Raukko

LUONTAISEN JA ISTUTETUN MÄNNYNTAIMEN KESTÄVYYS
TUKKIMIEHENTÄITÄ VASTAANResistance of naturally regenerated and nursery-raised Scots pine seedlings to the
large pine weevil, *Hylobius 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 käsitteily	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 männenytaimen kestävyys tukkimiehentää 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 männenytaimen kestävyyttä tukkimiehentää tuhoille kolmen kasvukauden ajan. Tutkimus toteutettiin pareittaisena koe-järjestelynä istuttamalla luonnontaimen viereen tyveltään samankokoinen viljelytaimi. Viljelytaimia oli viittä taimilajia, sekä paakkutaimia että paljasjuurisia, joita ei käsitlety torjunta-aineilla. Koealana oli tuore, siemenpuasentoon hakattu kuivahko kangas Padasjoen Vesijaolla.

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

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 %. Viotutuneiden taimien vaara kuolla ensimmäisenä vuonna oli eri kokoisilla luonnontaimilla 2,3–10,5 % ja istutustaimilla 5,7–22,8 %. Luonnontaimet myös toipuivat vioituksesta 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

Tukkimiehentääin (*Hylobius abietis* L.) aiheuttaa männyntaimen vioittuminen on merkittävä taimen kuolinsyy ja riski metsän uudistamisen onnistumiselle. Taimelle haavoittuminen on tapaturma, trauma, joka syntyy käräjäkään järssiessä ravinnokseen varren nilaa ja kuorta. Vaurio katkaisee johtosolukot, aiheuttaa neste-hukkaa sekä vie taimen stressitilaan. Stressi häiritsee taimen energialoutta, ja ravinnevaroja kuluu normaalina 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 ravinnepeitoisuuden avulla tai pelkistetysti kuvata taimen eloontäytäntöön jäämisestä tai kuolemana.

Tukkimiehentääin aiheuttamia ongelmia metsän uudistamiselle on tutkittu lähes yksinomaan istutustaimikoissa, joiden tuholaisena tukkimiehentääi 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 selvyksissä (Vaartaja 1952, Lehto 1956, 1969).

Riskikäsittää on metsänsuojelussa pitkään käytetty esimerkiksi tuhon alittiuden taiuhan synonyyminä ilman siihen liittyvän tilastollisen todennäköisyden laskemista. Tietojenkäsittelyn kehittyminen on mahdollistanut tuhoriskin todennäköisyden laskemisen ja mallittamisen. Tällöin riski-käsite tuo mukanaan tilastollisen todennäköisyden sille, että tuholainen esiintyy joukoittain tietynä 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).

Tukkimiehentääin 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 kuoriai-vaipalta, % <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 ...b _i	Logistisen regressioyhtälön vakio ja kulmakerrotoimet <i>Coefficients of logistic regression equation</i>
X ₁ ...X _i	Logistisen yhtälön selittävät muuttujat <i>Dependent variables of logistic regression equation</i>

Tilastolliset testit — Statistical tests

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

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

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

Tämä tutkimus tehtiin seuraamalla taimikohdaisesti luonnontaimen ja sen viereen istutetun viljelytäimen menestymistä tukkimiehentäin 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 suunnittelemaa 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 Lähettä, dosentti Kari Löyttyniemeä ja tohtori Bo Långströmiä käsikirjoitusta koskevista hyödyllisistä kommenteista.

2. Aineisto ja menetelmät

21. Koeala

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

Koepaikka sijaitsi Padasjoen Vesijolla (N 61°22', E 25°05') puolukkaytypin kuivahkolla kankaalla, joka oli hakattu siemenpuuasentoon edellisenä talvena. Maapinta ei muokattu. Hakkuulan 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 hakkuutähkeitä oli paljon ja tukkimiehentäitä oli todennäköisesti runsasta.

Kokeissa käytettiin kolmea eri taimityyppiä: luonnontaimia sekä paaku- ja paljasjuuria istutustaimia. Paakkutaimia oli kahta taimilajia (paperipottitaimi 1(Lk-A)Fh508 ja ensokennotaimi 1Me-1Ae) ja paljasjuuria taimia kolme taimilajia (2A, 1M+1A ja 2Ax1A). Näin pyrittiin hakemaan luonnontaimen vertailupariksi samankokoisen 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 pidempia (kuva 2).



