



FOLIA FORESTALIA

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE
HELSINKI 1988

716

Seppo Nevalainen & Kirsi M.H. Liukkonen

ILMAN EPÄPUHTAUKSIEN VAIKUTUS BIOOTTISIIN METSÄTUHOIHIN
KIRJALLISUUSKATSAUS

The effects of air pollution on biotic forest diseases and pests
A literature review

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

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

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

Ylijohtaja: Professori
Director: Professor Aarne Nyssönen

Julkaisujen jakelu: Kirjastonhoitaja
Distribution of Librarian Liisa Ikävalko-Ahvonen
publications:

Julkaisujen toimitus: Toimittajat
Editorial office: Editors Seppo Oja
Tommi Salonen

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

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

FOLIA FORESTALIA 716

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1988

Seppo Nevalainen & Kirsi M. H. Liukkonen

ILMAN EPÄPUHTAUKSIEN VAIKUTUS BIOOTTISIIN METSÄTUHOIHIN. KIRJALLISUUSKATSAUS

The effects of air pollution on biotic forest diseases and pests.
A literature review

Approved on 27.5. 1988

SISÄLLYS

1. ILMAN EPÄPUHTAUDET JA NIIDEN VAIKUTUS TUHONAIHEUTTAJEN ISÄNTÄKASVEIHIN	3
2. VAIKUTUS HYÖNTEISTUHOIHIN	6
21. Yleistä	6
22. Petohyönteiset ja loiset	6
221. Petohyönteiset	6
222. Loiset	7
23. Lehti- ja neulastuholaiset	8
231. Lehtiä ja neulasia imevät	8
232. Lehtiä ja neulasia syövät	9
24. Runko- ja oksatuholaiset	9
25. Silmu- ja versotuholaiset	10
3. VAIKUTUS METSÄN TAUTEIHIN	11
31. Yleistä	11
32. Karistesienet ym. lehdistä tai neulasissa esiintyvät mikrobit	12
33. Ruostesienet	15
34. Lahottajasienet	15
35. Versosyöpä	17
36. Juuripatogeenit ja mykorritsat	18
37. Bakteerit, virukset ym. submikroskooppiset organismit	19
KIRJALLISUUS – REFERENCES	19

NEVALAINEN, S. & LIUKKONEN, K. M. H. 1988. Ilman epäpuhtauksien vaikutus biotettiin metsätuhoihin. Kirjallisuuskatsaus. Abstract: The effects of air pollution on biotic forest diseases and pests. A literature review. *Folia Forestalia* 716. 25 p.

Kirjallisuuden perusteella tarkastellaan niitä mekanismeja, jotka vaikuttavat puiden altistumiseen biotteisille tuhoille, epäpuhtauksien vaikutusta taudinaiheuttajiin ja hyönteisiin sekä metsän sieni- ja hyönteistuhoihin. Epäsuorat vaikutukset puiden heikentymisen kautta ovat yleensä tärkeämpiä kuin suorat vaikutukset itse tuholaisiin. Sienitaudeista epäpuhtauksien vaikutuksesta lisääntyvät lähinnä ne, joiden aiheuttajat pystyvät elämään myös saprotrofeina. Tärkeimmät ryhmät ovat lahottajasienet ja eräät normaalisti ei-patogeeniset neulastautien aiheuttajat. Esimerkiksi juurikäävän ja mesisien on havaittu lisääntyvän epäpuhtauksien vaaamalla metsäalueilla, erityisesti alhaisten laskeumatasojen vallitessa. Versosyövän yhteyttä epäpuhtauksiin ei vielä ole todistettu. Ehdottomat loiset (biotrofit) vähenevät ainakin voimakkaan saastevaikutuksen alaisista metsistä.

Karkeasti yleistäen saastuneella alueella menestyvät parhaiten hyönteiset, joilla on pistävät tai imevät suuosat. Hyönteiset, joilla on purevat suuosat, menestyvät toiseksi parhaiten, mikäli niillä on riittävä suoja ilman epäpuhtauksia vastaan. Saastuneisuuden voimakkuuden astetta jollain tavalla kuvaavia bioindikaattori-hyönteislajeja on löydetty muutamia. Suomessa ilman epäpuhtauksien vaikutuksia metsähyönteisiin on tutkittu punalatkan sekä eräiden kirva-, pistäis- ja perhoslajien osalta.

