

FOLIA FORESTALIA 573

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1983

KATRIINA JOKINEN

METSÄNLANNOITUKSEN
VAIKUTUS JUURIKÄÄVÄN
ESIINTYMISEEN —
KIRJALLISUUSKATSAUS

THE EFFECT OF FERTILIZATION
ON THE OCCURRENCE OF
HETEROBASIDION ANNOSUM
(FR.) BREF. — A LITERATURE REVIEW



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

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

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

| | | |
|---|--|------------------------|
| Ylijohtaja: Director: | Professori Professor | Olavi Huikari |
| Yleisinformaatio: General information: | Tiedotuspäällikkö Information Chief | Olli Kiiskinen |
| Julkaisujen jakelu: Distribution of publications: | Kirjastonhoitaja Librarian | Liisa Ikävalko-Ahvonon |
| Julkaisujen toimitus: Editorial office: | Toimittaja Editor | Seppo Oja |

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

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

FOLIA FORESTALIA 573

Metsäntutkimuslaitos, Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1983

Katriina Jokinen

METSÄNLANNOITUKSEN VAIKUTUS JUURIKÄÄVÄN ESIINTYMISEEN — KIRJALLISUUSKATSAUS

The effect of fertilization on the occurrence of *Heterobasidion annosum*
(Fr.) Bref. — A literature review

SISÄLLYS

| | |
|---|----|
| 1. JOHDANTO | 3 |
| 2. PUIDEN TAUDINKESTÄVYYS JA LANNOITUS | 3 |
| 21. Lannoituksen vaikutus mikro-organismeihin | 4 |
| 211. Mykoritsasienet | 4 |
| 3. JUURIKÄÄVÄN RAVINNETARVE | 5 |
| 4. PUUN RAVINNEPITOISUUS JA LAHOAMISALTTIUS | 6 |
| 41. Typpi | 6 |
| 42. Muut ravinteet | 6 |
| 5. RAVINTEIDEN VAIKUTUS NILAN JA PIHKAN RESISTENSSIIN | 7 |
| 6. NEULASTEN RAVINTEET JA JUURIKÄÄPÄ | 9 |
| 61. Mänty | 9 |
| 62. Kuusi | 9 |
| 7. MAAN KEMIAALLISET OMINAISUUDET JA JUURIKÄÄPÄ | 11 |
| 71. Männiköt | 11 |
| 72. Kuusikot | 11 |
| 8. JUURIKÄÄPÄ METSÄNLANNOITUSKOKEISSA | 13 |
| 81. Männiköt | 13 |
| 82. Kuusikot | 15 |
| 9. LANNOITUKSEN VAIKUTUS PUIDEN KANTOIHIIN | 16 |
| 10. TARKASTELU | 17 |
| 11. TIIVISTELMÄ | 19 |
| KIRJALLISUUS | 20 |
| SUMMARY | 22 |

JOKINEN, K. 1983. Metsänlannoituksen vaikutus juurikäävän esiintymiseen — Kirjallisuuskatsaus. Summary: The effect of fertilization on the occurrence of *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. — A literature review. Folia For. 573:1—22.

Kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan metsänlannoituksen mahdollisia vaikutuksia juurikäävän (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) aiheuttamiin tuhoihin männällä (*Pinus sylvestris* L.) ja kuusella (*Picea abies* (L.) Karst.).

Julkaisu perustuu suurelta osin muualla kuin Suomessa saatuihin tutkimustuloksiin. Ensiksi käsitellään yleisesti puun ravinnetilan vaikutusta taudinkestävyyteen sekä maan ravinteisuuden ja lannoituksen vaikutusta maan mikro-organismeihin. Tämän jälkeen esitetään laboratorioissa saatuja tuloksia juurikäävän ravinnetarpeesta ja puun ravinnepitoisuuden vaikutuksista puun lahoamisalttiuteen sekä resistenssiin juurikääpää vastaan. Metsikköolosuhteissa tehdyistä tutkimuksista tarkastellaan ensin tutkimuksia, joissa on vertailtu terveiden ja juurikäävän saastuttamien lannoittamattomien metsiköiden neulas- tai maa-analyysituloksia. Tämän jälkeen tarkastellaan juurikäävän esiintymistä metsänlannoituskokeilla, ja lopuksi lannoituksen vaikutusta puiden kantoihin.

Tulokset ovat toisistaan poikkeavia. Niitä ei voida yleistää tutkimusalueiden ulkopuolella. Toistaiseksi ei tiedetä, millaiset ovat puun juurikääpäkestävyyden kannalta optimaaliset ravinnemäärät ja -suhteet. Tasapainoisten ravinnesuhteiden merkitystä puun taudinkestävyydelle yleensä ei kuitenkaan saisi unohtaa metsiä lannoitettaessa.

The effect of forest fertilization on the amount of damage caused by *Heterobasidion annosum* in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) is examined on the basis of the available literature.

The report is mainly based on the results of studies carried out outside Finland. The effect of the nutrient status of the tree on resistance to pathogens, and the effect of fertilization and soil fertility on the microorganisms in the soil, are first treated in general in the report. The results of studies carried out in the laboratory on the nutrient requirements of *H. annosum* and the effect of the nutrient content of trees on the susceptibility of trees to rot and on their resistance to attack by *H. annosum* are then examined in detail. In the case of studies carried out in the field, studies involving the comparison of results for needle or soil analysis carried out in unfertilized stands which are either healthy or suffering from attack by *H. annosum*, are examined first. The occurrence of *H. annosum* in fertilization experiments is then examined, followed by the effect of fertilization on the stumps of trees.

The results are contradictory and it is not recommendably the results to areas not covered by the studies. At the present time it is not known what are the optimum amounts of nutrients and the optimum nutrient ratios from the point of view of the resistance of trees against *H. annosum*. However, the importance of a balanced nutrient status for the resistance of trees in general should not be ignored when fertilizing forest stands.

1. JOHDANTO

Metsänlannoitusta on tutkittu maassamme ensisijaisesti puuntuotannolliselta kannalta parin viimeisen vuosikymmenen aikana. Lannoitusta pidetään yleensä kannattavana taloudellisena investointina (mm. Keipi ja Kekkonen 1970, Keipi 1979). Tuottoa laskettaessa ei ole kuitenkaan otettu huomioon lannoituksen vaikutusta metsätuhoihin. Laskelmissa ei ole voitu ottaa metsätuhoja huomioon, sillä lannoituksen vaikutusta metsätuhoihin ei ole maassamme riittävän laajasti tutkittu. Sienituhojen osalta lannoituksen vaikutusta ovat tutkineet mm. Kurkela (1973, 1975), Isomäki ja Kallio (1974), Salonen ja Päivinen (1974), Vihavainen (1975), Laiho (1978) sekä Moilanen ja Issakainen (1981).

Juurikäpää eli maannousemasieni (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) aiheuttaa huomattavaa taloudellista vahinkoa metsissämme. Se esiintyy usealla eri isäntäkasvilla mm. molemmilla pääpuulajeillamme (esim. Laine 1976). Kuusella juurikäpää on tyvilahon pääasiallinen aiheuttaja (esim. Kallio 1964, Kallio ja Tamminen 1974). Männyllä juurikäpää aiheuttaa tyvitervastaudin (Laine 1976). Korhosen (1978) mukaan juurikäpää on kahta tyyppiä, ”rotua”, joista toinen aiheuttaa kuusessa tyvilahoa ja tappaa männyn taimia, ja toinen esiintyy männiköissä männyn tyvitervastaudin aiheuttajana sekä tu-

honaiheuttajana useilla muillakin puuvartisilla kasveilla.

Juurikäpätuhojen torjunnan kannalta sienien leviämismekanismien ja siihen vaikuttavien tekijöiden tunteminen on erittäin tärkeää. Metsänlannoitus saattaa vaikuttaa juurikäpäinfektion alkuunpääsyyn ja leviämiseen. Metsäntutkimuslaitoksessa aloitettiin vuonna 1978 tutkimus, jolla pyritään selvittämään lannoituksen vaikutusta tyvitervastaudin esiintymiseen. Tämä julkaisu sisältää kirjallisuuskatsauksen, joka perustuu kotimaisten tutkimustulosten lähes puuttuessa suurelta osin ulkomaisiin tutkimuksiin. Muualla saatuja tuloksia ei voida suoraan soveltaa Suomessa. Tulosten vertailukelpoisuuden lisäämiseksi aineistoja ja menetelmiä selostetaan melko laajasti. Lannoituksen vaikutus isäntäkasvin ja taudinaiheuttajan väliseen suhteeseen on hyvin vaikeasti selvitettävä, monitahoinen ongelma. Tästä syystä käsitellään myös yleisesti puun taudinkestävyyden ja lannoituksen suhdetta sekä lannoituksen vaikutusta maan pieneliöstöön.

Käsikirjoituksen ovat lukeneet professorit Tauno Kallio ja Eino Mälkönen sekä vt. apul.prof. Lalli Laine ja tehneet siihen varteenotettuja huomautuksia ja korjaus ehdotuksia. Käännöstyöt venäjän kielisistä julkaisuista suomenkielille on tehnyt metsänhoitaja Kullervo Etholén. Puhtaaksikirjoituksesta on huolehtinut Sirkku Koi-vu. Kiitän lämpimästi kaikkia edellä mainittuja avusta.

2. PUIDEN TAUDINKESTÄVYYS JA LANNOITUS

Lukuisat erilaiset tekijät vaikuttavat sieninfektion syntymiseen ja leviämiseen puussa. Ne voidaan jakaa isäntäkasvista eli puusta, taudinaiheuttajasta ja ympäristöstä aiheutuviin tekijöihin. Puun sisäinen ravinnetasapaino vaikuttaa voimakkaasti puun fysiologisiin toimintoihin ja sen tuloksena syntyvään puun elinvoimaisuuteen. Elinvoimaiset puut ovat yleensä fakultatiivisia parasiitteja (esim. juurikäpää) vastaan kestävämpiä kuin fysio-

logiselta kunnoltaan heikentyneet puut. Obligatoriset parasiitit (esim. ruosteet) sitä vastoin iskeytyvät myös elinvoimaisiin puihin (Hesterberg ja Jurgensen 1972).

Lannoitus vaikuttaa maan ravinnetilan muutosten kautta sekä isäntäkasvin että taudinaiheuttajan ravinteiden saantiin. Muutokset voivat joko lisätä tai alentaa puun taudinkestävyyttä. Taudinalttiuden lisääntyminen ei kuitenkaan aina johda taudin runsaa-

seen esiintymiseen (Hesterberg ja Jurgensen 1972). Lannoituksen ohella useat eri ympäristötekijät ovat samanaikaisesti vaikuttamassa isäntäkasvi — taudinaiheuttaja — suhteeseen ja taudin puhkeamiseen.

21. Lannoituksen vaikutus mikro-organismeihin

Lannoitus muuttaa maan kemiallisia ominaisuuksia. Muutokset vaikuttavat maan pieneliöstöön: sen yksilö- ja lajimääriin sekä lajien suhteisiin. Ritsosfäärissä oleviin mikro-organismeihin lannoitus vaikuttaa sekä suoraan että puun juurieritteiden kautta. Maassa elävät mikro-organismit joutuvat kosketuksiin juurten kanssa ritsosfäärissä. Juurten eritteistä ja kasvusta johtuen tämä alue sisältää yleensä suuren joukon aktiivisia, ihmisen kannalta sekä hyödyllisiä että haitallisia mikro-organismeja. Maatalouskasveilla lannoituksella on suurempi vaikutus ritsosfääriin kuin kauempana juurista olevan maan pieneliöstöön (Hesterberg ja Jurgensen 1972).

Erityisesti typpi on tärkeä ravinne maan pieneliöstön kannalta: jos maassa on runsaasti typpeä juurten kuori jää ohueksi ja helposti hydrolysoituvaksi ja vahingollisten sienten kasvu on nopeampaa kuin niiden luontaisten vihollisten kasvu. Tämä helpottaa juurten kautta leviävien patogeenien tunkeutumista puuhun. Typpi edistää myös sienten lepoasteiden itämistä maassa (Foster 1968). Hesterbergin ja Jurgensenin (1972) mukaan typpi on välttämätöntä mikro-organismien saprofyttiselle elossapysymiselle maassa. Mm. juurikäävän laaja levinneisyys perustuu osittain sienen kykyyn pysyä saprofyttisesti elossa kuolleissa kasvinjäänteissä jopa vuosikymmeniä (esim. Greig ja Pratt 1976). Lannoitus voi vaikuttaa hyödyllisten mikro-organismien antagonistiseen aktiviteettiin patogeeniorganismeja vastaan (Hesterberg ja Jurgensen 1972).

211. Mykoritsasienet

Mykoritsasienet osallistuvat puiden ravinteiden ja veden ottoon. Metsissä mykoritsojen esiintyminen vaihtelee huomattavasti erilaisilla kasvupaikoilla. Niiden merkityksestä puulle on esitetty toisistaan poikkeavia tut-

kimustuloksia. Runsasravinteisilla ja kosteilla kasvupaikoilla kasvavat puut ovat todennäköisesti mykoritsasienistä vähemmän riippuvaisia kuin karujen kasvupaikkojen puut (Hesterberg ja Jurgensen 1972). Taudinkesävyvyyden suhteen ainakin nuorille puille on todettu olevan hyötyä mykoritsoista (Dimitri 1977). Mm. Hüppel'in (1970) tutkimuksissa mykoritsasienenä tunnettu nummitatti (*Suillus bovinus* (fr.) O. Kuntze) vähensi, mutta ei kokonaan estänyt juurikäpäinfektiota kuusen ja männyn taimilla.

Dimitri'n (1977) mukaan Sobotka, joka tutki mykoritsojen esiintymistä kymmenellä puulajilla yhdellätoista kasvupaikkatyypillä, totesi, ettei mykoritsojen määrä juurissa ollut suoraan riippuvainen maan pH:sta, typpi-, fosfori- ja kaliummäärästä eikä maan biologisesta aktiviteetistakaan. Maan ravinnemäärän ohella monet eri tekijät vaikuttavat mykoritsojen kehitykseen.

Lannoituksen vaikutusta mykoritsojen esiintymiseen on tutkittu pääasiassa taimitarhoilla ja kasvihuoneissa. Tulokset ovat toisistaan poikkeavia, eikä niitä voida sellaisenaan yleistää koskemaan metsäolosuhteita. Lannoitteiden lisäksi ei todennäköisesti aiheuta juurten ravinnemäärissä suurilla puilla yhtä suuria muutoksia kuin pienillä taimilla (Hesterberg ja Jurgensen 1972). Taimitarhojen ja kasvihuoneiden kasvupaikkatekijät poikkeavat lisäksi huomattavastikin luonnon olosuhteista.