Kuva 1. Taimipareittainen koejärjestely taimien kestävyyden vertaamiseksi tukkimiehentäitä 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. Tukkimehetäin vioittamien taimien osuus prosennteina 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.

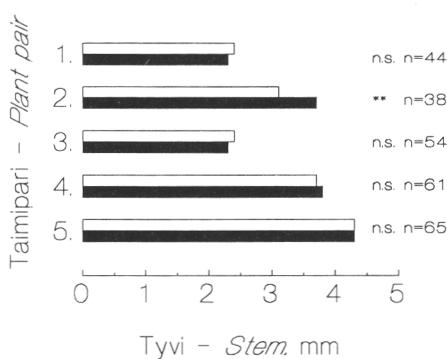
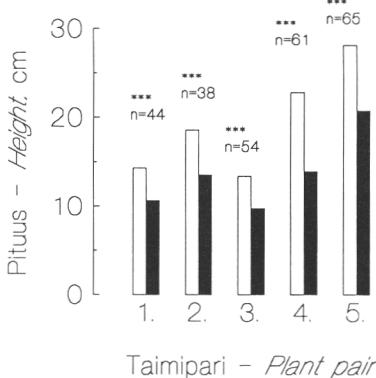
Taimiryhmä — Plant group	Taimia — Plants			Vioittui — Wounded			Kuoli — Died		
	n	I %	II % ¹ n ²	III % ¹ n ²	I–III %	I–III ³ %	I–III %		
Istutustaimiparit — Planted counterparts									
1. Kennotaimi — Stock 1(Lk-A)Fh508	44	88,6	0,0	16	34,1	11	90,9	77,5	75,0
2. Paakkutaimi — Stock 1Me-1Ae	38	97,7	13,0	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 Elossa 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 metsikkösienemalkku-perää (Karttula T10-78-43) paitsi 3-vuotias avojuurinen taimilaji (Saarijärvi M29-78-741). Taimet oli kasvatettu Suonenjoen taimitarhalla normaaliiin tapaan.

22. Taimista tehdyt mittaukset

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

1. Taimen kasvu (pituus, tyven läpimitta)
2. Tukkimiehentäin aiheuttaman vioituksen laatu, määrä ja sen ajoittuminen
3. Taimien kunto ja kehityskelvoisuus
4. Taimien eloontajaaminen.

Taimikohainen seuranta mahdollisti paitsi taimien vioituneisuuden (vaurion prevalenssin) myös niiden vioittuvuuden (insidenssin) tutkimisen eri ajanjaksoilla. Tulokset kolmelta eri koealalta eivät tilastollisesti poikenneet toisistaan.

Luonnontaimia ja istutustaimia vastaavista taiminäytteistä mitattiin kokeen alussa (15.5.1985) kuoren paksuus, sillä kuorisolukoista varsinkin nila on tukkimiehentäin päärävintoa, ja sen määrä arveltiin hyödylliseksi tutkimuksen tulosten tarkastelussa. Nilaosulon paksuutta ei voitu mitata kuoresta erikseen, koska se ei nuoren taimen varressa kasvianatomisesta yleisväriäyksestä (Niemiälä ym. 1974) huolimatta ole selvästi rajautunut ja mittaustarkkuus olisi jäänyt heikoksi. Kuoreksi luettiin sitten kaikki jällen ulkopuolist solukot. Kuoren paksuuden mittaukset tehtiin valmistamalla yhteensä 80 taimen varresta mikroskooppiset poikkisuuntaiset leikkeet, joista mitattiin mikroskoopilla okulaarimikrotoomin avulla kuoren sääteensuuntainen paksuus. Varren läpimitta mitattiin myös preparaatiosta. Näin voitiin kuoren paksuus suhteuttaa varren poikkipinta-alaan ja laskea näytteen nilaisuus prosentteina sääteen suunnassa sekä varren poikkipalasta seuraavasti:

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

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

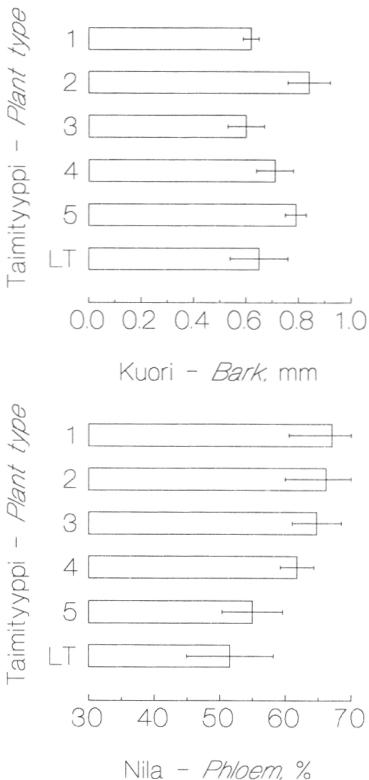
jossa

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 merkitsevästi paksumpia kuin istutustaimilajit 2 ja 5 (Tukeyn testi, $P < 0,05$). Paksusta kuorestaan huolimatta luonnontaimien nilaisuus oli kaikissa istutustaimia, paitsi taimilajia 5, merkitsevästi pienempi ($P < 0,05$) (kuva 3).



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

Koealalla taimikohaiset 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 tukkimiehentäin vioituksia voitiin vielä tarkastaa verekseltään ja erottaa ne edellisvuotisista vauroista. Kolmannen vuoden tarkastukset tehtiin kasvukauden lopulla (17.8.1987), jolloin kahden ensimmäisen kasvukauden aikaisen vauroitumisen seuraukset viimeistään näkyivät taimen kehityksessä ja kuolleisuudessa.

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

- Y = Vaurion vakavuus arvioitiin suurimman yhtenäisen haavalaukun kaulausprosenttina varren kehältä 5 %:n asteikolla.
- L = Vaurioituneen varrenosan pituudeksi mitattiin se osa (cm) taimen vartta, jossa kuorta oli ylipäätänsä järsitty.
- H = Vaurioalaksi arvioitiin L:n pituiselta kuorilierioltä 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).

Järsity kuoriala esitettiin absoluuttisena pinta-alana (A) tai prosenttina eli haavaindeksiä (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

$$A = \text{Vioittunut kuoriala, cm}^2$$

$$d = \text{Tyven läpimitta, cm}$$

$$h = \text{Taimen pituus, cm}$$

$$H = \text{Vioitetun kuoripinnan arvioitu ala \% vioitetulta osalta (L) vartta}$$

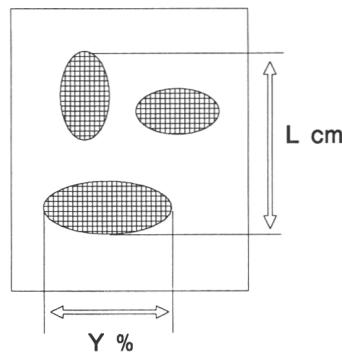
$$L = \text{Vioittuneen varren osan pituus, cm}$$

$$I = \text{Haavaindeksi, vaurion ala varren kuorivaipalta, \%}$$

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 normaalii, mutta versojen pituuskasvu selvästi ja kauttaaltaan hidastunut. Jos taimessa oli sekä kituvuuden että vikaisuuden piirteitä, se luettiin kituvaksi.

23. Aineiston käsitteily

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



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

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

reittaisiin 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 laatu kaavien muuttujien avulla (Y, H jne.). Vaurioitumisenä pidettiin 5 %:a suurempaa kaulautumista (Y).

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

3. Taimien vioittuminen

31. Taimien alttius vioittua

Tukkimiehentääni aiheuttamat vauriot olivat aluksi istutustaimissa yleisempää kuin luonnontaimissa. Runsaan kuukauden jälkeen vioittuneita istutustaimia oli 84,5 % ja kasvukauden lopulla 94,0 %, kun taas luonnontaimista samassa ajassa vioitti 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 kumulaatiivinen vioittuneisuus säilyi kokeen ajan luonnontaimia suurempana (taulukko 1).