The effects of pollutants on the mechanisms which predispose forest trees to biotic diseases and pests are reviewed, as well as their effects on the disease causing organisms and the most important fungal and insect damage. In general, indirect effects due to the increased susceptibility of the trees are more important than direct effects on the damage causing organisms. Fungal diseases caused by facultative saprobes can be favoured by pollution. The most important groups of these are decay fungi and some needle casts that are not pathogenic in normal conditions. For example, *Heterobasidion annosum* and *Armillaria mellea* have frequently been found in areas affected by low pollution levels. The possible connection of *Ascocalyx (Gremmeniella) abietina* with air pollution needs to be verified with further experiments. Biotrophic fungi occur less frequently in stands affected by high pollution levels. The insect pests with stinging or sucking mouth parts thrive the best in affected stands. So do species with biting mouth parts if provided with some kind of protective shield against the pollutants. Some insects that can have value as bioindicators have been found. Finnish studies on the effects of air pollution have so far concerned *Aradus cinnamomeus* and some species of Homoptera (e.g. aphids), Hymenoptera (e.g. sawflies) and Lepidoptera (e.g. moths).

Key words: air pollution, acid rain, forest decline, pests, diseases
ODC 425 + 48 + 44 + 45

Authors' addresses: *Nevalainen*: The Finnish Forest Research Institute, Joensuu Research Station, Box 68, SF-80101 Joensuu, Finland. *Liukkonen*: The Finnish Forest Research Institute, Department of Forest Protection, Box 18, SF-01301 Vantaa, Finland.

ISBN 951-40-1000-0
ISSN 0015-5543

Helsinki 1988. Valtion painatuskeskus

1. ILMAN EPÄPUHTAUDET JA NIIDEN VAIKUTUS TUHONAIHEUTTAJIEN ISÄNTÄKASVEIHIN

Tämänhetkisen tietämyksen mukaan tärkeimmät metsäpuihin vaikuttavat ilman epäpuhtaudet ovat rikin ja typen oksidit, fluoriyhdisteet sekä otsoni. Useat muutkin ilmassa esiintyvät aineet saattavat olla puille haitallisia. Metsäkuolemiin liittyy myös sellaisia kemikaaleja, joihin ei vielä kiinnitetä juurikaan huomiota. Esimerkiksi mono- ja dinitrofenoleita, joista jälkimmäisiä käytetään rikkakasvien torjunta-aineina, saattaa muodostua myös ilmakehässä tapahtuvien reaktioiden seurauksena (Giger 1986).

Vuonna 1982–1983 oli rikin kokonaislaskeuma (koti- ja ulkomainen laskeuma yhteensä) Etelä-Suomen tausta-alueilla päästötietojen mukaan mallitettuna 1500–2000 mg/m², ja Lapissa n. 400 mg/m² rikkiä vuodessa. Laskeuma-arvot ovat Etelä-Suomessa 5–10 kertaiset luontaiseen laskeumatasoon verrattuna (Nordlund ym. 1985). Uusimpien päästötietojen mukaiset laskeumamallit näyttäisivät osoittavan, että Itä-Lapin laskeuma kohoaa 600–800 mg/m²:n tasolle (Ilmatieteen...1988). Vesihallituksen mittausten perusteella rikkilaskeuma oli vuosina 1971–1982 maan eteläisimmässä osassa 800–1200 mg/m², ja Lapissa 200–500 mg/m². Ilman rikkipitoisuuden tausta-arvot olivat 0,005–0,01 mg/m³, kaupunki-alueilla 0,01–0,116 mg/m³. Kaupunki-ilmassa rikin päivittäiset huippuarvot saattoivat kohota jopa 1 mg/m³ -tasolle (Ilmanlaatu työryhmän... 1979). Puille aiheutuu hienorakennevaurioita jo 0,015 mg/m³/v pitoisuudessa, mutta selvät vauriot ilmenevät 0,025–0,03 mg:n kohdalla. Typen oksidien päästöt Suomessa 1980-luvun alussa ovat olleet 250–290 000 tn/vuosi typpi-dioksidiksi (NO₂) laskettuna (Typen oksidien... 1986). Vesihallituksen mittausten mukaan kokonaistypen kuukausilaskeuma vuosina 1971–1982 oli Etelä-Suomessa 43–86 mg/m² ja Pohjois-Suomessa 13–35 mg/m². Sadeveden pH:n kuukausikeskiarvot olivat 4,4–5,7 (Järvinen 1982). Ilman otsonipitoisuuden mittausta Suomessa on vasta aloitettu Ilmatieteen laitoksella. Utössä ja Ähtärissä suoritettujen mittausten perusteella pitoisuudet ovat ajoittain olleet yllättävän korkeita, samaa luokkaa tai jopa korkeampia kuin muissa Pohjoismaissa ja muualla Euroopassa mitatut (Lättilä 1987). Saksassa