Dumbroff'in (1968) taimitarhalla suoritetuissa tutkimuksissa sekä typen että fosforin määrän lisääntymässä maassa mykoritsanmuodostus taimien juurissa väheni. Björkman'in (1970) mukaan korkeat typpitasot voivat estää kokonaan mykoritsanmuodostuksen. Sen sijaan Lunemann'in (1964) tutkimuksissa lannoitus (NPKCa) vaikutti positiivisesti mykoritsojen kehitykseen ja Koberg'in (1966) mukaan fosforilannoituksella oli edullinen vaikutus mykoritsanmuodostukseen. Fosforin lisäyksen edullinen vaikutus on todennäköisesti yhteydessä juurten typpitasoon, sillä fosforinlisäyksen on todettu vähentävän juurten typpikonsentraatiota (Richards ja Wilson 1963).

Suomessa Laiho (1970) on tutkinut pulkkosien (*Paxillus involutus* (Fr.) Fr.) itiöemien esiintymistä viidellä metsänlannoituskokeella. Pulkkosieni tunnetaan mm. kuusen ja männyn mykoritsasieneksi. Hän totesi, että typpilannoitus lisäsi itiöemien esiintymistä.

Fosfori- ja kalilannoituksella sitä vastoin ei ollut vaikutusta itiöemien määrään. *Paxillus*-mykoritsajuurien suhteellinen määrä korreloi Laihon (1970) tutkimuksissa voimakkaasti itiöemien määrän kanssa.

Metsäolosuhteissa Hesterberg'in ja Jurgensen'in (1972) mukaan lannoitus lisää my-

koritsasienien määrää sellaisilla kasvupaikoilla, joilla ravinteita on hyvin niukasti. Hyvillä kasvupaikoilla lannoitus vähentää mykoritsasienien frekvenssiä. Lannoitus saattaa vaikuttaa paitsi mykoritojen määrään myös mykoritsatyyppeihin. Muutoksen vaikutusta puun taudinkestävyyteen ei tunneta.

3. JUURIKÄÄVÄN RAVINNETARVE

Laboratoriokokein on tutkittu juurikäävän ravinnetarvetta ja kykyä käyttää eri ravinnelähteitä. Tulokset antavat viitteitä metsänlannoituksen vaikutuksista juurikääpäsiemen kasvuun. Juurikäävän tarvitsemien ravinteiden lukumäärä vaihtelee eri lähteiden mukaan 15—20 välillä (Negrutski 1973). Puut tarvitsevat normaalisti kehittyäkseen ainakin 16 ravinnetta.

Typpi on ravinne, jota yleisimmin annetaan lannoitteena kangasmetsiimme. Juurikäpä voi käyttää typpilähteenään mm. erilaisia aminohappoja, ammoniumsuoloja sekä nitraatteja. Negrutskin (1973) tutkimuksissa juurikäpä pystyi tehokkaimmin käyttämään hyväkseen aminohappoja. Epäorgaanisista typpiyhdisteistä nitraattityppi oli juurikäävän kasvun kannalta parempi kuin ammoniumsuolat. Myös Cowling ja Merrill'in (1966) mukaan lahottajasienet pystyvät tehokkaimmin käyttämään aminotyyppiä. Urea ei ole kuitenkaan yhtä tehokasta kuin muut aminoyhdisteet. Cowlingin ja Merrill'in mukaan myös ammoniumtyppi on hyvä typpilähde lahottajasienille, mutta vain harvat lahottajasienet pystyvät käyttämään nitraattityppiä.

Negrutski kasvatti juurikääpäsiementä kivennäisravinnealustoilla, joista oli jätetty pois joko fosfori, kalium, magnesium, kalsium, sinkki, rauta, kupari, boori, molybdeeni tai mangaani. Minkään ravinteen puuttuminen ei aiheuttanut rihmaston kasvun täydellistä pysähtymistä. Alustoilla, joilta puuttui sekä kalium että fosfori, rihmaston kasvu oli vain 57,1 % kontrollista. Kontrollissa oli kaikkia mainittuja ravinteita. Myös alustalla, josta puuttui vain fosfori, sienien kasvu oli hidasta. Tämä johtunee fosforin tärkeästä fysiologisesta merkityksestä sienien aineenvaihdun-

nassa. Kaliumin puute vaikutti juurikääpärihmaston kasvuun vähemmän kuin fosforin puute. Rihmaston kasvu hidastui selvästi myös magnesiumin, sinkin ja raudan puuttuessa kasvualustasta. Kupari, boori ja molybdeeni vaikuttivat jonkin verran hidastavasti. Mangaanilla ei Negrutskin (1973) kokeissa ollut juurikäävälle merkitystä, sillä rihmasto kasvoi lähes yhtä hyvin kuin kontrollissa, vaikka kasvualustaan ei oltu lisätty mangania. Kokeittensa perusteella Negrutski esitti, että fosfori, kalium, magnesium, kalsium, rauta, sinkki ja kupari ovat juurikääpärihmaston kasvuun tärkeämpiä kuin muut mineraaliravinteet.

Vasiljauskas on Negrutski'n (1973) mukaan todennut, että sinkin ja koboltin lisääminen kasvualustaan voi pysäyttää kokonaan juurikääpärihmaston kasvun. Juurikäpä on ilmeisesti herkkä näiden yhdisteiden myrkkövaikutukselle. Myös kuparin ja boorin lisäksi hidasti juurikäävän kasvu. Molybdeenin, mangaanin ja jodin inhiboiva vaikutus sen sijaan oli heikko.

Jaroševskaja (1971) tutki laboratoriokokein lannoitteiden vaikutusta juurikääpärihmaston kasvuun agaralustoilla (taulukko 1). Jarosevskaja'n viljelmät oli eristetty männyn juurista. Typpi oli lisätty kasvualustaan ammoniumnitraattina, fosfori rakeisena superfosfaattina ja kalium kalisuolana. Kokeissa lannoitteiden lisääminen kasvualustaan heikensi juurikääpärihmaston kasvu. Kasvun hidastuminen oli suoraan verrannollinen lisättyyn ravinnemäärään. Varsinkin suurien fosforimäärien vaikutus oli erittäin selvä. Vähiten juurikäävän kasvu heikensi typpilisäys.

Taulukko 1. Juurikäävän rihmaston kasvu typpi-, kalium- ja fosforipitoisuuksiltaan erilaisilla ravinnealustoilla (Jaroševskaja 1971).

Table 1. Growth of *Heterobasidion annosum* mycelia on medium containing different amounts of nitrogen, potassium and phosphorus (Jaroševskaja 1971).

| Ravinnemäärä, % Nutrien content | Rihmaston läpimitta, % kontrollista — Diameter of mycelium. | | | | | | | | |
|------------------------------------|---|------|------|--------------------------|------|------|-------------|------|------|
| | Typpi — N | | | % of control Kali — K | | | Fosfori — P | | |
| Kasvatus aika, pv. | 0,25 | 0,50 | 0,70 | 0,38 | 0,76 | 1,14 | 0,25 | 0,50 | 0,70 |
| <i>Incubation time</i> | | | | | | | | | |
| 5 pv | 90,9 | 0 | 0 | 50,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 pv | 73,8 | 42,0 | 35,9 | 50,4 | 0 | 0 | 27,9 | 18,6 | 0 |
| 12 pv | 74,3 | 46,1 | 32,5 | 47,5 | 21,7 | 15,8 | 29,5 | 24,3 | 4,0 |

4. PUUN RAVINNEPITOISUUS JA LAHOAMISALTTIUS

41. Typpi

Puun typpipitoisuutta tutkittaessa on todettu, että kokonaistypen määrä puussa vähenee jällestä ytimeen päin. Aivan rungon sisimmässä osassa on puun typpipitoisuudessa kuitenkin havaittavissa nousua (Höll ym. 1975). Typen määrä on juuripuussa suurempi kuin runkopuussa. Platt'in ym. (1965) mukaan juurikäpä lahottaa tästä syystä kuusen ja männyn juuripuuta nopeammin kuin runkopuuta.

Typpilannoitus lisää puun typpipitoisuutta (Platt ym. 1965, Cowling ym. 1969). Typpilannoitus vaikuttaa puun laatuun, mm. tiheyteen (Saikku 1975). Tämä johtuu osaksi siitä, että typpi on kangasmailla ainoa ravinne, joka lisää merkittävästi luston paksuutta ja osaksi siitä, että typpilannoitus muuttaa puuaineen muodostumistapahtumaa. Typpilannoituksen vaikutuksesta kesäpuun muodostuminen viivästyy ja sen osuus vuosilustossa jää vähäiseksi (mm. Brix 1972). Puun histologinen rakenne vaikuttaa puun fysiologisten ja kemiallisten ominaisuuksien ohella taudinkestävyyteen. Puun typpipitoisuuden ja lahoamisalttiuden riippuvuudesta on lahoamiskokeissa saatu ristiriitaisia tuloksia. Lahoamiskokeet on kuitenkin tehty muilla sienillä kuin juurikäävällä (mm. Cowling ym. 1969, Vihavainen 1975).

42. Muut ravinteet

Rennefelt ja Tamm (1962) analysoivat lahon kuusipuun (*Picea abies* (L.) Karst.) kalipitoisuuksia. Laho oli useimmissa tapauksissa juurikäävän aiheuttamaa. He totesivat, että lahossa kuusipuussa kalikonsentraatio oli paljon korkeampi kuin terveessä puussa. Kasaantumisen lisääntyminen lahoasteen mukana ja oli sydänpuussa korkeampi kannon korkeudella kuin metrin sen yläpuolella. Mantopuu ei ollut tutkimuksessa yleensä juurikäävän infektoimaa. Myös liuosviljelmissä juurikäpä indikoi kalin kasaantumista. Korkea kalikonsentraatio johtuu heidän mukaansa todennäköisesti elävän sienirihmaston haihduntaa lisäävästä vaikutuksesta. Haihdunnassa kali-ionilla on huomattava merkitys.

Courtois ja Braun (1970) tutkivat 55—60-vuotiaiden kuusien (*Picea abies*) luontaisen mangaanipitoisuuden vaikutusta juurikäävän lahoamiskykyyn. He tekivät laboratorioolosuhteissa lahoamiskokeita kahdelta erilaiselta kasvupaikalta otetuilla puunäytteillä. Kasvupaikat olivat määritetyn kokonaisu-mangaanin puolesta suunnilleen samanlaisia, mutta erosivat toisistaan aktiivisen, kasveille käyttökelpoisen mangaanimäärän suhteen. Toisella alueella oli runsaasti ravinteita ja korkea pH, toisella alueella ravinteita oli

Taulukko 2. Ravinnepitoisuudet terveissä ja juurikäävän infektoimassa kuusipuussa (Shain 1970).

Table 2. Amounts of various elements in sound and *Fomes annosus* [*Heterobasidion annosum*] infected stemwood of Norway spruce.

| Tissue — Solukko | N | K | P | Ca | Mg | Mn | Fe |
|--|----------------------|-------|----|-------|-----|-----|----|
| | <i>ppm of dry wt</i> | | | | | | |
| <i>Sound sapwood</i> Terve pintapuu | 775 | 745 | 85 | 535 | 70 | 20 | 10 |
| <i>Reaction zone</i> Reaktiovyöhyke | 550 | 3,595 | 35 | 1,085 | 300 | 100 | 10 |
| <i>Incipiently decayed wood</i> Lievästi laho puu | 510 | 3,305 | 15 | 1,965 | 285 | 50 | 10 |
| <i>Sound heartwood</i> Terve sydänpuu | 445 | 315 | 10 | 665 | 90 | 105 | 10 |

niukasti ja pH oli alhainen. Mangaania oli niukkaravinteisella kasvupaikalla kasvaneissa kuusissa 22,5—50 mg/100 g kuiva-ainetta ja runsasravinteisen kasvupaikan kuusissa vain 5 mg/100 g kuiva-ainetta. Kokeissa juurikäpä lahotti runsaasti mangaania sisältäviä näytteitä nopeammin kuin näytteitä, joiden mangaanipitoisuus oli alhainen. Sydän- ja mantopuun välillä ei ollut eroja lahoamisnopeudessa.

Shain (1970) määrittä mm. typen, kaliumin, fosforin, kalsiumin, magnesiumin, mangaanin ja raudan määriä juurikäävän lahotamasta kuusen (*Picea abies*) runkopuusta. Hän totesi, että ns. reaktiovyöhykkeessä eli leviämisyvyöhykkeessä ja alkavassa juurikäpälahossa oli kaliumia, kalsiumia ja magnesiumia enemmän kuin terveessä manto- tai sydänpuussa (taulukko 2).

5. RAVINTEIDEN VAIKUTUS NILAN JA PIHKAN RESISTENSSIIN

Elävän puun nila sisältää runsaasti sienten kasvua estäviä aineita ja se muodostaa näin biokemiallisen esteen sienten tunkeutumista vastaan. Tämä nilan ns. passiivinen resistenssi on riippuvainen puun ravinnetilasta (Laatsch ym. 1969).

Alcubilla ym. (1971) tutkivat yksipuolisen ylisuuren typpilannoituksen vaikutusta kuusen (*Picea abies*) nilan sisältämiin, juurikäävän kasvua estäviin, aineisiin 35 -vuotiaassa kuusikossa. Lannoitteena he käyttivät kalkkiammonsalpietaria (N 512 kg/ha). Neulasten typpikonsentraatio kohosi voimakkaasti jo lannoitusta seuranneena syksynä. Rungon nilan juurikäävän tunkeutumista estävien polyhydroksifenoleiden määrässä tai tehossa ei ollut vielä eroja. Juurien nilan typpipitoisuus kohosi lannoituksen seurauksena voimakkaammin kuin rungon nilan typpipitoisuus.

Lannoitusta seuranneena keväänä lannoitettujen puiden nila esti juurikäävän kasvua

merkittävästi heikommin kuin vertailupuiden nila. Vähäinen estovaikutus liittyi 6—7 -kertaiseksi kohonneeseen vapaiden aminohappojen määrään, sillä polyhydroksifenoleiden kokonaismäärä tai yhteisvaikutus ei ollut vielä mainittavasti muuttunut juurinilassa. Heidän mukaansa voimakas typpilannoitus lisää nuorissa kuusikoissa varsinkin keväällä juurikäpäinfektion alkuunpääsyä ja leviämistä.

Koe lannoitettiin uudelleen typpellä parin vuoden kuluttua ensilannoituksesta. Typpi annettiin ammoniumsulfaattina (N 250 kg/ha). Uusintalannoitusta seuranneena kesänä lannoitettujen puiden nilan fungistaattinen vaikutus oli voimakkaampi kuin ennen lannoitusta ja oli saavuttanut vertailupuiden tason, vaikka juurinilan aminohappokonsentraatio oli korkeampi kuin keväällä. Tulos oli selvästi ristiriitainen ensilannoituksen tulosten kanssa. Alcubilla'n ym. mukaan fenoliyhdisteiden määrän suhde sienten kasvua

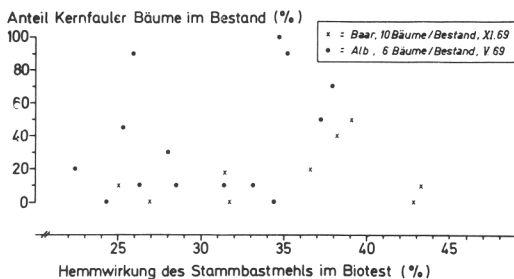
edistäviin aineisiin oli ilmeisesti kohonnut riittävän korkeaksi. Myös korkea aminohappokonsentraatio ja pH:n muutos olivat voineet vaikuttaa toksisesti juurikäpäsieneen.