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

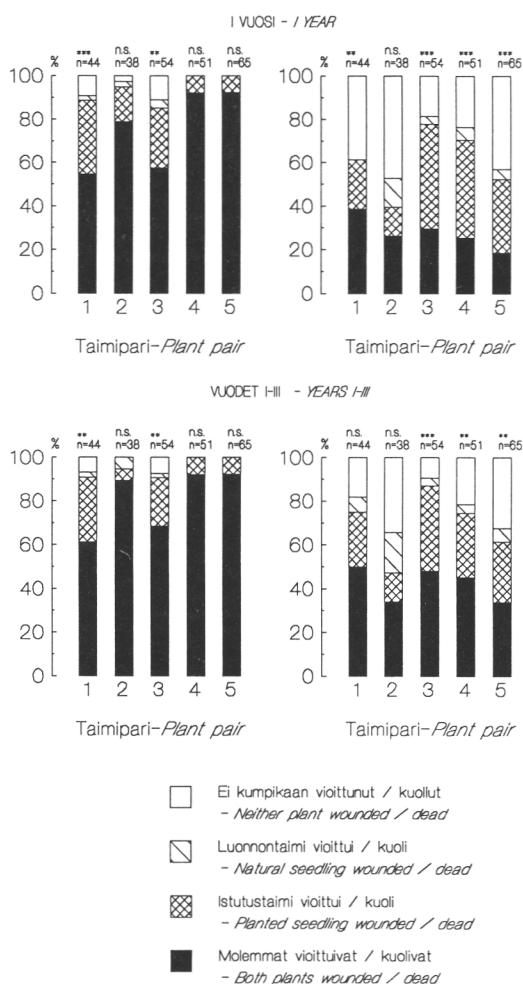
säilyi elossa. Siten istutustaimien koko jakson kumulaatiiviseen vioittuneisuuteen (95,6 %) sisältyi 18 kaksi, 5 kolme ja 1 neljä kertaa todettua vauriota. Vastaavasti luonnontaimien kumulaatiiviseen vioittuneisuuteen (82,9 %) sisältyi 42 kahdesti ja 1 kolmasti vaurioitunutta tainta.

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 vioitti
3. Vain istutustaimi vioitti
4. Molemmat taimet vioittivat.

VIOTTUMINEN - WOUNDING

KUOLLEISUUS - MORTALITY

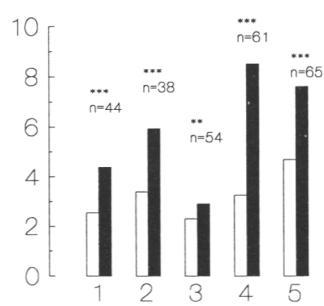


Kuva 5. Taimiparien viottuminen ja kuolleisuus istutusvuotena (I) sekä vuosien (I–III) aikana McNemarin testillä vertailtuna. Taimilajit samat kuin taulukossa 1. Ks. symbolit s. 3.

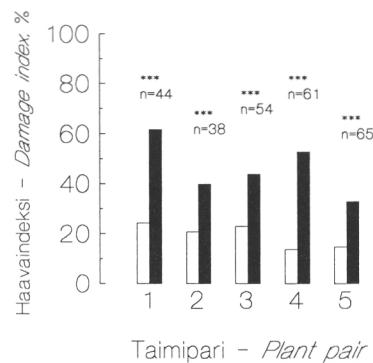
Figure 5. Wounding and mortality of plant pairs during the planting year (I) and the study years (I–III). Plant pairs are the same as in Table 1. McNemar test, see symbols on p. 3.

Näin tarkastellen istutustaimet viottuvat myös herkemmin kuin luonnontaimet (McNemarin testi $p < 0,000$). Verrattaessa istutustaimia lajeittain viereisiin luonnontaimiin kaikki istutustaimilajit olivat alittiimpia viottumaan, mutta vain osittain merkitsevästi (kuva 5). Taimien kuoleminen pienensi aineistoa ja vaikkeutti pareittaisten testien suorittamista.