rikkidioksidin määrien kuukausikeskiarvot (taustapitoisuudet) ovat esim. Baijerin alueella 0,009–0,02 mg/m³. Hetkelliset huippuarvot voivat olla 1,5 mg/m³. Pahimmin saastuneilla alueilla keskiarvot ovat noin 0,07 mg ja huiput noin 1,8 mg. Otsonipitoisuuksien kuukausikeskiarvot ovat Saksassa yleisimminkin 0,07–0,11 mg/m³:n välillä. Muutaman tunnin ajaksi päivällä pitoisuus voi nousta 0,2–0,3 mg tasolle. Sadeveden happamuuden kuukausikeskiarvot ovat noin 3,8–4,9 pH-yksikköä (Prinz ym. 1982, Krause ym. 1985a, 1985b, Osswald ja Elstner 1986).

Epäpuhtauksien metsäpuille aiheuttaman rasituksen synnystä on useita teorioita. Vaikutukset voidaan jakaa suoriin ja epäsuoriin. Epäpuhtaudet voivat muuttaa isäntäkasvin rakennetta, elintoimintoja tai kemiallista koostumusta. Vauriot alkavat biokemiallisilla ja fysiologisilla vaikutuksilla. Vasta sen jälkeen seuraavat solun hienorakenteen ja ulospäin näkyvät vauriot. Bioottisten tuhojen synnyn kannalta monenlaiset epäpuhtauksien vaikutukset voivat olla merkittäviä, kuten esimerkiksi vaikutus neulasten pintarakenteeseen, kaasumaisien epäpuhtauksien sisäänotto sekä vaikutus solujen hienorakenteeseen ja fysiologiaan. Vesi- ja ravinnetalouden häiriöt ovat tärkeimpiä tekijöitä, jotka lisäävät vioittuneiden puiden alttiutta tai sopivuutta tuhonaiheuttajien ravinto- ja lisääntymismateriaaliksi.

Suora vaikutus kohdistuu puihin pääasiassa lehtien ja neulasten kautta. Tällä tavoin vaikuttavia ilman epäpuhtauksia ovat mm. otsoni ja typen oksidit. Ensiksi vaurioituvat heti päällysketon alla, lähellä ilmarakoa tai endodermia olevat neulasten solut ja sen jälkeen mesofyllisolut. Viherhiukkasten kalvojen rakenteen muutokset ovat ensimmäisiä näkyviä hienorakennemuutoksia. Vasta myöhemmin näkyy solun sisällön paakkuuntuminen ja lopuksi soluseinien hajoaminen (Soikkeli ja Kärenlampi 1984). Havupuiden neulasissa ilmansaastevauriot näkyvät myöhemmin tunnusomaisesti mesofyllin solujen hajoamisena sekä johtojänteiden epämuodostumisena (Stewart ym. 1973).

Rikkidioksidin ja sen muutunnaisten suorasta vaikutuksesta monet entsyymitoiminnot estyvät, lehtivihreätä tuhoutuu, aminohappojen