Rehfuess (1973) määrittä sienten kasvua estävien aineiden määriä runkonilanäytteissä *Alcubilla*'n ym. (1971) käyttämällä menetelmällä. Näytteitä oli 23 eri metsiköstä, 6—10 kuusesta/metsikkö. Rehfuess testasi metsiköittäin nilajauhojen vaikutusta juurikäpäsieneen kasvuun biotestimenetelmällä. Rehfuess (1973) ei todennut korrelaatiota metsikön juurikäpäprosentin ja biotestitulosten välillä (kuva 1). Myöskään puittaisessa tarkastelussa hän ei todennut eroja terveitten ja tyvilahoisten puiden nilan sienten kasvua estävien aineiden konsentraatioissa.

Wenzel ja Kreuzer (1971) tutkivat nilan mangaanipitoisuuden vaikutusta kuusen kestävyyteen juurikäpästä vastaan. Tutkimuksen aineisto kerättiin koelapareilta: Parin muodosti terve metsikkö ja tätä vastaava metsikkö tai metsikön osa, jossa oli näkyvissä selviä magnaaniinpuutosoireita neulasistossa. Mangaanin määrä vaihteli terveen metsikön puiden ylimmän oksakiehkuran puolivuotiaissa neulasissa 80—180 ppm ja mangaanipuutetta kärsivien puiden neulasissa 3—8 ppm. Muita ravinteita oli neulasanalyysien mukaan riittävästi. Terveet puut kasvoivat happamalla kasvupaikalla. Sairaiden puiden kasvualustan pH vaihteli neutraalista emäksiseen.

Jokaisesta koepuusta otettiin neljä nilänäytettä kairalla (10 puuta/metsikkö). Mykologisissa testeissä kasvatettiin juurikäpäsiestä nilajauhoagareilla vakio-lämpötilassa laboratorio-olosuhteissa, ja vertailtiin rihmastojen kasvua eri alustoilla. Erot kuvasivat nilajauhojen suhteellisia estovaikutuksia. Kaikissa vertailuissa terveiden puiden nila esti juurikäävän kasvua enemmän kuin mangaanipuutetta kärsivien puiden nila. Terveiden puiden resistenssi juurikäpästä vastaan kohosi 1,4—2 -kertaiseksi mangaanin puutetta kärsivien puiden resistenssiin verrattuna. Analyysit osoittivat, että terveiden puiden nilassa oli polyhydroksifenoleita huomattavasti enemmän kuin sairaisissa puissa.

Wenzel ja Kreuzer ottivat nilänäytteet puiden rungoista. Tämä menetelmä mittaa rungon nilan torjuntatehoa juurikäpästä vastaan. Juurikäpäinfektio tapahtuu useimmiten juuristossa. Wenzel'in mukaan (Wenzel ja Diaz-Palazio 1970) juuri- ja runkonilan vä-



Kuva 1. Runkonilan suhteellinen estovaikutus (%) biotestissä ja tyvilahon määrä (%) 23 metsikössä (Rehfuess 1973).

Abb. 1. Zusammenhang zwischen dem Kernfäulebefallsgrad von 23 älteren Fichtenbeständen und der Pilzhemmung ihres Stammbasts im Biotest (Rehfuess 1973).

lillä vallitsee kuitenkin voimakas riippuvuus.

Ladeišťikova ym. (1980) lisäsivät kasvu-alustalle lannoitettujen mäntyjen jälttä ja mittasivat rihmaston massan kasvua. Typpi- ja kalilannoituksen saaneiden mäntyjen jälsi lisäsi juurikäpärihmaston kasvua 27 % ja 23 % kontrolliin verrattuna. Myös täyslannoitetuilta (NPK) ja kalkituilta koeloilta otettujen mäntyjen jälsi lisäsi jonkin verran kasvua. Fosforivariantissa suojaominaisuudet olivat pysyneet ennallaan: Rihmaston massat eivät poikenneet kontrollista.

Braun ja Lulev (1969) tekivät infektiokoikeita sormenpaksuisilla kuusenjuurilla ja totesivat, että kuusi torjuu myös aktiivisesti pihkan avulla sienen tunkeutumista. Pihkanerityksen intensiteetti on samoin kuin nilan passiivinen resistenssi riippuvainen mangaanista. Mangaanin puutetta kärsivät puut erittävät pihkaa huomattavasti vähemmän kuin terveet. Rishbeth'in (1951) mukaan samoin reagoi myös mänty. Kalkkipitoisilla mailla, joilla puut eivät pysty käyttämään kasvualustan mangaania tehokkaasti hyväkseen, juurikäävän infektoimista männyn juurista ei erityiä mainittavasti pihkaa. Happamilla mailla ohuetkin männyn juuret reagoivat infektiioon pihkanerityksellä ja hidastavat näin sienen tunkeutumista (Laatsch ym. 1969). Huomattavaa kuitenkin on, että vahva infektio ei johdu yksinomaan mangaanin puutteen aiheuttamasta puun fysiologisesta heikkoudesta vaan myös juurikäävän antagonistien, ennen kaikkea *Trichoderma viride* -sienen puutumisesta runsaskalkkisilta mailta (Rishbeth 1951).

6. NEULASTEN RAVINTEET JA JUURIKÄÄPÄ

61. Mänty

Jaroševskaja (1971) selvitti männyn juurikäävän ja neulasten ravinnepitoisuuden välistä yhteyttä. Hän teki ravinneanalyysejä juurikääpäpölyistä otettujen ja terveiden puiden neulasista. Typpi-, fosfori- ja kaliummäärät olivat juurikäävän vaivaamien puiden neulasissa 1,5—2 kertaa pienempiä kuin terveiden puiden neulasissa. Tämä johtui Jaroševskaja'n mukaan osaksi siitä, että sairaat puut olivat saaneet heikosti ravinteita ja osaksi siitä, että typpeä, fosforia ja kaliumia oli maassa niukasti.

Negrutski (1973) määrittä tyypin, kaliumin, fosforin, magnesiumin sekä kalsiumin määriä männyn neulasista terveissä ja juurikäävän saastuttamissa metsiköissä. Hän teki neulasanalyysejä kolmesta puuryhmästä:

- 1) terveet puut terveissä metsiköissä,
- 2) ehdollisesti terveet eli oireettomat puut n. 30—50 m sairaista puista sekä
- 3) juurikäävän infektoimat puut.

Neulasanalyyseiden mukaan saastuneen alueen terveen näköisten puiden neulasissa oli kaliumia vähemmän kuin terveenä pidetyn metsikön puissa. Typen, fosforin ja magnesiumin määrät olivat samalla tasolla. Kuivuvissa puissa kaliumin määrä oli enää 44 % terveiden puiden neulasten kalimäärästä. Myös typen, fosforin ja magnesiumin määrät olivat selvästi alentuneet.

Negrutski'n mukaan neulasanalyyseissä osoitettiin, että maan alhainen kaliumipitoisuus oli oleellisesti vaikuttanut puiden sairastumiseen. Typen, fosforin, magnesiumin ja kalsiumin määrillä ei ollut merkitystä mäntyjen kestävyteen juurikääpä vastaan.

62. Kuusi

Rehfuess (1969) tutki 61 *Picea abies* -metsikön ravinnetilaa ja tyvilahon määrää Swabisilla Alpeilla. Metsiköiden ikä vaihteli 58—102 vuoden välillä. Ne sijaitsivat n. 560—800 m korkeudella merenpinnan yläpuolella.

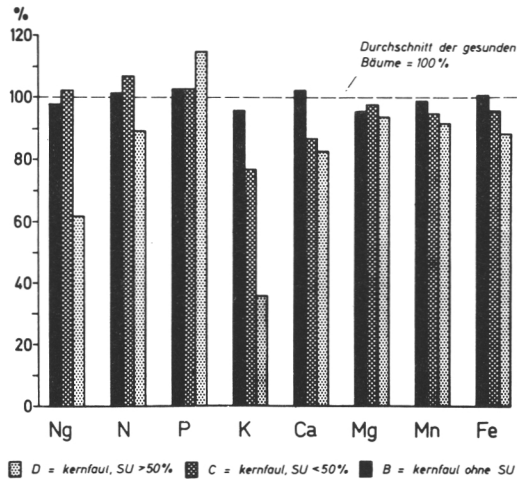
Metsiköt olivat pääasiassa viljellen perustetuja, eikä niitä oltu lannoitettu. Neulasanalyyseihin nojautuen Rehfuess totesi, että käyttökelpoisten ravinteiden ja veden määrä vaikutti kuusella tyvilahon esiintymiseen. Typen puute ja alhainen mangaani- ja rautamäärä olivat hidastaneet fotosynteesiä ja rajoittaneet lahoitajien kasvu estävien polyhydroksifenoleiden tuotantoa.

Sinner ja Rehfuess (1972) vertailivat terveiden ja juurikäävän infektoimien puiden neulasten ravinnemääriä kuudessa kuusikossa (*Picea abies*) erilaisilla kasvupaikoilla Etelä-Saksassa. Kuusikoiden ikä vaihteli 71—120 -vuoden välillä. Osa kasvoi vanhoilla metsämailla, osa oli maatalouskäytössä ollut metsitettyä aluetta. Metsiköistä kaadettiin 71 läpimitaltaan keskimääräistä, terveen näköistä kuusta. Näistä 28 puuta todettiin kaadon jälkeen lahovikaisiksi. Kannot luokiteltiin neljään lahoisuusluokkaan. Sekä terveitä että sairaista puista otettiin kolmesta ylimmästä oksakiehkurasta terveitä kasvaimia. Kasvaimista määritettiin typen, fosforin, kaliumin, kalsiumin, magnesiumin, raudan ja mangaanin määrä. Kuvassa 2 esitetään tutkittujen ravinteiden suhteelliset määrät eri lahoisuusluokissa. Terveiden puiden ravinnemäärät ovat tasolla 100 %. Luokassa B laho oli rajoittunut sydänpuuhun. Kahdessa muussa luokassa myös mantopuussa oli lahoa.

Puilla, joiden mantopuussa oli kannon korkeudella lahoa yli 50 %, oli neulasten kalii- ja kokonaistyyppimäärä huomattavasti alhaisempi, mutta fosforimäärä korkeampi kuin terveissä puissa. Sydänpuuhun rajoittuneen lahoisuusluokan B neulasanalyyseitulokset eivät juuri poikenneet terveiden puiden neulasanalyyseiden tuloksista.

Rehfuess (1973) tutki vanhojen kuusikoiden ravinnetilaa ja tyvilahon määrää myös Baar-Wutach'in alueella Etelä-Saksassa. Alueeseen kuuluu kaksi maaperätekijöiltään erilaista aluetta: Baar ja Baar-Schwarzwald. Aineisto kerättiin 87 ympyräkoelalta (koko 0,1 ha) puhtaista, homogeenisista, 64—122 -vuotiaista kuusikoista. Osa oli ensimmäisen tai

toisen sukupolven metsiköitä entisillä laidun- tai peltomailla, osa havupuusekametsiköiden jälkeisiä puhtaita kuusikoita vanhoilla metsämailla. Metsiköt oli perustettu yleensä istutamalla, eikä niitä oltu lannoitettu.



Kuva 2. Neulasanalyysitulosten vertailu eri lahoisuusluokissa kuusella (Sinner ja Rehfuess 1972)
Vertailuarvona terveet puut (luokka A) = 100 %.

Abb. 2. Vergleich zwischen den nadelanalytischen Merkmalen von Fichten verschiedener Fäuleklassen (n = 71) Relativwerte; Durchschnitt der gesunden Bäume (Klasse A) = 100 %. (Sinner und Rehfuess 1972).

Jokaiselta koelalalta kaadettiin syksyllä kymmenen puun satunnaisnäyte vallitsevista puista. Koepuista todettiin mm. lahon määrä ja otettiin neulasnäytteet 2—3 ylimmän oksakiehkuran puolen vuoden ikäisistä neulasista. Neulasanalyysit tehtiin sekanäytteistä, joissa oli sekä terveiden että tyvilahoisten puiden neulasia. Neulasanalyseissä määritettiin näytteiden typpi-, fosfori-, kalium-, kalsium-, magnesium-, rauta- ja mangaanipitoisuus. Neulasanalyysitulosten ja metsikön tyvilahon määrän välillä ei ollut selvää korrelaatiota. Baarin alueella oli kuitenkin heikko riippuvuus juurikäävän aiheuttaman tyvilahon ja neulasten typpi- ja mangaanipitoisuuksien välillä; koelaloilla, joilla oli runsaasti juurikäävän aiheuttamaa lahoa, neulasten typpi- ja mangaanipitoisuudet olivat alhaisia.

Suomessa Salonen ja Päivinen (1974) vertailivat juurikäävän erittäin pahasti saastuttamasta ja vastaavasta terveestä kuusikosta otettujen neulasten typpi-, fosfori-, kali-, magnesium-, kupari-, mangaani- ja sinkkipitoisuuksia. Analyysitulokset ovat taulukossa 3. Typen ja analysoitujen hivenravinteiden määrät eivät poikenneet toisistaan. Fosforia oli saastuneen alueen puiden neulasissa 99 %:n ja kalia 95 %:n todennäköisyydellä enemmän kuin terveellä alueella.

Taulukko 3. Neulasten ravinnepitoisuuksia (Salonen ja Päivinen 1974).
Table 3. Needle nutrient contents (Salonen and Päivinen 1974).

| Alueen terveydentila Condition of stands in area | N % | P % | K % | Mg % | Cu % | Mn % | Zn % |
|---|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Maanousemainen — <i>H. annosum</i> , root-rot | 1,35 | 0,18 | 0,72 | 0,11 | 0,00053 | 0,081 | 0,0048 |
| Terve Healthy | 1,36 | 0,14 | 0,61 | 0,11 | 0,00048 | 0,072 | 0,0047 |

7. MAAN KEMIALLISET OMINAISUUDET JA JUURIKÄÄPÄ

71. Männiköt

Vorošin (1966) tutki juurikäävän vioittamien männiköiden maata erilaisilla kasvu-paikoilla 50 mäntylviljelyalalla Kazakhskan'tissa Neuvostoliitossa. Hän totesi typen määrän ja maan humuspitoisuuden vaikuttavan mäntylviljelmien kestävyteen juurikää-pää vastaan. Jos typpipitoisuus laski 0,9 %:iin ja humuspitoisuus 0,03 %:iin, kestävyys aleni. Mikäli pitoisuuksien arvot olivat suurempia kuin mainitut arvot, kestävyden aleneminen johtui Vorošin'in mukaan muista syistä. Vorošin ei todennut korrelaatiota maan happamuuden, liukoisten fosfaattien, kalin ja magnesiumin määrien ja männyn juurikääpäkestävyyden välillä. Vorošin'in mukaan männyn juurikääpasaastunta entisillä peltomailla johtuu hyvin usein alhaisesta ravinteisuudesta ja erityisesti epäedullisesta typpitasosta.