VIOTTUSAALA - WOUNDED BARK, CM²



TAIMIPARI - PLANT PAIR



TAIMIPARI - PLANT PAIR

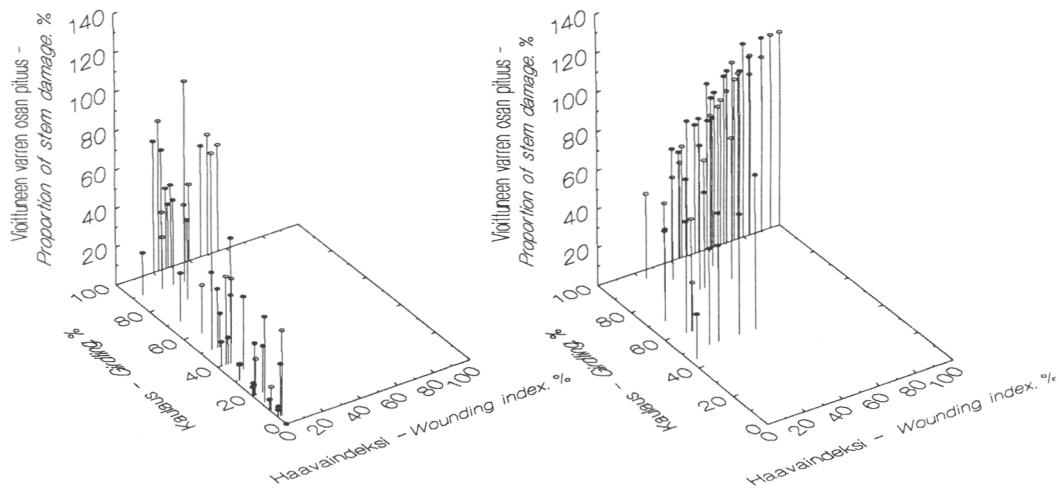
■ Istutustaimet - Planted seedlings
□ Luonnontaimet - Natural seedlings

Kuva 6. Viottuneiden taimien kuoren viottusalan (A) ja haavaindeksin keskiarvot (I) istutusvuonna sekä kaikkien taimien pareittainen (n) vertailu merkitestillä. 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

Tutkitaessa taimen viottuvuutta tai viottuneisuutta, vaurion vakavuuteen tai määrään kiinnitettiin huomiota vain siten, että 5 % tai sitä suurempi kaulaus (Y) luokitteli kulloinkin viottuksen tapahtuneeksi. Kuitenkin jokainen trauma oli laadultaan ja määältään 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. Tukkimiehtäin aiheuttaman vioituksen ankaruuden vertailu istutustaimissa (taimilaji 4, ks. taulukko 1) ja vastaavissa luonnonaimissa ensimmäisenä kasvukautena: Haavaindeksin (I %), varren kaulaantumisen (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 luonnonaimilla se oli merkitsevästi pienempi, 59,6 % (40 %) (Kolmogorov-Smirnoff'in testi $P < 0,01$).

Silloin kun saman testiparin molempia taimia oli vioitettu ($n = 192$), istutustaimien kaulausprosentin (Y) keskiarvo oli 83,1 % ja mediaani 100 %. Luonnonaimien vastaavat arvot olivat merkitsevästi 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 luonnonainta oli vioitettu keskiarvo oli 26,3 % ja mediaani 25 %. Istutustaimien vioittumisen vakavuus oli siten parettainkin sekä yleisempää että merkitsevästi vakavampaa kuin luonnonaimilla (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 merkitsevästi suurempi kuin luonnonaimilla. Vaurioitunut kuoren ala (A) oli istutustaimilajeilla ($5,74 \text{ cm}^2$) merkitse-

västi suurempi ($3,43 \text{ cm}^2$) kuin luonnonaimilla. Haavaindeksi (I) oli vastaavasti 42,4 % ja 17,7 % (kuva 6). Vioittuneen varren osan suhteellinen pituus (V) oli istutustaimilla 58,0 % ja luonnonaimilla 33,4 %. Istutustaimet vioittuvat luonnonaimia 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 tunnukset, istutus-pituus sekä tyven paksuus istutettaessa. Lisäksi viereisen taimen vaurio lisäsi selvästi toisen taimen vioittumista.

Merkitsevin todetun ja mallin ennustaman vioittuvuuden yhteensopivuus saatati sovittamal-

la malliin järjestysessä taimen lajia kuvaava muuttuja (TYYPPI), naapuritaimen vioittumis-tilannetta 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 luonnon-taimiin. Taimen riskiä vioittua voitiin siten ennustaa kolmen luokittelevan muutujan 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 = Taimyyppi: paakkutaimi, paljasjuuritaimi, luonontaimi
- ISPITL = Taimen istutuspituus luokiteltuna
- NAAPURI = Viereinen taimi vioittui tai ei vioittonut

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 merkitsevästi 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 suurempaan, 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 luonontaimien. Sen sijaan paakkutaimien (paperikeno- 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 luonontaimen 30,0–92,9 %. Tilanteessa, jossa naapuritainta ei vioitettu, riski oli taimien pituudesta riippuen istutustaimille 64,5–98,6 %, mutta luonontaimille selvästi alhaisempi, 6,9–69,6 %. Sekä