määrä nousee neulasproteiinien hajotessa sekä lipidien ja liukoisten sokerien määrä nousee. Otsoni lisää tärkkelyksen ja liukoisten sokerien määrää sekä fenoliaineenvaihduntaan osallistuvien entsyymien (esim. peroksidaasien) määrää neulasissa, mutta vähentää näitä juuristossa. Epäpuhtauksien aiheuttamien biokemiallisten muutosten merkitys esimerkiksi sieni-infektioiden kannalta on vielä huonosti tunnettu. Otsoni voi lisätä muidenkin taudinaiheuttajille myrkyllisten aineiden kuin fenolien (esim. iso-flavonoidien) määrää kasvissa (Laurence ja Wood 1978a, 1978b). Toisaalta Osswald ym. (1986) havaitsivat otsonikaasutuksen vähentävän sienille myrkyllisen p-hydroksiasetofenonin määrää kuusen neulasissa. Suotuisissa ympäristöolosuhteissa rikkidioksidi lisännee ilmarakojen aukeamista (Malhotra ja Khan 1984), joskin ilmarakojen toimintaa rikkidioksidi-altistuksessaakin säätelee hyvin monimutkainen järjestelmä. Keller ja Hässler (1986) havaitsivat latentin rikkidioksidivaurion hidastavan kuusen ilmarakojen normaalia reagoitua valoon. Tämäntyyppinen ilmiö voi paitsi lisätä haihduntaa myös edistää tauteja aiheuttavien sienten tunkeutumista kasviin (Mansfield ja Majerik 1970). Lehtivihreän tuhoutuminen otsonialtistuksessa vähentää yhteyttämistä ja heikentää puita (esim. Cobb ja Stark 1970). Otsoni hapettaa mm. kalvojen osasia (Malhotra ja Khan 1984). Kalvojen läpäisevyyden lisääntyminen edistää ionien huuhtoutumista. Tästä voi lopuksi olla seurauksena ravinteiden puutostiloja ja lyhytjuurten tuhoutumista. Otsonin ja happaman sateen yhteisvaikutuksen on havaittu olevan puille tässä suhteessa haitallisempaa kuin pelkän otsonin. Lyhytaikainen korkea otsonialtistus yhdessä happaman sateen kanssa voi aiheuttaa ionien huuhtoutumista kuusen neulasista ilman että syntyy näkyviä vaurioita tai että yhteyttäminen heikkenee (Krause ym. 1985a, 1985b). Ravinteiden puute voi vaikuttaa mm. kuusen passiiviseen vastustuskykyyn juurikääpää vastaan, mistä on viitteitä mangaanin puutostilojen osalta (Wenzel ja Kreutzer 1971).

Typen oksidit voivat joko kiihdyttää tai vähentää yhteyttämistä, aiheuttaa viherhiukkasten kalvojen turpoamista, kiihdyttää aminohappojen muodostumista, estää lipidien synteesiä sekä lisätä peroksidaasiaktiivisuutta (ref. Malhotra ja Khan 1984). Typen oksidit ja rikkidioksidi muuttavat neulasten pintakelmun pintavahan rakennetta ja koostumusta. Ne nopeuttavat neulasten pintavahan luontaista kulumista (Schütt ja Schuck 1972, Grill 1973, Shriner 1977, Huttunen ja Laine 1983), jolloin

sekä ravinteiden (erityisesti kalsiumin ja magnesiumin) huuhtoutuminen että kuivuusriski kasvavat. Nämä tekijät yhdessä voivat lisätä puiden alttiutta sienitaudeille (Shriner 1980). Esimerkiksi Kazda ja Glatzel (1986) havaitsivat Saksassa luontaisen happaman sateen kuluttaneen kuusen neulasten vahakerrosta. Käsitteilyn jälkeen ruskettuvien neulasten tyvellä havaittiin tunnistamaton sieni-infektio. Suoraa yhteyttä pintavahojen kulumisen ja sieni-infektioiden lisääntymisen välillä ei vielä ole todistettu. Sienet pystyvät yleisesti hajottamaan neulasten vahakerroksen alla olevaa kutiinerrosta, mutta vain harvat itse vahakerrosta. Vahakerroksen kuluminen voi helpottaa sienten mahdollisuuksia päästä hajottamaan kutiinerrosta (Cooke ja Rayner 1984).

Epäsuora vaikutus kohdistuu puihin lähinnä maan kautta. Tärkeimpänä mekanismina, joka vaikuttaa puiden vesitalous- ja/tai ravinneongelmiin, pidetään joko typen määrän muutoksia maassa, ravinteiden huuhtoutumista tai raskasmetallien (erityisesti alumiinin) vaikutusta (Zöttl 1985). Hapan sade saattaa aiheuttaa alumiinin ja magnesiumin vapautumista metsämaassa. Näiden ionien ylimäärä voi tuhota hienojuuria. Hienojuurten tuhoutuminen taas lisää puiden herkkyyttä kuivumiselle ja saattaa edesauttaa juuripatogeenien pääsyä juurisolu-koihin (Schütt 1981a, Ulrich 1981).