Jaroševskaja (1971) määrittäi sekä juurikääpäpesäkkeistä että terveistä männiköistä otettujen maanäytteiden typpi-, fosfori- ja kalipitoisuuksia Ukrainassa. Analyysit osoittivat, että kasvupaikoilla, joilla juurikääpää ei esiintynyt, oli runsaammin liukoissa muodossa olevaa typpeä, fosforia ja kalia kuin kasvupaikoilla, joilla oli juurikäävän vaivaamia puita.

Negrutski (1973) tutki typen, kalin, fosforin, magnesiumin sekä kalsiumin määriä maassa täysin terveissä sekä juurikäävän saastuttamissa männiköissä Vorosilovgradin alueella Ukrainassa. Maan pintakerroksessa (alle 30 cm) saastuneissa metsiköissä typpeä oli 56,3—83,7 % kalia 16—28 % ja fosforia 74—91 % siitä määrästä, mitä täysin terveissä metsiköissä. Kalilla erot olivat todettavissa myös syvemmällä maassa (36—54 cm). Tutkituissa terveissäkin metsiköissä oli sekä typpeä (alle 4 mg/100 g maata), kalia (alle 10 mg/100 g) että fosforia (alle 5 mg/100 g) niukasti. Korrelaatiota maan kalsium- ja magnesiumpitoisuuksien ja puiden saastuneisuuden välillä ei todettu. Negrutski'n mukaan männyn kestävyys juurikääpää vastaan riippuu huomattavasti maan kalipitoisuudes-

ta. Myös typpivajaus massa vaikuttaa negatiivisesti männiköiden kestävyteen.

72. Kuusikot

Holmsgaard ym. (1968) tutkivat tyvilahon riippuvuutta mm. maaperäolosuhteista Jyl-lannin nummialueen viljelykuusikoissa Tanskassa. He jakoivat alueen kuuteen maaluokkaan. Kahteen luokkaan kuului entisiä peltomaita. Lahoisuusluokkia oli viisi. Laho oli useimmiten pääasiassa juurikäävän aiheuttamaa.

Kaikissa maaluokissa lahoisuusluokka nousi pH:n kohotessa. Nousun vaikutus oli kuitenkin pienin entisillä pelloilla, joissa keskimääräinen pH oli korkeampi kuin muissa luokissa.

Entisillä peltomailla oli sekä kali- että magneesiummäärä alhaisempi kuin muissa luokissa. Peltomailla lahoisuusluokka piene- ni, kun kalin tai magnesiumin määrä nousi maassa. Muissa luokissa kali- tai magne- siumpitoisuuden kohoaminen ei näyttänyt vaikuttavan lahoisuusluokkaan.

Mangaanilla oli vähäinen vaikutus lahoi- suusluokkaan muokatulla nummimaalla, mis- sä oli alhaisin mangaanipitoisuus. Tässä luokassa lahoisuus lisääntyi mangaanimäärän kohotessa. Muissa luokissa mangaanipitoi- suuden kasvaessa lahoisuusluokka pikem- minkin pienei, vaikka luokan keskimääräi- nen mangaanimäärä olisi ollut alhainenkin.

Evers (1973) tutki maan kemiallisten omi- naisuuksien ja tyvilahon välistä riippuvuutta Keski- ja Itä-Alpeilla sekä Baarin ja Baar- Schwarzwaldin alueilla Etelä-Saksassa samoissa *Picea abies* -metsiköissä, joista Reh- fuess (1969, 1973) teki neulasanalyysejä. Maanäytteet otettiin maan pintakerroksista, 0—4 cm:n ja 1—10 cm:n syvyyksistä. Näyt- teistä analysoitiin pH, typpi, fosfori, kali ja kalsium. Evers totesi, että maan pH:n ja tyvi- lahon määrän välillä oli voimakas riippuvuus (kuva 3).

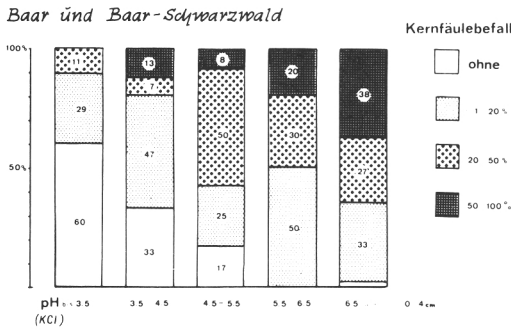
Baarissa ja Baar-Schwarzwaldissa lahon aiheutti yleensä juurikääpä. Juurikäävän

rihmaston kasvu on mahdollista pH-alueella 3,5—7,5, optimin ollessa 5,5 (Negrutski 1973). Metsiköistä, joissa maan pH oli alle 3,5, oli yli puolet täysin terveitä. Metsiköissä, joissa maan pH osui juurikäävän rihmasto-kasvun optimaalueelle (pH-alue 5,5—6,5), oli kaikissa juurikäävän aiheuttamaa tyvilahoa (kuva 3). Keski- ja Itä-Alpeilla *Armillaria* ja *Odontia* -lajit olivat juurikäävän ohella tyvilahon aiheuttajina. Itäisillä Alpeilla tyvilahoisia kuusia oli metsiköissä, joissa maan pH oli vain 2,6. Tällöin lahon aiheuttajana oli yleensä jokin muu sieni kuin juurikäpää (kuva 4).

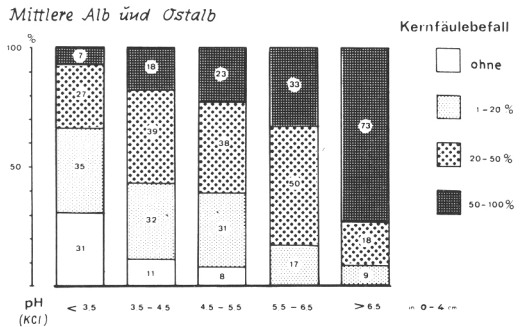
Maan biologista aktiveettia voidaan ilmaista hiili/typpi — suhteella. Eversin (1973) mukaan biologinen hajotustoiminta sekä ravinteiden kierto maassa oli vilkasta, kun suhde on matala. Evers ei todennut tutkimuksessaan korrelaatiota maan C/N-suhteen ja tyvilahon esiintymisen välillä. Tyvilahon

esiintyminen ei ollut myöskään riippuvainen maan C/P- tai C/K-suhteista eikä maan humuspitoisuudesta.

Tyvilahon määrä saattoi vaihdella huomattavasti, vaikka ravinneanalyyysien tulokset eivät juuri poikenneet toisistaan (taulukko 4). Eversin mukaan metsikön historia oli ilmeisesti vaikuttanut näillä alueilla tyvilahon määrään enemmän kuin maassa olevien ravinteiden määrä. Taulukossa 5 esitetään tyvilahon määrä sekä maan pH, kalsiumpitoisuus ja C/N-suhde samanlaisilla maapohjilla kasvavissa 60-vuotiaissa kuusikoissa Itä-Alpeilla. Tyvilahoprosentti oli sekä pelloille että laiturille perustetuissa ensimmäisen sukupolven metsiköissä huomattavasti korkeampi kuin vanhoilla metsäalueilla kasvavissa samanikäisissä metsiköissä. Entisillä laiturilla kasvavissa metsiköissä maan pH sekä kalipitoisuus olivat huomattavasti korkeampia kuin peltomailla tai vanhoilla metsämailla.



Kuva 3. Maan pH:n vaikutus tyvilahon esiintymiseen Baarin ja Baar-Schwarzwaldin alueilla Etelä-Saksassa (Evers 1973)
Kernfäulebefall = tyvilahoprosentti.



Kuva 4. Maan pH:n vaikutus tyvilahon esiintymiseen Keski- ja Itä-Alpeilla (Evers 1973)

Kernfäulebefall = tyvilahoprosentti.

Taulukko 4. Tyvilahon määrä, maan pH, humus- ja ravinnepitoisuudet laiduntamisen jälkeen metsitetyillä alueilla sekä vanhassa metsikössä kuivilla merke-lisavimailloilla (Evers 1973).

| Nr. | Bestand nach: Metsikkö jälkeen | Fomes- Befall % | pH H ₂ O | pH KCl | Humus % | C/N | P mg/100 g | Ca |
|-----|-----------------------------------|-----------------------|------------------------|-----------|------------|------|---------------|-----|
| 4 | Weide — Laidun | 30 | 7,3 | 6,9 | 22,4 | 31,7 | 76 | 545 |
| 4a | Weide — Laidun | 40 | 7,2 | 6,9 | 23,4 | 24,8 | 80 | 570 |
| 53 | Weide — Laidun | 50 | 6,7 | 6,6 | 27,2 | 28,2 | 58 | 421 |
| 76 | Alter Wald Vanha metsämaa | 0 | 6,7 | 6,6 | 44,5 | 26,6 | 66 | 647 |
| 87 | Weide — Laidun | 40 | 6,6 | 6,4 | 35,2 | 31,4 | 79 | 733 |
| 88 | Weide — Laidun | 10 | 6,8 | 6,6 | 27,6 | 25,0 | 65 | 685 |

Salonen ja Päivinen (1974) vertailivat kahden boniteetiltaan ja ikärakenteeltaan vertailukelpoisen kuusikon maa-analyysituloksia. Toinen kuusikko oli kairauksien perusteella pahasti juurikäävän saastuttama ja toinen oli terve. Metsiköt sijaitsivat n. 5 km päässä toisistaan. Ravinteet analysoitiin erikseen humuskerroksesta ja kivennäismaasta.

He totesivat, että ravinteita oli kokonaisuutena ottaen saastuneella alueella huomattavasti enemmän kuin terveellä alueella. Kuitenkin vain humuskerroksen pH (99 %) ja kalimäärä (95 %) sekä kivennäismaan fosforimäärä (95 %) olivat tilastollisesti merkitsevästi suurempia saastuneella alueella kuin terveessä metsikössä. Saastuneella alueella oli Salosen ja Päivisen mukaan vähän booria suhteessa muihin ravinteisiin. Boori oli lisäksi tyvilahoisella alueella korkeasta pH:sta johtuen vaikealiukoisemmassa muodossa kuin boori terveellä alueella.

Taulukko 5. Tyvilahon riippuvuus metsikön historiasta ja maan kemiallisista ominaisuuksista kalkkipitoisilla, rapautuneilla savimailla Itä-Alpeilla (Evers 1973).

| | RF % | pH (KCl) | Ca mg/100 g | C/N |
|---|---------|-------------|----------------|------|
| | | 5,0 | 520 | 19,3 |
| | | 4,1 | 418 | 22,5 |
| <i>Alter Wald</i> | | 4,0 | 454 | 19,4 |
| Vanha metsämaa | 26 | 3,9 | 521 | 19,8 |
| <i>Erstaufforstung nach Acker-nutzung</i> | | 4,6 | 590 | 18,0 |
| — | | 4,2 | 390 | 21,4 |
| Pellon metsitys | 50 | | | |
| | | 4,4 | 405 | 19,5 |
| | | 4,6 | 175 | 18,8 |
| <i>Erstaufforstung nach Weide</i> | | 6,7 | 656 | 23,3 |
| — | | 6,3 | 690 | 37,3 |
| Laitumen metsitys | 70 | 6,7 | 605 | 23,4 |

8. JUURIKÄÄPÄ METSÄNLANNOITUSKOKEISSA

81. Männiköt

Aleksejev (1969) inventoi juurikäävän aiheuttamia tuhoja viljelymänniköiden lannoituskokeissa Ukrainassa ja Valko-Venäjällä. Kokeissa, joissa oli käytetty fosfori- ja kalilannoitteita, hän totesi suurimmat juurikääpätuhot sellaisilla koealoilla, joille oli levitetty vain kalisuolaa (80 kg/ha). Yhdistetyllä kali- ja fosforilannoituksella kuolleisuus oli pienin tasolla 100—200 kg P, 50—100 kg K/ha. Eräessä toisessa kokeessa juurikäävän aiheuttamat tuhot olivat jonkin verran pienemmät ammoniumsalpietarilla lannoitetussa lohkossa kuin kalilannoituksen saaneessa lohkossa tai kontrollissa. Tehokkaimmin juurikäävän leviämistä esti kuitenkin kalkkisalpietari (Ca(NO₃)).

Jaroševskaja (1971) perusti lannoituskokeita nuoriin viljelymänniköihin Ukrainassa. Kokeissa käytettiin lannoitteina ammoniumsalpietaria (35 %), rakeista superfosfaattia (19,5 %) sekä kalisuolaa (40 %) joko yksinään tai eri kombinaatioina. Annetut ravinemäärät olivat 100, 200 ja 300 kg/ha typeä ja fosforia sekä kalia 150, 300 ja 450 kg/ha.

Suurimpaan typpimäärään (300 kg/ha) liittyi runsas puiden saastuminen. Sairaita puita oli puolitoistakertainen määrä kontrol-

liin verrattuna. Ruuduissa, jotka olivat saaneet typeä 100 tai 200 kg/ha, juurikäävän vaivaamien puiden määrät olivat lähes samat kuin kontrollissa. Fosforimäärillä 200 ja 300 kg/ha sairaita puita oli vain puolet kontrollista. Kalilannoitus määrillä 300 ja 450 kg/ha vähensi sairaiden puiden määrää lähes kolmasosaan kontrollista.

Kun lannoiteyhdistelmässä oli kaksi ravinnettä, kombinaatio kali + fosfori vaikutti juurikääpätuhoihin eniten. Tehokkaimmin juurikäävän leviämistä esti käsittely 100 kg P, 450 kg K/ha. Seuraavana oli käsittely 300 kg P, 150 kg K/kg. Näin lannoitetuilla ruuduilla puiden sairastuminen väheni lähes kolmasosaan kontrollista, ja tuhopesäkkeet alkoivat elpyä. Jaroševskaja'n mukaan tulokset osoittivat, että kali ja fosfori olivat samanarvoisia männyn juurikääpäkestävyyden lisääjinä. Jos tyyppi oli yhdistetty kaliin tai fosforiin oli männyn juurikääpäkestävyyden kannalta parempi, jos kali tai fosfori oli kombinaatiossa vallitsevana, kuin jos typeä oli enemmän kuin kalia tai fosforia. Jos typeä oli enemmän kuin kalia tai fosforia, puita saastui lähes yhtä paljon kuin kontrollissa. Täyslannoituksella oli positiivinen vaikutus männyn kestävyteen juurikääpä vastaan, kun ravinteiden määrät olivat 200 kg

N, 200 kg K/ha. Sairastuneita mäntyjä oli tällöin vain noin neljäsosa kontrolliruuduilla todetuista sairaista männyistä. Lannoitteiden määrän lisääminen ei parantanut tulosta.