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

34. Vioittuminen ja kasvu

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

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

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

Terveiden luonontaimien ($n = 34$) pituuskasvu oli kolmivuotiskautena 15,4 cm ja vioittuneiden ($n = 96$) 15,2 cm. Kokeen lopussa taimien keskipituuudet olivat vastaavasti 37,2 ja 29,8 cm. Kasvun ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä, mutta kokonaispituuuden ero sen sijaan oli (T-testi, $P < 0,001$). Terveiden luonontaimien kasvunindeksi oli 119, mutta vioittuneiden selvästi alhaisempi 80 ($P < 0,000$). Vioittuneiden luonontaimien suhteellinen pituuskasvu oli siten keskimäärin 67,2 % terveiden kasvusta. Terveet ja vioittuneina eloonyjäneet luonontaimet eivät poikeneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan tyven läpimitan kasvultaan.

Istutustaimien kasvu oli vastaavasti 21,2 ja 22,4 cm, sekä pituus 31,2 ja 38,0 cm. Terveiden istutustaimien kasvunindeksi 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 vioittuneista taimista ero luonnontaimien eduksi oli vieläkin selkeämpi (taulukko 1).

Pareittain tarkasteltaessa luonnontaimia jäi eloona 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 vastaanvista luonnontaimista.

42. Vioittuminen ja eloona jääminen

Istutustaimista vioittui kolmivuotisen jakson aikana kaikkiaan 95,5 % ja luonnontaimista 82,9 %. Vioittuneista istutustaimista jäi eloona 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 vastaanvasti 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 eloona jäänyttä ja 235 kuollutta tainta.

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

valittiin vain parhaiten selittävä vioituksen kausa % (Y). Y -muuttujan avulla jaettiin taimet lopullisessa mallissa kolmeen luokkaan: vähän tai ei ollenkaan vioittuneisiin (kaulus 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 toimintakyyn. 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 korrelatiota eloona jäämisen kanssa, toisin kuin vioittumismallissa. Siksi sitä ei sovitettu lopulliseen malliin, jossa olivat mukana selittävinä muuttujina edelliset kolme luokittelevaa muuttuja 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 $P = 0,473$, Le-meshowin testillä $P = 0,868$ ja C.C.Brownin testillä $P = 0,859$. Malli ennusti yli 80 % tapauksista oikein kuolemisen 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 vastaanvista luonnontaimia suurempi. Vähiten vioittuneiden istutustaimien riski kuolla vaihteli tyviluokittain 22,8, 17,1 ja 5,7 %, ja luonnontaimien vastaanvasti 10,5, 7,6 ja 2,3 %. Vakavimmin vioittuneiden istutustaimien riski kuolla oli vastaanvasti 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 tyviläpimaltaan pie-

nempien taimien. Tämä piti paikkansa kaikissa viitousluokissa (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 viikaisiksi oli vähän: luonnontaimista 1,6 % ja istutustaimista 3,2 %. Viikaisiksi 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 luonnontaimi oli kehityskelpoisia 25,4 % ja istutustaimista 18,3 %.

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

Tilastollisessa tarkastelussa luonnontaimet olivat istutustaimia merkitsevästi kehityskelposempia ($\text{Khii-neliö-testi} = 19,60, P < 0,0000$) ja paritilan huomioidenkin voitiin luonnontaimia lopulta pitää istutustaimia kehityskelposimpina ($\text{McNemarin testi } P < 0,03$).

Vioittumisen vaikuttus kolmen vuoden kullessa eloontähteiden taimien viikaisuuteen tai kituvuuteen ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Siten luonnontaimien ja istutustaimien viikaisuutta ja kituvuutta ei voitu selittää enää tukkimiehentääin vioituksesta johtuvaksi, vaan siihen vaikuttivat koejärjestelyn ulkopuoliset tekijät.

5. Tulosten tarkastelu

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

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

Vaikka saadut tulokset paljastavat luonnontaimien ja istutustaimien tuhonkestävyyden eron, tutkimuksen perusteella ei voida osoittaa perimmäisiä syitä tuhonkestävyyteen. Luonnontaimien kestävyyys 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 tukkimiehentäälle.