Jaroševskaja saastutti myös keinotekoisesti männyn juuria juurikäpäsiemellä ja tutki, miten NPK -lannoitus vaikuttaa infektion alkuunpääsyyn. Juurten saastutus ei onnistunut puilla, jotka olivat saaneet suurimmat määrät lannoitteita (1—2 kg/m²).

Jaroševskaja selvitti myös kalkituksen vaikutusta männyn kestävyteen juurikäpäpää vastaan entisillä pelloilla. Kalkkijauhetta (CaCO₃) levitettiin juurikäpäsiintymiin joko 2 tn/ha tai 4 tn/ha. Kasvualustan pH oli ennen kalkitusta 4,5. Kalkituksen seurauksena pH nousi 0,6 yksikköä. Kolmen vuoden kuluttua esiintymät inventoitiin ja tehtiin havainnot juurikäpäsaastunnan leviämisestä. Kalkituksella oli kokeissa selvästi männyn juurikäpäkestävyyttä lisäävä vaikutus (taulukko 6). Kun kalkkia levitettiin 4 tn/ha väheni sairastuneiden puiden määrä lähes kolmasosaan kontrollista. Jonkin verran heikommin vaikutti pienempi kalkkimäärä.

Ladeišťikova ym (1980) tutkivat Ukrainassa lannoituksen vaikutusta männyn taimikossa, jota todennäköisesti uhkasi juurikäpäsaastunta. Taimikko oli perustettu entiselle peltomaalle, ja viereinen metsikkö oli juurikäpä saastuttama. Metsikkötunnukset lannoitushetkellä olivat seuraavat: ikä 13 v, tiheys 3 300 kpl/ha, h 6,5 m, $\bar{d}_{1,3}$ 8,2 cm ja \bar{v} 68 m³/ha. Koealueen maassa oli hyvin niukasti vaihtuvia emäksiä sekä typpeä ja niukasti fosforia ja kalia. Humuskerroksen pH oli

5,6. Koejäsenet olivat lannoittamaton kontrolli, N, P, K, Ca ja NPK. Lannoitetasot olivat N, P ja K 100 kg/ha sekä Ca 5 t/ha ja lannoitelajit ammoniumsalpietari (35 %), rakeinen superfosfaatti (20 %), kaliniitti (10 %) ja kalkki (75 %). Lannoitteet levitettiin toukokuussa maan pinnalle. Koealat inventoitiin kolmen, viiden ja seitsemän vuoden kuluttua lannoituksesta.

Kuolleiden puiden osuus vaihteli seitsemän vuoden kuluttua lannoituksesta 0—1,2 %:iin. Heidän mukaansa kuolleiden puiden avulla ei voida näin lyhyen ajan kuluttua tehdä päätelmiä lannoituksen vaikutuksesta männyn kestävyteen juurikäpäpää vastaan. Lannoituksen vaikutusta voidaan kuitenkin ennustaa potentiaalisen kestävyden eli jällen suojaominaisuuksien ja puuaineksen lahoamisnopeuden avulla. Laboratoriokokeissa suurin puuaineksen massahäviö oli tyypellä lannoitetussa koejäsenessä (21,5 %) ja pienin täyslannoitetussa koejäsenessä (16,1 %). Puun kasvunopeuteen näiden koejäsenten vaikutus oli kuitenkin yhtä suuri. Kontrollissa puuaineksen massahäviö oli 19,5 %. Fosfori- ja kalikoejäsenissä painohäviöt olivat samalla tasolla kuin kontrollissa.

Tuloksiin nojautuen Ladeišťikova ym. suosittelivat juurikäpävaarassa olevien männiköiden lannoitukseen täyslannoitetta (NPK) pelkän typen sijasta. Täyslannoite antoi typen kanssa samanveroisen, mutta muihin tutkittuihin lannoitusvaihtoehtoihin nähden maksimaalisen kasvun. Täyslannoite lisäsi samalla, päinvastoin kuin pelkkä typpi, männyn kestävyttä juurikäpäpää vastaan.

Taulukko 6. Kalkituksen vaikutus juurikäpäävän aiheuttamaan mäntyjen kuolemiseen (Jaroševskaja 1971).

Table 6. Effect of liming on the mortality rate of Scots pine attributed to *Heterobasidion annosum* (Jaroševskaja 1971).

| CaCO ₃ tn/ha | Puita koealoilla, kpl <i>Trees in stand</i> | | | Sairaita puita kolmen vuoden kuluttua (terv. ennen kalkit.) <i>Number of affected trees within 3 years (healthy before liming)</i> | | Sairaita % kontr. <i>Affected % of control</i> |
|----------------------------|--|-------------------------|--------------------------|--|---------------|---|
| | Yht. <i>Total</i> | Terv. <i>Healthy</i> | Sair. <i>Affected</i> | kpl <i>kpl</i> | % <i>%</i> | |
| 2 tn/ha | 254 | 232 | 22 | 14 | 6,0 | 57,1 |
| 2 tn/ha | 281 | 239 | 42 | 20 | 8,3 | 79,0 |
| Keskim. <i>Mean</i> | | | | | 7,2 | 68,5 |
| 4 tn/ha | 240 | 199 | 41 | 6 | 3,0 | 28,5 |
| 4 tn/ha | 248 | 194 | 54 | 8 | 4,1 | 39,0 |
| 4 tn/ha | 262 | 229 | 33 | 10 | 5,0 | 47,6 |
| Keskim. <i>Mean</i> | | | | | 3,8 | 36,1 |
| Kontr. <i>Control</i> | 342 | 312 | 30 | 33 | 10,5 | 100,0 |

82. Kuusikot

Isomäki ja Kallio (1974) tutkivat kuusen hakkuu- ja ajovaurioista lähtevien värivikojen (lahojen) etenemisnopeuden riippuvuutta kasvualustan lannoituksesta. Tutkimuksessa ei pystytty luotettavasti selvittämään annettuja lannoitelajeja tai -määriä. Kaikki lannoitteet olivat kuitenkin sisältäneet typpeä. Lannoitus lisäsi erittäin merkitsevästi värivian etenemisnopeutta puussa (kuva 5).

Novikov (1976) tutki mineraalilannoitteiden vaikutusta kuusikoiden kestävyteen juurikäypää vastaan. Kokeissa levitettiin lannoitteet kertakäsittelynä kesän alussa. Typpilähteenä käytettiin salpietaria (N 35 %), kalilannoitteena kalisuolaa (K 40—50 %) ja fosfori annettiin superfosfaattina (P 19,5 %). Lannoitteet annettiin yksinään ja erilaisina seoksina. Juurikäävän vaivaamien puiden määrä lisääntyi kaikilla typpilannoituksen saaneilla koaloilla nopeammin kuin kontrollikoaloilla. Novikov'in mukaan kuusen fysiologinen kestävyys heikkenee ja juurikäävän patologinen aggressiivisuus lisääntyy typen lisäyksen seurauksena.

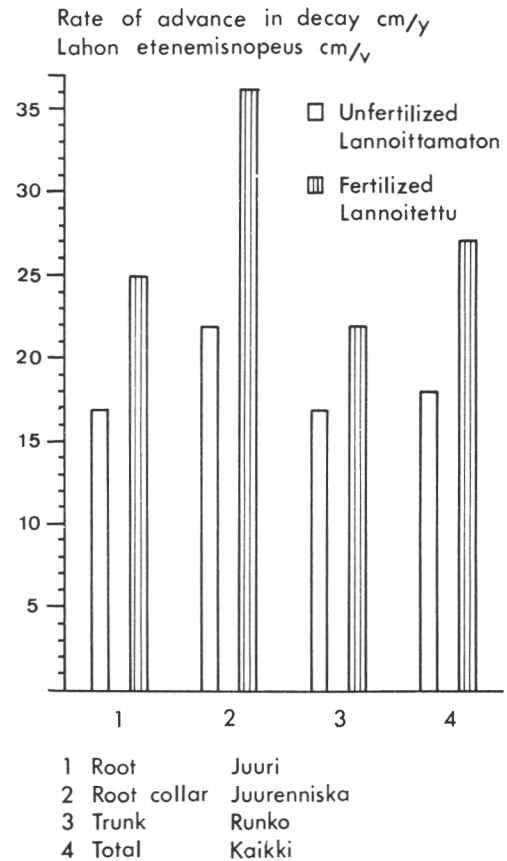
Novikov'in kokeissa alhaisin annettu kalisuolamäärä 40 kg K/ha lisäsi puiden kestävyttä juurikäypää vastaan. Kalimäärät 80 kg ja 120 kg/ha vaikuttivat päinvastaisesti. Pelkkä fosforilannoitus ja juurikäävän leviäminen tautipesäkkeissä eivät korreloineet johdonmukaisesti. Huomattava positiivinen vaikutus kuusikoiden tilaan oli seoslannoitteilla (160 kg N, 160 kg K/ha) sekä (140 kg K, 140 kg P/ha).

Taulukko 7. Koealojen lannoitus Hønning'enin ja Gludsted'in viljelyksillä. Lannoitteet levitettiin keväällä 1965 ja 1970 (Yde-Andersen 1977).

| Parcel Koeala | År Vuosi | kg godning pr. ha Kg fertilizer per hectare kg/ha |
|------------------|-------------|--|
| O | | intet |
| N ₁ | 1965 | 500 kg kalksalpeter (Calcium nitrate) — Kalkkisalpietari |
| | 1970: | 500 kg kalksalpeter |
| N ₂ | 1965: | 1000 kg kalksalpeter |
| | 1970: | 1000 kg kalksalpeter |
| P | 1965: | 3000 kg superfosfat (Superphosphate) — Superfosfaatti |
| | 1970: | Intet |
| N ₁ P | 1965: | 500 kg kalksalpeter + 3000 kg superfosfat |
| | 1970: | 500 kg kalksalpeter |
| N ₂ P | 1965: | 1000 kg kalksalpeter + 3000 kg superfosfat |
| | 1970: | 1000 kg kalksalpeter |

Yde-Andersen (1977) selvitti typpi- ja fosforilannoituksen vaikutusta juurikäävän esiintymiseen kahdessa n. 70 -vuotiaassa *Picea abies* -metsikössä Tanskassa. Metsiköt oli perustettu istuttamalla kuusta ja vuorimäntyä entiselle nummelle. Vuorimänty oli harvennettu pois ennen lannoitusta n. 40 vuoden kuluttua istutuksesta. Koealojen lannoitus-käsittelyt ovat taulukossa 7. Puut kaadettiin kymmenen vuoden kuluttua ensimmäisestä lannoituksesta. Kannoista tutkittiin juurikäävän esiintyminen. Yde-Andersen ei todennut riippuvuutta juurikäypäinfektion ja lannoituksen välillä.

Laiho (1978) saastutti kuusia keinotekoisesti juurikäävän itiösuspensiolla kolmella lannoituskokeella. Saastutus tehtiin kairamalla rinnankorkeudella vastakkaisille puolille sydänpuuhun ulottuva reikä. Yhdellä



Kuva 5. Lahon etenemisnopeuden riippuvuus kasvualustan lannoituksesta ja vaurion sijainnista (Isomäki ja Kallio 1974).

Fig. 5. Relationship between the advance in decay, fertilization and injury location. (Isomäki ja Kallio 1974).

kolmesta lannoituskokeesta typpilannoituksen seurauksena kohonnut pintapuun typpi-pitoisuus edisti juurikäävän kasvua pinta-puussa. Typpi oli tässä kokeessa annettu ammoniumsulfaattina ja ureana. Metsikkö oli boniteetiltaan mustikkatyyppejä. Kaksi muuta koetta olivat käenkaali-mustikkatyypillä, ja kokeita oli lannoitettu vain urealla.

Toisella näistä kokeista typpi oli hidastanut juurikäävän leviämistä. Toisella taas sien leviämisenopeus oli kontrolli- ja lannoitusruuduilla yhtä suuri. Laihon mukaan hänen käyttämänsä menetelmä mittaa lähinnä sydänpuun kelvollisuutta juurikäävän kasvu-alustana. Kohtuullinen typpilannoitus ei sydänpuun lahoamisalttiuteen vaikuttanut.

9. LANNOITUKSEN VAIKUTUS PUIDEN KANTOIHIN

Terveillä puiden kannoilla on sulan maan aikana juurikäävän leviämisen kannalta huomattava merkitys (mm. Rishbeth 1951, Kallio 1970). Dimitri (1966) tutki juurikäävän itiöiden leviämistä ja rihmaston kasvua normaalin harvennushakkuun seurauksena syntyneissä kannoissa kuudessa n. 25-vuotiaassa kuusikossa. Hän totesi, että juurikäävän infektioitiheys kantojen pinnoilla oli kahdella kalkitulla koalueella kolminkertainen kalkitsemattomiin verrattuna. Kalkkia oli levitetty alueella istutuksen yhteydessä 2 t/ha. Myös juurikäävän itiöemien määrä oli runsasaravinteisilla, kalkkipitoisilla koaloilla suurempi kuin koaloilla, joilla oli niukasti ravinteita.

Chsernykh (1978) tutki samoilla koaloilla kuin Ladeiščikova ym. (1980) lannoituksen vaikutusta juurikäävän kasvuun männyn kannoissa. Koalojen puusto oli harvennettu ennen lannoitusta ja kannot oli suojattu harvennuksen yhteydessä antraseeniöljyllä ilman kautta tapahtuvan juurikääpäsaastunnan estämiseksi. Koejäseninä olivat N, P, K, Ca, NPK, täyslannoite lisättynä hivenaineilla (B 1 kg/ha tai Mn 10 kg/ha), täyslannoite + kalkki sekä täyslannoite + kalkki ilman kantojen sivelyä. Kontrolli oli lannoittamaton, mutta kannot oli suojattu antraseeniöljyllä. Kannot tarkastettiin toisena ja neljäntenä vuonna hakkuun jälkeen. Tällöin määritettiin kannon lahoaste sekä identifioitiin lahoaiheuttajat.

Kahden vuoden kuluttua hakkuusta saastuneiden kantojen osuus vaihteli antraseeniöljyllä sivellyissä koejäsenissä 14—25,5 %. Vähiten saastuneita kantoja oli lannoittamattomassa kontrollissa ja eniten täyslannoite + kalkki -koejäsenessä. Kontrollin kanssa lähes

samanarvoisia olivat koejäsenet, jotka oli lannoitettu täyslannoitteella ja hivenaineilla. Chsernykhin mukaan boorilla ja mangaanilla oli mahdollisesti ollut antiseptinen vaikutus. Neljäntenä vuonna hakkuun jälkeen juurikäävän iskeytymisen erot kontrollin ja muiden koejäsenen välillä olivat pienentyneet. Lannoitus kuitenkin vaikutti huomattavasti kantoihin tapahtuvaan iskeytymiseen ja edisti aineiden kiertokulkua kannossa.