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

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

Istutustaimien herkkyyys vioittua saattoi johtua myös niiden kasvatuksesta taimitarhalla. Esimerkiksi normaalista täyslannoitetutten, 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 tukkimiehentäätiä (esim. Ohnesorge 1953, Hesse ym. 1955, Kauth & Madel 1955).

Toisaalta kasveissa on myös typpipitoisia yhdisteitä, kuten ravintona epäolennaisia proteiinejä, alkaloideja, typpipitoisia glykosidejä 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 haihuvien terpeenien kokonaismäärää varttuneissa mäntyissä (Hiltunen ym. 1975). Typpilannoitetusta ja lannoittamattomasta puusta peräisin olleet tukkimiehentääin 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 kestävä toistuvaa vioitusta ja toipua siitä voi olla osoitus luonnontaimien paremmin toimivasta luontaises- ta puolustusjärjestelmää. Siihen saattaa liittyä piikkahappojen 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 luonnontaimenkin saattavat kärsiä vakavasti tukkimiehentääin vioituksesta. Tämä onkin hyvin mahdollista olosuhteissa, joissa kärsäkkäspopulaatio on tihéä ja tuoreita hakkuutähitteitä on paikalla, kuten koepaikkana olleella siemenpuustoisella tuoreella hakkuualalla. Vaartajan (1952) havainnot tukkimiehentääin vahingollisuudesta männyyn luontaiselle uudistamiselle liittyivät myös tilanteisiin, joissa uudistusala sijaitsi lähellä avohakkualaa.

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

samalla voitaisiin varmistaa kärsäkästä kestävän vanterran taimiaineksen 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 selvitetyjen taimitunnusten lisäksi sekä tuholaispopulaation yksilömäärä että taimen kasvupaikkatekijät vaikuttavat myös taimien riskiin vioittua ja kuolla.

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

Vasta taimen kestävyytsmallin, tukkimiehentääin populaatiomallin ja kasvupaikkatekijöiden sovittaminen 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 mikrotietokoneohjelma). 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 istutustaimien 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.). Communications 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 loglineaariset mallit ja niiden ratkaiseminen BMDP-ohjelmistolla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 279. 47 s.
- Immonen, Auli. 1990. Männyn (*Pinus sylvestris* L.) taimen alittiudesta tukkimiehentäälle (*Hylobius abietis* L.). Joensuu yliopisto, biologian laitos. Pro gradu-töö. 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. Communications 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: Metsänviljelytaijen vaurioituminen noston ja istutuksen väillä. 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 kargasmailla. 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 suojuuspuumenetelmällä. Summary: Studies conducted in Northern Finland on the regeneration of Scots pine by means of the seed tree and shelterwood methods. Communications Instituti Forestalia 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: Tukkikärä-säkäsaikuisten runsaus ja esiintymisen avohakkuu-aloilta päätehakuun jälkeisinä vuosina. Communications Instituti Forestalis Fenniae 106. 23 s.
- 1985. Tukkimiehentäin aiheuttamat tuhot Suomessa vuosina 1970–1971. Yhteispohjoismaisen 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.
- Löytyniemi, 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. Tukkimiehentäin (*Hylobius abietis*) tuhoista mäntyntaimistoissa 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. Mahdollisuksista ennakoida uudistusalan kasvupaikkojien perusteella tukkimiehentäin tuhoja männyn taimilla. Helsingin Yliopisto, maatalous- ja metsäläintieteen laitos. Pro gradu -töö. 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 viljelytaijen piikan monoterpeenihiilivetyjen koostumuksesta *Hylobius abietis*-sen aiheuttamissa fysiogenisissä vioituksissa. Helsingin yliopisto, kasvipatologian laitos. Laudaturtöö. 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 piikan monoterpeenien vaikutuksesta tuhonkestävyteen tukkimiehentätiä, *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(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 metsähoidossa. 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 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 cm^2) 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 Wilcoxon 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

$$\begin{aligned} P &= \text{Predicted proportion of attacked plants} \\ u &= b_0 + b_1(\text{TYYPPI}) + b_2(\text{ISPITL}) + b_3(\text{NAAPURI}) \\ b_i &= \text{constant or coefficient of the independent variables} \end{aligned}$$

TYYPPI: 1 = Natural plant,
2 = Planted counterpart/ball-rooted seedlings,
3 = Planted counterpart/bare-rooted seedling.