Eri lannoitusvaihtoehdot vaikuttivat jonkin verran kantojen sienilajistoon. Toisena vuonna hakkuun jälkeen juurikääpä todettiin 14,1 %:sta kontrollikantoja. Tätä alhaisempi saastumisprosentti oli vain fosfori- ja NPK + mangaani -koejäsenissä (10,3 %, 12,2 %). Eniten juurikäävän lahottamia kantoja löytyi täyslannoitetusta koejäsenestä, ja myös NPK — boori -koaloilla juurikääpäprosentti oli korkea (38,6 %). Typpiruuduissa prosentti oli 18,5 %. Neljäntenä vuoteen mennessä erot olivat jonkin verran tasoittuneet. Fosfori- ja NPK + mangaani -koejäsenillä juurikäävän osuus kantojen lahottajana oli edelleen vähäisempi kuin muilla koejäsenillä (34,4 % ja 32,3 %). Täyslannoitetuissa ruuduissa todettiin edelleen eniten juurikäävän lahottamia kantoja (55,0 %). Pelkän typpilannoituksen saaneilla ruuduilla luku oli 41,5 % ja kontrollissa 47,1 %.

Päätelminä Chsernykh esitti, ettei mineraalilannoitus estänyt hänen kokeessaan juurikäävän iskeytymistä ja kehitystä kannoissa. Täyslannoitus hakkuun jälkeen stimuloi sienien aiheuttamaa kantojen lahoamista. Mangaani ja boori yhdessä täyslannoitteen kanssa vaikuttivat jonkin verran antiseptisesti. Mangaanin vaikutus oli voimakkaampi kuin boorin.

10. TARKASTELU

Lannoituksen aiheuttamat maan ravinnetilan muutokset vaikuttavat puun sisäiseen ravinnetasapainoon ja fysiologiseen aktiiviteettiin ja näin myös puun taudinkestävyyteen. Puun taudinkestävyyden muutokset eivät ole yhtä nopeasti ja helposti havaittavissa kuin muutokset puun luston leveydessä ja pituuskasvussa. Maan kemiallisten ominaisuuksien muutokset vaikuttavat maamikrobistoon, myös maassa eläviin patogeeneihin ja mykorrhizasiiniin. Myös maan kemiallisten muutosten vaikutukset maamikrobistoon ovat vaikeasti mitattavissa. Tästä syystä lannoituksen kokonaisvaikutuksen selvittäminen puuntuotantoon vaatii pitkäaikaisten kokeiden järjestämistä. Lyhytaikaisilla kokeilla kokonaisvaikutusta voidaan ainoastaan ennustaa. Useat lannoituksen taloudelliset kannattavuuslaskelmat perustuvat toistaiseksi suhteellisen lyhytaikaisiin mittaussarjoihin.

Taudin puhkeamiseen ja etenemiseen saattaa jonkin muun ympäristötekijän esim. poikkeuksellisen kuivuuden tai muiden epäedullisten sääolosuhteiden vaikutus olla merkityksellisempää kuin lannoituksen. Geneettisillä tekijöillä ja metsikön historialla voi olla suurempi merkitys kuin maan ravinnetilalla (esim. Holmsgaard ym. 1968, Evers 1973, Rehfuess 1973). Tyvilahon määrä vaihtelee usein kasvupaikan sisällä enemmän kuin erilaisten kasvupaikkojen välillä (Evers 1973, Rehfuess 1973). Nämä seikat selittävät osaltaan tässä katsauksessa esitettyjen tulosten erilaisuutta ja aiheuttavat sen, että tuloksia voidaan vain rajoitetusti yleistää tutkimusalueitten ulkopuolella. Vaikka esim. Holmsgaard'in ym. (1968) tutkimuksissa lahoisuusluokka väheni eräässä maaluokassa kaksi yksikköä, kun humuskerroksen kalimäärä lisääntyi 1 g/m, ei keinotekoisella kalin lisäyksellä välttämättä ole samaa vaikutusta. Tämä johtuu siitä, että eri tekijät ovat riippuvaisia toisistaan, ja vaikutus liittyy ravinteiden luonnollisiin suhteisiin. Saman käsitteilynkin vaikutus saattaa olla erilainen eri olosuhteissa.

Koeolosuhteita on mahdotonta standardisoida täyskasvuisilla puilla ja metsikköolosuhteissa. Laboratoriossa olosuhteet ovat kontrolloitavissa, mutta tuloksia ei voida yleistää koskemaan metsäolosuhteita. Teoreettisesti voidaan ajatella, että juurikäpärhymästä kasvulle tärkeiden ravinteiden li-

säys metsikköolosuhteissa parantaa juurikäpärhymästä kasvuedellytyksiä ja lisää juurikäpärhymästä kasvun tuhoja. Kun määrätty raja on ylitetty, tulee esille ravinteen myrkyvaikutus, jolloin juurikäpärhymästä kasvun eteneminen hidastuu. Neuvostoliittolaisissa kokeissa mineraaliravinteista muita tärkeämpiä olivat fosfori, kali, kalsium, magnesium, rauta, sinkki ja kupari (Negrutski 1973). Typen myrkyvaikutus oli pääravinteista heikoin ja fosforin voimakkein (Jaroševskaja 1971). Kun useat tutkijat ovat todenneet typen tärkeyden maamikrobistolle (mm. Foster 1968, Hesterberg ja Jurgensen 1972), puun lahoamisalttiuden nousun typpipitoisuuden kohotessa (Platt ym. 1965, Cowling ym. 1969, Cowling 1970, ViHAVAINEN 1975) ja jälleen suojaominaisuuksien laskevan typpilannoituksen myötä (Alcubilla ym. 1971, Ladeiščikova ym. 1980), voidaan olettaa, että typpi on juurikäpärhymästä kasvun kannalta vaarallisin ravinne. Kuusella todettu kalin kasaantuminen lahoon puuhun ja reaktiovyöhykkeeseen, lisäänee kalin tarvetta juurikäpärhymästä kasvun vaivaamalla kuusilla (Rennerfelt ja Tamm 1962, Shain 1970).

Metsäolosuhteissa tehdyt tutkimukset juurikäpärhymästä ja ravinteiden suhteesta perustuvat juurikäpärhymästä esiintymisen ja puun — tai maan ravinnetilan välisen korrelaation selvittämiseen lannoittamattomissa metsiköissä tai järjestettyihin lannoituskokeisiin.

Puun ravinnetila on tutkittu neulasanalyyseillä avulla. Männyllä ravinteiden pääsy tyvitervastaudin taudinkuvasta johtuen vaikeutuu jo lievästikin sairastuneeseen puuhun (esim. Jaroševskaja 1971, Laine 1976). Näin ollen ravinteiden alhainen määrä neulasissa ei välttämättä ole merkki ravinteiden vajauksesta maassa. Myös kuusella neulasanalyyseillä käyttöön liittyy epäluotettavuustekijöitä. Mikäli laho on kuusella rajoittunut vain sydänpuuhun ei terveiden ja tyvilahoisten kuusten neulasanalyytituloksissa ole eroja. Jos myös mantopuussa on lahoa, eroja neulasanalyytituloksissa on havaittavissa (Sinner ja Rehfuess 1972). Ilmastotekijöiden vaihtelusta johtuen neulasanalyytitulokset myös vaihtelevat eri vuosina ja vuodenaikoina (esim. Paarlahti ym. 1971). Näistä syistä neulasanalyytit eivät ilmeisesti anna yksinään luotettavia tuloksia, jos halutaan selvittää ravinnetalouden vaikutusta juurikäpärhymästä kasvun tuhoihin.

Käsitykset neulas- ja maa-analyysitulosten välisestä korrelaatiosta vaihtelevat. Jotkut tutkijat ovat todenneet neulas- ja maa-analyysitulosten välillä positiivisen riippuvuuden (esim. Aaltonen 1950, Heinsdorf 1962). Rehfuess (1969, 1973) ja Evers (1973) tutkivat samoja kuusikoita. Rehfuess'in neulasanalyysit osoittivat, että lahojen kuusten neulasissa oli tyypeä ja mangaania vähemmän kuin terveiden puiden neulasissa. Maa-analyysien perusteella Evers puolestaan totesi korkean pH:n lisäävän tyvilahon määrää. Mangaanin osalta tulokset vahvistavat toisiaan: Kalkkipitoisilla mailla puut eivät pysty käyttämään kasvualueen mangaania tehokkaasti hyväkseen. Tuloksissa on nähtävissä pH:n määrittelyn tärkeys maan ravinnetilannetta tutkittaessa. Männyllä mm. Jaroševskaja (1971) ja Negrutski (1973) totesivat neulas- ja maa-analyysitulosten välillä positiivisen korrelaation joidenkin ravinteiden kohdalla. Suomessa Salonen ja Päivinen (1974) ottivat neulas- ja maa-analyysinäytteet samoista metsiköistä. Fosforin ja kalin kohdalla oli selvä positiivinen korrelaatio neulas- ja maa-analyysitulosten välillä. Tyvilahoisissa kuusikossa oli sekä puiden neulasissa että maassa fosforia ja kalia enemmän kuin terveessä metsikössä. Ristiriitaisuudet neulas- ja maa-analyysitulosten välillä saattavat joissakin tapauksissa johtua siitä, että metsikkö on juurikäävän tai jonkin muun taudin- tai tuhonaiheuttajan vaivaama ja puun ravinteiden saanti on tästä syystä häiriytynyt.

Jotkut tutkijat ovat esittäneet, että metsämaassa esiintyvä ravinnemäärien pienialainen vaihtelu sekä metsämaan kerroksellisuus aiheuttavat, että maa-analyysillä ei saada täysin luotettavaa kuvaa metsikön ravinnetilanteesta (esim. Troedsson ja Tamm 1969). Toiset tutkijat taas pitävät maa-analyysiä neulasanalyysiä luotettavampana menetelmänä, kun selvitetään metsikön ravinnetilannetta ja lannoitustarvetta (esim. Aaltonen 1950, Wilde 1958). Maa-analyysi on kuitenkin ainakin männiköissä tyvitervastaudin taudinkuvasta johtuen neulasanalyysiä käyttökelpoisempi menetelmä, kun tutkitaan ravinteiden vaikutusta juurikäpätuhoihin. Neulasanalyysi soveltuu hyvin, kun tutkitaan juurikäävän vaikutusta puiden ravinteiden ottoon.

Metsämaittemme ravinnevarat ovat yleisesti ottaen niukat, lukuunottamatta kalia. Viron (1969) mukaan kangasmetsiemme kas-

vua rajoittaa voimakkaimmin käyttökelpoisen typen puute ja ainoastaan viljavien maiden kuusikoissa NP -lannoitus on lisännyt puiden kasvua enemmän kuin pelkkä typpi. Tämä johtuu ilmeisesti siitä, että metsätyyppimme kuvastavat maan typpi-, kali- ja kalsiumvaroja, mutta fosforin määrä maassa ei lisääntynyt tasaisesti kasvupaikan muuttuessa viljavammaksi (Viro 1969, Urvas ja Erviö 1974). Kuusi on mäntyä vaateliaampi fosforin suhteen. Käytännön lannoitussuosituksen perustuvat suhteellisen laajoihin kenttäkokeisiin (esim. Mälkönen, 1979). Ohjeissa kehoitetaan nykyisin antamaan kuusikoissa typen ohella myös fosforia tai käyttämään moniravinteisiä lannoitteita. Jatkolannoituksissa suositellaan kaikilla kangasmaan metsätyypeillä käytettäväksi kolmannesta lannoituskerrasta lähtien pelkästään moniravinteisiä lannoitteita.

Juurikäpätuhojen on esitetty johtuvan sekä kuusella että männyllä joko typen puutteesta tai typen runsaasta määrästä maassa. Maan tyyppivajausta on yleensä pidetty juurikäpätuhojen syynä entisillä pelto- ja laidunmailla, joilla tyypeä suhteessa muihin ravinteisiin nähden on yleensä vähän (Aleksjev 1963, Vorošin 1966, Rehfuess 1969, 1973, Jaroševskaja 1971). Tulokset tyyppilannoituksen juurikäpätuhoja lisäävästä vaikutuksesta on saatu pääasiassa laboratorio-olosuhteissa (mm. Platt ym. 1965, Alcubilla ym. 1971, Ladeištsikova ym. 1980). Novikovin (1976) mukaan tyyppilannoitus kuitenkin lisää kuusen juurikäpätuhoja myös metsikköolosuhteissa. Käytännön suosituksen mukaiset kertalannoitukset eivät metsämaittemme käyttökelpoisen typen niukkuuden huomioon ottaen ilmeisesti lisää juurikäpätuhoja kangasmetsissämme. Metsämaittemme luontaista ravinnetilannetta ei kuitenkaan vielä ole riittävästi selvitetty. Nykyinen metsätyyppiluokituksemme ei sovellu sellaisenaan lannoitustarpeen ilmaisijaksi, koska sama metsätyyppi voi esiintyä eri maalajeilla. Niin kauan kuin käytössämme ei ole maa-analyysiä perustuvaa kasvupaikkaluokitusta eikä hivenainetilannetta metsissämme tunneta, jatkolannoitustarve tulisi harkita metsikkökohtaisesti.

Metsälannoituksen vaikutus juurikäpätuhoihin on mahdollista selvittää vain järjestyksellisesti, pitkäaikaisin lannoituskokein. Juurikäävän määrityksen tulisi perustua lannoituksen jälkeen todettuihin uusiin tautita-

pauksiin. Tyvilahon määrää ei voida luotetavasti todeta kaatamalla puuta. Tyvitervastaudin määrä on helpommin ja nopeammin selvitettävissä kuin kuusen tyvilahon. Tyvitervastaudin osalta tulisi maassamme taudin päälevinneisyysalueella, Kaakkois-Suomessa, tutkia ensin maa-analyysien lannoittamattomissa metsiköissä ainakin maan pH sekä pää- että hivenravinteiden määrät erikseen

metsikön terveissä osissa ja tyvitervastautipesäkkeissä. Tämän jälkeen tulisi perustaa lannoituskoealoja sekä tyvitervastautipesäkkeisiin että metsiköiden terveisiin osiin. Varsinkin kalin vaikutus tulisi tutkia. Neuvostoliittolaiset tutkijat ovat lähes yksimielisiä, että kali vaikuttaa männyn kestävyteen juurikäpää vastaan (mm. Aleksejev 1963, Jaroševskaja 1971, Negrutski 1973).

11. TIIVISTELMÄ

Kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan metsänlannoituksen mahdollisia vaikutuksia juurikäpään aiheuttamiin tuhoihin männyllä ja kuusella. Koska kysymys on erittäin vaikeasti selvitettävästä ja monitahoisesta ongelmasta, katsauksessa käsitellään ensin yleisesti puun ravinnetilan vaikutusta taudinkestävyteen sekä maan ravinteisuuden ja lannoituksen vaikutusta maan mikro-organismeihin. Tämän jälkeen käsitellään laboratorio-olosuhteissa saatuja tuloksia juurikäpään ravinnetarpeesta sekä puun ravinnepitoisuuden vaikutuksesta lahoamisalttiuteen ja resistenssiin juurikäpää vastaan. Metsäolosuhteissa tehdyistä tutkimuksista referoidaan ensin tutkimuksia, joissa vertaillaan terveiden ja juurikäpään saastuttamien lannoittamattomien metsiköiden tai puiden neulas- ja maa-analyysituloksia. Tämän jälkeen tarkastellaan varsinaisia lannoituskokeita, ja lopuksi lannoituksen vaikutusta puiden kantoihin.

Tulokset ovat toisistaan poikkeavia. Juurikäpätuhojen on esitetty johtuvan sekä kuusella että männyllä mm. typen puutteesta tai runsaudesta. Männyllä kaliumin puute tai kaliumlannoitus on lisännyt alttiutta tyvitervastaudille. Täyslannoitus (NPK) puolestaan on lisännyt männyn kestävyttä juurikäpää vastaan. Kuusella mangaanin tai kaliumin puutetta on pidetty altistavana tekijänä, samoin kuin boorin muihin ravinteisiin nähden liian alhaista määrää. Myös magnesiumilla on esitetty olevan merkitystä tyvilahon esiintymiseen. Lähes yksimielisiä tutkijat ovat sekä kuusella että männyllä kasvupaikan korkean pH:n ja juurikäpätuhojen välisestä positiivisesta riippuvuudesta.

Ulkomaisten tutkimusten tuloksia ei voida suoraan soveltaa oman maamme erilaisissa kasvupaikkaolosuhteissa. Kotimaisia tutki-

mustuloksia ei ole riittävästi, jotta niiden perusteella voisi laatia minkäänlaisia käytännön suosituksia. Kuitenkin lähes kaikissa esitetyissä tutkimuksissa ravinnesuhteet ovat ilmeisesti olleet vaikuttamassa tuloksiin. Minkä tahansa puulle välttämättömän ravinteen muihin ravinteisiin nähden liian alhainen tai suuri määrä vaikuttaa haitallisesti puun aineenvaihduntaan ja fysiologiseen kuntoon. Taudinkestävyden suhteen tasapainoisilla ravinnesuhteilla on ilmeisesti suurempi merkitys kuin ravinnetasolla. Puiden taudinkestävyys voi olla hyvä, vaikka ravinnetaso maassa olisi suhteellisen niukka tai runsas, jos ravinnesuhteet ovat tasapainoiset puiden elintoimintojen kannalta. Maan ravinnesuhteita täydentävällä, kohtuullisella lannoituksella on mahdollisuus paitsi lisätä kasvua myös lisätä kestävyttä juurikäpää vastaan.

Toistaiseksi ei tiedetä, millaiset ovat puun juurikäpääkestävyyden kannalta optimaaliset ravinneolosuhteet. Koska käyttökelpoisen typen puute rajoittaa voimakkaimmin kangasmetsiemme kasvua, on todennäköistä, että kertalannoitus pelkällä typellä ei lisää juurikäpätuhoja metsissämme, varsinkin jos lannoitetaan lähellä päätehakkuuikää olevia metsiköitä. Jatkolannoitus varsinkin yksiravinteisilla lannoitteilla tulisi harkita metsikökohtaisesti, niin kauan kun käytössämme ei ole myös maa-analyysien perustuvaa kasvupaikkaluokitusta. Uusintalannoitus yhdellä ravinteella lisää aina ravinnetasapainon häiriytymisen riskiä. Harkitsemattomalla lannoituksella mahdollisesti aikaansaatu, epätasapainoinen ravinnetilanne ei ole metsissämme korjattavissa yhtä helposti kuin peltoviljelyssä.

KIRJALLISUUS

- AALTONEN, V.T. 1950. Die Blattanalyse als Bonitierungsgrundlage des Waldbodens. Commun. Inst. For. Fenn. 37(8): 1—41.
- ALCUBILLA, M. von, DIAZ-PALACIO, M.P., KREUTZER, K., LAATSCH, W., REHFUESS, K.E. & WENZEL, G. 1971. Beziehungen zwischen dem Ernährungszustand der Fichte (*Picea abies* Karst.), ihrem Kernfäulebefall und der Pilzhemmwirkung ihres Bastes. Eur. J. For. Path. 1: 100—114.
- ALEKSEJEV, I.O. 1969. Maannouseman metsänhoidolliset torjuntatoimenpiteet. Lesohozjaistvennyje mery borydy s kornevoi gubkoi. Moskova. K. Etholénin käännös.
- 1973. Use of chemicals and mineral fertilizers for controlling *Fomes annosus* in stands of *Pinus*. Visn, Sil's Kohspod Nauki 5: 66—70.
- BJÖRKMANN, E. 1970. Forest tree mycorrhiza — the conditions for its formation and the significance for tree growth and afforestation. Plant and Soil 32: 589—610.
- BRAUN, H.J. von & LULEV, J. 1969. Infektion unverletzter, fingerstarker Fichtenwurzeln durch den Wurzelschwamm *Fomes annosus* (Fr.) Cooke. Forstwiss. Cbl. 88: 327—338.
- BRIX, H. 1972. Nitrogen fertilization and water effects on photosynthesis and earlywood — laterwood production in Douglasfir. Can. J. For. Res. 2: 467—478.
- CHERNYKH, A.G. 1979. Influence of mineral fertilizers on the colonization of stumps by root rot (*Fomes annosus*) in pine (*Pinus*) stands. Lesovodstvo i agrolesomelioratsiia 53: 72—76.
- COURTOIS, H. & BRAUN, H.J. 1970. Zum Abbau mangelhaltigen Fichtenholzes durch *Fomes annosus* (Fr.) Cooke. Proc. 3rd. Int. Conf. *Fomes annosus* Forest Service USDA 1970, 7—12.
- COWLING, E.B., DILLNER, B. & RYDHOLM, S. 1969. Comparative decay susceptibility of sapwood in nitrogenfertilized and nonfertilized stands of Norway spruce and Scots pine. Phytopath. 59: 1022.
- & MERRILL, W. 1966. Nitrogen in wood and its role in wood deterioration. Can. J. Bot. 44: 1539—1553.
- DIMITRI, L. 1966. Ausbreitung des Wurzelschwammes (*Fomes annosus* (Fr.) Cooke) und seine Beteiligung an der Rotfäule der Fichte. Forst. u. Holzw. 21: 191—194.
- 1977. Influence of nutrition and application of fertilizers on the resistance of forest plants to fungal diseases. Eur. J. For. Path. 7: 177—186.
- DUMBROFF, E.B. 1968. Some observations on the effects of nutrient supply on mycorrhizal development in pine. Plant soil 28: 463—468.
- EVERS, F.-H. 1973. Zusammenhang zwischen chemischen Bodeneigenschaften und Kernfäulebefall in Fichtenbeständen. Mitt. Verein 22: 65—71.
- FOSTER, A.A. 1968. Damage to forest by fungi and insects as affected by fertilizers. Forest fertilization theory and practice, s. 42—46. Papers presented at the Symp. Forest. Fertiliz. 1967, Gainesville, Flo., Tennessee Vall. Auth.
- GREIG, J.W. & PRATT, J.E. 1976. Some observations of the longevity of *Fomes annosus* in conifer stumps. Eur. J. For. Path. 6: 81—110.
- HEINSDORF, D. 1962. Beitrag über die Beziehungen zwischen dem Gehalt an Makronährstoffen N, P, K, Mg in Boden und Nadeln Wuchsleistung von Kiefernplantagen in Mittelbrandenburg. "Albrecht-Thaer-Archiv", B 7, Heft 4.
- HESTERBERG, G.A. & JURGENSEN, M.F. 1972. The relation of forest fertilization to disease incidence. For. Chron. 48: 92—96.
- HOLMSGAARD, E., NECKELMANN, J., OLSEN, H.C. & PALUDAN, Fr. 1968. Undersøgelser over rådgangregts afhaengighed af jordbundsforhold og dyrkningsmetoder for gran i de jyske hedeegne. Summary; On the Dependence of Butt Rot on Soil Conditions and Silvicultural Methods of Spruce Planting in Jutland Heath Areas. Det Forstlige Forsøgsvaesen i Danmark. XXX.3: 183—407.
- HÜPPEL, A. 1970. Protection against attacks to *Fomes annosus* on coniferous seedlings by a mycorrhizal fungus. Proc. 3rd. Int. Conf. *Fomes annosus* 1968. Forest Service USDA 57—61.
- HÖLL, W. von, TRUB, E., REHFUESS, K.E. & ALCUBILLA, M. 1975. Konzentrationsgradienten von Stickstoff, Zuckern und Adenosintri-phosphat im Stammscheiben von verschiedenen ernährten Fichten (*Picea abies* Karst.) aus einem Stickstoffdüngungsversuch. Forstw. Cbl. 94: 78—88.
- ISOMÄKI, A. & KALLIO, T. 1974. Consequences of injury caused by timber harvesting machines on the growth and decay of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). Seloste: Puunkorjuukoneiden aiheuttamien vaurioiden vaikutus kuusen lahoamiseen ja kasvuun. Acta For. Fenn. 136.
- JAROŠEVSKAJA, V.N. 1971. Maannouseman torjunnan metsänhoidolliset toimenpiteet. Avtoref. diss. LTA. Leningrad. 19 s. K. Etholénin käännös.
- KALLIO, T. 1964. Tutkimuksia maannousemasiengen esiintymisestä, leviämisiologiasta ja torjuntamahdollisuuksista Suomessa. Konekirjoite. Helsingin yliopiston kasvipatologian laitos.
- 1970. Aerial distribution of root-rot fungus *Fomes annosus* (Fr.) Cke. in Finland. Acta For. Fenn. 107.
- & TAMMINEN, P. 1974. Decay of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the Åland Islands. Seloste; Ahvenanmaan kuusien lahovikaisuus. Acta For. Fenn. 138.
- KEIPI, K. 1979. Metsänlannoituksen kannattavuus. Summary: Profitability of forest fertilization. Folia For. 400: 58—68.
- & KEKKONEN, O. 1970. Calculations concerning the profitability on forest fertilization. Seloste: Laskelmia metsän lannoituksen edullisuudesta. Folia For. 84: 23.
- KOBERG, H. 1966. Düngung und Mykorrhiza. Ein Gefäßversuch mit Kiefern. Forstwiss. Cbl. 85: 371—379.
- KORHONEN, K. 1978. Intersterility groups of *Hetero-*

- basidion annosum*. Seloste: Juurikäävän risteytymis-
suhteet. Commun. Inst. For. Fenn. 94(6).
- KURKELA, T. 1973. *Godronia multispora* aiheuttama
tauti raudus- ja hieskoivun taimitissa eräissä metsän-
lannoituskokeissa turvemaiilla. Summary: A disease
caused by *Godronia multispora* groves on young
Betula verrucosa Ehrh. and *B. pubescens* Ehrh. on
fertilized peatland. Suo 24(1).
- 1975. Incidence of snow blight on Scots pine as
affected by fertilization and some environments
factors. Seloste: Lannoituksen ja eräiden ympäris-
tökijäin vaikutuksesta männyn tainten lumikaris-
teisuuteen. Commun. Inst. For. Fenn. 85(2).
- LAATSCH, W. von, ALCUBILLA, M., WENZEL, G.
& AUFSESS, H. von 1969. Beziehung zwischen dem
Standort und der Kernfäule- Disposition der Fichte
(*Picea abies* Karst.). Forstwiss. Cbl. 87: 193—202.
- LADEISTSHIKOVA, E.I., POBEGAILO, A.I.,
BELYI, G.D., PASTERNAK, G.M. & CHER-
NYKH, A.G. 1980. On Application of fertilizers in
pine forests predisposed to damage by *Fomitopsis*
annosa (Fr.) Karst. Lesovedenie 2: 3—9. Vysotskii
Ukr. Res. Inst. For. Agric. Affor., Kharkov, USSR.
- LAIHO, O. 1970. *Paxillus involutus* as a Mycorrhizal
Symbiont of Forest Trees. Acta For. Fenn. 106:
1—72.
- 1978. Lannoituksen vaikutus kuusen lahoamiseen.
Parkanon tutkimusasetaman tiedonantoja no 7.
- LAINEN, L. 1976. The occurrence of *Heterobasidion*
annosum (Fr.) Bref. in woody plants in Finland. Se-
loste: Juurikäävän (*Heterobasidion annosum* (Fr.)
Brief.) esiintyminen puuvartisilla kasveilla Suomes-
sa. Commun. Inst. For. Fenn. 90(3).
- LUNEMANN, G. 1964. Mycorrhiza und Düngung.
Allg. Forstu. Jagtztg. 135: 228—233.
- Metsätalostollinen vuosikirja 1981. Suomen virallinen
tilasto XVII A:13. Folia For. 510. Helsinki.
- MOILANEN, M. & ISSAKAINEN, J. 1981. Männyn-
versoruosteen esiintymisestä lannoitetussa turve-
maan männyntaimitossa. Metsäntutkimuspäivä
Taivalkoskella 1981. Metsäntutkimuslaitoksen tie-
donantoja 24.
- MÄLKÖNEN, E. 1979. Kangasmaiden lannoitustutkimus.
Summary: Research on forest fertilization on
mineral soils. Folia For 400: 20—28.
- NEGRUTSKI, S.F. 1973. Kornevaja gubka. Moskova.
K. Etholenin osittainen käänös.
- NOVIKOV, N.A. 1976. Effect of mineral fertilizers on
the resistance of spruce plantings to the incidence of
Fomitopsis annosa (Fr.) Karst. Izv. Akad. Nauk,
BSSR, Ser. Biol. Nauk. 4: 124—127.
- PAARLAHTI, K., REINIKAINEN, A. & VEIJALAI-
NEN, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine
stands by needle and peat analysis. Seloste: Maa- ja
neulasanalyysi turvemaiden männiköiden ravitsemus-
tilan määrityksessä. Commun. Inst. For. Fenn.
74(5): 1—57.
- PLATT, W.D., COWLING, E.B. & HODGES, C.S.
1965. Comparative Resistance of Coniferous Root
Wood and Stem Wood to Decay by Isolates of
Fomes annosus. Phytopath. 55: 1347—1353.
- PUUSTJÄRVI, V. 1962. Turpeen typen mobilisointumi-
sesta ja sen käyttökelpoisuudesta suomensissa neu-
lasanalyysin valossa. Suo 13(1): 2—11.
- REHFUESS, K.E. von 1969. Ernährungszustand und
Kernfäulebefall älterer Fichtenbestände auf der
Schwäbischen Alb. Mitt. Ver. Forstl. Standortskunde
und Forstpflanzenzüchtung 19: 6—19.
- 1973. Kernfäulebefall und Ernährungszustand äl-
terer Fichtenbestände (*Picea abies* Karst.) im Wuchs-
gebiet "Baar-Wutach". Mitt. Verein 22: 9—26.
- RENNERFELT, E. & TAMM, C.O. 1962. The contents
of major plant nutrients in spruce and pine attacked
by *Fomes annosus* (Fr.) Cke. Phytopath. Z. 43:
371—382.
- RICHARDS, B.N. & WILSON, G.L. 1963. Nutrient
supply and mycorrhiza development in Caribbean
pine. Forest Sci. 9: 405—412.
- RISHBETH, J. 1951. Observations on the Biology of
Fomes annosus, Particular Reference to East Anglian
Pine Plantations. III. Natural and Experimental
Infection of Pines, and Some Factors affecting
Severity of the Disease. Annals of Botany, N.S. Vol.
XV, No 58.
- SAIKKU, O. 1975. Typpilannoituksen vaikutuksesta
männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheyteen.
Summary: The effect of nitrogen fertilization on the
basic density of Scots pine (*Pinus silvestris*), Nor-
way spruce (*Picea abies*) and common birch (*Betula*
verrucosa). Commun. Inst. For. Fenn. 85(5).
- SALONEN, K. & PÄIVINEN, L. 1974. Onko boorin
puute osasyynä maanouseman esiintymiseen? Met-
sä ja Puu 9: 16—17.
- SHAIN, L. 1970. The Response of Sapwood of Norway
Spruce to Infection by *Fomes annosus*. Phytopath.
61: 301—307.
- SINNER, K.F. von & REHFUESS, K.E. 1972. Wir-
kungen einer *Fomes annosus* Kernfäule auf Den
Ernährungszustand älterer Fichten (*Picea abies*
Karst.) Allg. Forst- u. J.-Ztg. 143: 74—80.
- SOBOTKA, A. 1964. Die Mykotrophie der Wald-
bäume. Prace Vyck. Ust. Lesn. CSSR. 179—226.
- TROEDSSON, T. & TAMM, C.O. 1969. Small scale
spatial variation in forest soil properties and its
implications for samplings procedures. Studia Fore-
stalia Suecica 74: 1—30.
- URVAS, L. & ERVIÖ, R. 1974. Metsätyypin määrit-
tyminen maalaajin ja maaperän kemiallisten ominai-
suuksien perusteella. Summary: Influence of the soil
type and the chemical properties of soil on the
determining of the forest type. Maataloustiet. Aika-
kauskirja 46(3): 307—319.
- WENZEL, G. von & DIAZ-PALACIO, M.P. 1970.
Beziehungen zwischen dem Ernährungszustand der
Fichte (*Picea abies* Karst.) und dem Pilzhemmstoff-
gehalt ihres Bastes. Z. Pflanzenenergie 127: 56—63.
- & KREUTZER, K. 1971. Der Einfluss des Mangan-
mangels auf die Resistenz der Fichten (*Picea abies*
Karst.) gegen *Fomes annosus* (Fr.) Cooke. Zeitschrift
für Pflanzenernähr und Bodenkunf. 128(2): 123—
128.
- WERNER, H. 1971. Untersuchungen über die Einflüsse
des Standorts und der Bestandenverhältnisse auf
die Rotfäule (Kernfäule) in Fichtenbetänden der
Mittleren Alb. Mitt. Verein 20: 9—48.
- 1973. Untersuchungen über die Einflüsse des Stand-
orts und der Bestandesverhältnisse auf die Rot-
fäule (Kernfäule) in Fichtenbeständen der Ostalb.
Mitt. Verein 22: 27—64.
- VIHAVAINEN, T. 1975. Metsänlannoituksen vaiku-
tuksesta männyn sinistymän- ja lahonalttiuteen sekä
kylästyvytyteen. Valtion teknillinen tutkimuskeskus,
puunsuojauslaboratorion tiedonanto no 6.
- WILDE, S.A. 1958. Diagnosis of Nutrient Deficiencies
by Foliar and Soil Analyses in Silvicultural Practice.
First North American Forest Soil Conference. Agr.