ISPITL: Height class of the plant:

$$\begin{aligned} 1 &= 5-9 \text{ cm}, 2 = 10-14 \text{ cm}, 3 = 15-20 \text{ cm}, \\ 4 &= 21-42 \text{ cm} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} P &= \text{Predicted proportion of killed plants} \\ u &= b_0 + b_1(Y) + b_2(\text{TYYPPI}) + b_3(\text{TYVI}) \\ Y &= \text{Girdling percentage:} \\ 1 &= 0-14 \% \text{ Negligible,} \\ 2 &= 15-84 \% \text{ Moderate or severe,} \\ 3 &= 85-100 \% \text{ Very severe.} \end{aligned}$$

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

TYVI (Stem diameter):

$$1 = 1.0-2.4 \text{ mm}, 2 = 2.5-3.4 \text{ mm}, 3 = 3.5-8.0 \text{ mm}$$

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 vioittumisriskimallin muuttujat, parametrit sekä todetun ja ennustetun vioittuneisuuden vertailu.
Appendix 1. The variables and their parameters of the logistic risk model, and comparision between the observed and predicted incidence of damage.

Selittävät muuttujat Dependent variable			Todettu vioittuneisuus Observed incidence of wounding					Malli ja sen ennustama vioittuneisuus Model and predicted incidence of wounding				
TYYPPI <i>Type of plant</i>	ISPITL <i>Height cm</i>	NAAPURI <i>Counterpart damaged?</i>	Kyllä <i>Yes</i>	Ei <i>No</i>	Yht. <i>Total n</i>	Vioittui <i>Wounded %</i>	$P = \ln(u)/[1+\ln(u)]$					Vioittuneisuus <i>Wounded</i>
X ₁	X ₂	X ₃					b ₀	+ b ₁ X ₁	+ b ₂ X ₂	+ b ₃ X ₃	= u	P =
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 comparision 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 Mortality	
Kaulausluokka Girdling class	Taimityyppi Type of plant	Tyven lpm mm X3	Yes n	No n	Total n	Died %	b_0	$+ b_1 X_1$	$+ b_2 X_2$	$+ b_3 X_3$	= u	P =
X1	X2	X3										
0–14%	Luonnontaimi <i>Natural plants</i>	1.0–2.4	1	33	34	2.9	-.559	-1.77	-.460	.650	-2.14	.105
		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 <i>Planted seedlings</i>	1.0–2.4	3	7	10	30.0	-.559	-1.77	.460	.650	-1.22	.228
		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 <i>Natural plants</i>	1.0–2.4	2	8	10	20.0	-.559	-.832	-.460	.650	-1.20	.231
		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 <i>Planted seedlings</i>	1.0–2.4	3	2	5	60.0	-.559	-.832	.460	.650	-2.81	.430
		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 <i>Natural plants</i>	1.0–2.4	31	2	33	93.9	-.559	2.605	-.460	.650	2.236	.903
		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 <i>Planted seedlings</i>	1.0–2.4	50	2	52	96.2	-.559	2.605	.460	.650	3.156	.959
		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

Metsätalologian 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

FOLIA FORESTALIA



- No 757 Kaila, Erkki & Saarenmaa, Hannu: Tietokoneavusteinen päätöksenteko metsätaloudessa.
Computer-aided decision making in forestry.
- No 758 Ylitalo, Esa, Mäki-Simola, Elina & Turunen, Jukka: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärit ja kulkuvirrat vuonna 1988.
Removals and flows of commercial roundwood in Finland in 1988, by districts.
- No 759 Pätilä, Antti & Nieminen, Mika: Turpeen emäsravinne- ja rikkitase 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.): Metsätilastollinen vuosikirja 1989.
Yearbook of forest statistics, 1989.
- No 761 Poikolainen, Jarmo: Hailuodon jäkäläkankaiden taimikot ja niiden hirvihuot.
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 kasvupaikatyyppien rinnastettavuus.
The parity between the numerical units and site types of forest and mire vegetation.
- No 764 Hirvelä, Hannu & Hyynynen, Jari: Lannoituksen vaikutus männikön kasvuun, latavaurioihin 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 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 tukkimiehentää vastaan.
Resistance of naturally regenerated and nursery-raised Scots pine seedlings to the large pine weevil, *Hylobius abietis* (Coleoptera, Curculionidae).