- Exp. Sta. Mich. State Univ. 138—140.
 VIRO, P.J. 1961. Evaluating of site fertility. *Unasylva* 15: 91—97.
 — 1969. Prescribed burning in forestry. *Commun. Inst. For., Fenn* 67(7): 1—49.
 VOROSIN, L.E. 1966. Maannouseman vioittamien männiköiden maa. Tezisy dokladov. Ukr. NIILH: 78—80.

- ZECH, W. 1968. Über die Kaliumernährung von Koniferen auf kalkhaltigen Böden. *Int. Kali-Institut. Bern.* s. 80.
 YDE-ANDERSEN, A. 1977. *Fomes annosus* -angreb ved foster- og kvaelstofgodsning af gamle rogranbevoksninger. *Fomes annosus* and the fertilization of Old Norway Spruce Stands with Phosphorus and Nitrogen. XXXV(1): 61—68.

Total of 71 references

SUMMARY

The effect of forest fertilization on the amount of damage caused by *Heterobasidion annosum* in Scots pine and Norway spruce is examined in this report on the basis of the available literature. Owing to the fact that it is extremely difficult to elucidate this complicated question, the effect of the nutrient status of the tree on resistance to pathogens, and the effect of fertilization and soil fertility on the micro-organisms in the soil, are first treated generally in the report. The results of studies carried out in the laboratory on the nutrient requirements of *H. annosum* and the effect of the nutrient content of trees on their susceptibility to rot and resistance to attack by *H. annosum* are then examined in detail. As far as studies carried out in the field are concerned, the studies involving the comparison of results from the needle and soil analysis of unfertilized stands which are either healthy or suffering from attack by *H. annosum*, are examined first. The occurrence of *H. annosum* in fertilization experiments is the examined, followed by the effect of fertilization on the stumps of trees.

The results are rather contradictory. The proposed causes of *H. annosum* damage in both spruce and pine include a deficiency or an over-abundance of nitrogen. In the case of pine, a deficiency of potassium or fertilization with potassium have both been found to increase the susceptibility to butt rot. Fertilization with NPK has been reported to increase the resistance of pine against *H. annosum*. In the case of spruce, deficiencies of manganese or potassium have been considered to be factors increasing susceptibility, as is the case with too low boron contents in comparison to the levels of other nutrients. Magnesium has also been reported as having an effect on the occurrence of butt rot. Researchers in this field are in almost full agreement that there is a positive correlation between damage by *H. annosum* and a high soil pH in the vase of both pine and spruce.

The results of studies carried out abroad cannot be applied directly to the rather special site conditions prevailing in Finland. As there are not enough results from studies carried out in Finland, it is not possible to draw up any practical recommendations concerning this problem. However, it is apparent that the nutrient status has had an effect on the results in almost all the studies reviewed here. In any tree, too high or too low levels of an essential nutrient in comparison to the levels of other nutrients, has a harmful effect on the metabolism and physiological condition of the trees. As regards resistance to pathogens, a balanced nutrient status is obviously of more importance than nutrient levels. If the nutrient status of a tree is balanced from the point of view of the tree's metabolism, then the resistance of the tree against pathogens will be good irrespective of whether the level of nutrients in the soil is relatively high or low. Moderate fertilization which corrects imbalances in the nutrient status of the soil does not only increase stand growth, but can also be used to increase resistance against *H. annosum*.

At the present time it is not known are the optimum nutrient conditions from the point of view resistance against *H. annosum*. As a lack of available nitrogen is the most important factor limiting tree growth on mineral soil sites in Finland, it is likely that a single application of nitrogen alone does not increase the incidence of *H. annosum* damage in our forests, especially if fertilization is carried out in stands approaching the final cutting stage. Refertilization, especially with single nutrients, should be decided at the stand level as long as we continue to use a site classification system which does not also include soil analysis. Refertilization with single nutrients always increases the risk of a disturbance in the nutrient balance. An imbalanced nutrient status brought about by incorrect fertilization is not nearly as easy as to correct in the forest as it is in agriculture.

ODC 172.8 *Heterobasidion annosum* + 443 + 237.4 + (048.1)
ISBN 951-40-0641-0
ISSN 0015-5543

JOKINEN, K. 1983. Metsänlannoituksen vaikutus juurikäävän esiintymiseen — Kirjallisuuskatsaus. Summary: The effect of fertilization on the occurrence of *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. — A literature review. Folia For. 573:1—22.

The effect of forest fertilization on the amount of damage caused by *Heterobasidion annosum* in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) is examined on the basis of the available literature.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland

ODC 172.8 *Heterobasidion annosum* + 443 + 237.4 + (048.1)
ISBN 951-40-0641-0
ISSN 0015-5543

JOKINEN, K. 1983. Metsänlannoituksen vaikutus juurikäävän esiintymiseen — Kirjallisuuskatsaus. Summary: The effect of fertilization on the occurrence of *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. — A literature review. Folia For. 573:1—22.

The effect of forest fertilization on the amount of damage caused by *Heterobasidion annosum* in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) is examined on the basis of the available literature.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland

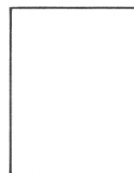
Tilaa kortin kääntöpuolelle merkitsemäni julkaisut (julkaisun numero mainittava).

Please send me the following publications (put number of the publication on the back of the card).

Nimi
Name _____

Osoite
Address _____

Metsäntutkimuslaitos
Kirjasto/*Library*
Unioninkatu 40 A
SF-00170 Helsinki 17
FINLAND



Folia Forestalia _____

Communications Instituti Forestalis Fenniae _____

Huomautuksia _____
Remarks _____

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema
Parkano Research Station
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland
Puh. — *Phone:* (933) 2912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* 91500 Muhos, 1 kp, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

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

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

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

Kolarin tutkimusasema
Kolari Research Station
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland
Puh. — *Phone:* (995) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* Eteläranta 55
96300 Rovaniemi 30, Finland
Puh. — *Phone:* (991) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu 10, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 26 211

Kannuksen tutkimusasema
Kannus Research Station
Os. — *Address:* Valtakatu 18
69100 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

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

- No 552 Hakkila, Pentti & Kalaja, Hannu: Puu- ja kuorituhkan palauttamisen tekniikka.
The technique of recycling wood and bark ash.
- No 553 Löyttyniemi, Kari & Piisilä, Niilo: Hirvivahingot männyn viljelytaimikoissa Uudenmaan—Hämeen piirimetsä-lautakunnan alueella.
Moose (*Alces alces*) damage in young pine plantations in the Forestry Board District Uusimaa—Häme.
- No 554 Vuokila, Yrjö, Gustavsen, Hans Gustav & Luoma, Pirkko: Siperianlehtikuusikoiden kasvupaikkojen luokittelu ja harvennusmallit.
Site classification and thinning models for Siberian larch (*Larix sibirica*) stands in Finland.
- No 555 Metsäntutkimuslaitoksen julkaisu 1982.
Abstracts of the publications of the Finnish Forest Research Institute, 1982.
- No 556 Vuokila, Yrjö: Viljelymetsiköiden harvennusmallit.
Gallringsmallar för odlade bestånd i Finland.
Thinning models for forest cultures in Finland.
- No 557 Isomäki, Antti & Niemistö, Pentti: Koelapuuston harvennusvalinta tietokoneohjelman avulla.
The selection of trees in thinning experiments: A computer method.
- No 558 Ferm, Ari & Kaunisto, Seppo: Luontaisesti syntyneiden koivumetsiköiden maanpäällinen lehdetön biomassatuotos entisellä turpeennostoluueella, Kihniön Aitonevalla.
Above-ground leafless biomass production of naturally generated birch stands in a peat cut-over area at Aitoneva, Kihniö.
- No 559 Leikola, Matti & Rikala, Risto: Verhopuuston vaikutus metsikön lämpöoloihin ja kuusen taimien menestymiseen.
The influence of the nurse crop on stand temperature conditions and the development of Norway spruce seedlings.
- No 560 Löyttyniemi, Kari: Männyn taimen kehitys latvan katkeamisen jälkeen.
Recovery of young Scots pines from stem breakage.
- No 561 Tiihonen, Paavo: Leimikon pystymittauksen kenttätöiden tehostamisen mahdollisuuksia.
The efficiency of the field measurement of standing trees marked for cutting.
- No 562 Juslin, Heikki & Karppinen, Heimo: Suomen tärkeimpien asiakasmaiden sahatavaraostot 1970-luvulla.
Sawn timber purchases of Finland's most important client countries in the 1970's.
- No 563 Pellikka, Marketta & Kotimaa, Marjut: Polttohakkeen käsittelystä aiheutuva ilman homepölypitoisuus sekä siihen vaikuttavat tekijät.
The mold dust concentration caused by the handling of fuel chips and its modifying factors.
- No 564 Päivinen, Risto: Metsikön tukkiosuuden arviointimenetelmä.
A method for estimating the sawlog percentage in Scots pine and Norway spruce stands.
- No 565 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1981—83.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1981—83.
- No 566 Miettinen, Reijo & Uusvaara, Olli: Pystykarsitun männikön koesahaus.
Test sawing of pruned pine stand.
- No 567 Tiihonen, Paavo & Virtanen, Jaakko: Koetuloksia ilmakuvien käyttömahdollisuuksista energiapuun arvioinnissa Pohjanmaalla ja Pohjois-Savossa v. 1980—82.
Possibilities of using aerial photographs in the estimation of energy wood resources in Ostrobothnia and northern Savo in 1980—82.
- No 568 Kuusela, Kullervo & Salminen, Sakari: Metsävarat Etelä-Suomen kuuden pohjoisimman piirimetsälautakunnan alueella 1979—1982 sekä koko Etelä-Suomessa 1977—1982.
Forest resources in the six northernmost Forestry Board Districts of South Finland, 1979—1982, and in the whole of South Finland, 1977—1982.
- No 569 Rousi, Matti: Myyrien aiheuttamat vahingot Pohjois-Suomen puulajikokeissa talvella 1981/82.
Vole damage in tree species trials in northern Finland in the winter of 1981/82.
- No 570 Hämäläinen, Jouko & Laakkonen, Olavi: Turvemaan varttuneiden männiköiden lannoituksen edullisuus.
Profitability of fertilization in mature Scots pine stands on peatland.
- No 571 Lähde, Erkki & Savonen, Eira-Maija: Kastelun vaikutus männyn paakutaimien kehitykseen sekä turpeen vesi- ja ilmasuhteisiin paakussa.
Effects of watering on the development of containerized Scots pine seedlings and water and air conditions in peat growing mediums.
- No 572 Korhonen, Kirsi-Marja, Teivainen, Terttu, Kaikusalo, Asko, Kananen, Aino & Kuhlman, Eeva: Lapinmyyrän aiheuttamien tuhojen esiintyminen Pohjois-Suomen mäntymetsissä huippuvuoden 1978 jälkeen.
Occurrence of damage caused by the root vole (*Microtus oeconomus*) on Scots pine in northern Finland after the peak year 1978.
- No 573 Jokinen, Katriina: Metsänlannoituksen vaikutus juurikäävän esiintymiseen — Kirjallisuuskatsaus.
The effect of fertilization on the occurrence of *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. — A literature review.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomoneisteita koskevat pyynnöt osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.
Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.

Myynti: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, puh. (90) 17341