Suomen ankarat talviolosuhteet muodostavat puille lisästressin. Lisäksi puiden alkupe- rällä saattaa maamme olosuhteissa olla huomattava merkitys männyn ja kuusen talviaikaisten ilmansaastevaurioiden kestävyyyteen (Huttunen 1978). Lannoitetehtaan lähellä kasvaneiden kuusten fluori- ja typpivauriot ovat vaikuttaneet epäedullisesti tärkeisiin kylmänkestävyystekijöihin neulasissa kuten osmoottiseen potentiaaliin, vesipotentiaaliin, puskuri- kykyyn ja solukon happamuuteen (Huttunen ym. 1981).

Ilman epäpuhtauksien vaivaamilla alueilla hyönteisten on havaittu karttavan euroopan- mustamäntyä (*Pinus nigra* Arn.), banksinmäntyä (*Pinus banksiana* Lamb.) ja pikimäntyä (*Pinus rigida* Mill.) (Sierpinski 1966, Schneider ja Sierpinski 1967, Sierpinski 1969). Näistä pikimäntä osoittautui täysin vastustuskykyiseksi männynsilmuikoita (*Exoteleia dodecella* L.) vastaan (Sierpinski 1962). Saasteettomalla alueella männynsilmuikoin lähisukulainen, *Exoteleia pinifoliella* (Chamb.), sen sijaan jopa suosi pikimäntyä (Bennett 1954). Nämä havainnot johtunevat osittain siitä, että ilman epäpuhtaudet voivat vaikuttaa puiden tuhohyönteisiä karkot-

tavien ja houkuttelevien aineiden määriin. Esimerkiksi ilman epäpuhtauksien aiheuttama pintakelmun syöpyminen vaikuttaa neulasista erittyvien helposti haihtuvien öljyjen määriin (Godzik ja Sassen 1978). Tällaisia haihtuvia öljyjä ovat mm. terpeenit, joista monoterpeenit ovat varsinaisia terpeenejä. Renwickin ja Potterin (1981) mukaan palsamipihdan (*Abies balsamea* (L.) Mill.) neulasten haihtuvien terpeenien erityksen lisääntyminen vaikutti hyönteisten isäntäkasvin valintaan. Suomessa tehdyn tutkimuksen mukaan pääasiassa rikkidioksidille ja fluoridille alttiina olleilla alueilla männyn neulasten haihtuvan öljyn määrä lisääntyi saastuneimmalla alueella. Suurimmat erot männyn neulasten monoterpeenikoostumuksissa eri vaurioluokkien välillä olivat kamfeenin, betapineenin, myrseenin ja trisykleenin määrissä (Lehtiö 1981). *Dendroctonus pseudotsugae* Hopkins -nilurilajilla alfa- ja betapineeni, limoneeni, kamfeeni, geranioli ja terpineoli-terpeenit liittyvät mahdollisesti isäntäkasvin houkuttelevuuteen (Rudinsky 1966). Puuaineen monoterpeenikoostumuksessa Miller ym. (1968) eivät havainneet selviä muutoksia vaurioituneiden ja vaurioitumattomien puiden välillä. Terpeenit voivat vaikuttaa myös puiden alttiuteen erilaisille taudeille. Versosyöpäsienä (*Ascochyta abietina* Schläpfer-Bernhard) vastaan kestävillä mustamäntyklooneilla Stephan ym. (1984) havaitsivat suuremmat limoneeni- ja myrseenipitoisuudet kuin taudille altteilla klooneilla.

Ilman epäpuhtaudet vaikuttavat myös neulasten ja kuoren kykyyn vastustaa patogeenisten sienten aiheuttamaa happamuuden muutosta. Suuren puskurointikykyyn on havaittu parantavan männyn karstesienen (*Lophodermium pinastri* (Schrad. ex Fr.) Chev.) (Scholz ja Stephan 1974) sekä mustamännyn versosyöpäsienen kestävyttä (Stephan ja Scholz 1979).

Havupuiden neulasten pihkatiehyet saattavat Huttusen (1975) mukaan vahingoittaa ilman epäpuhtauksista. Runsas pihkavirtaus voi vaikeuttaa *Exoteleia pinifoliella* -koiperhostoukien neulasten syöntiä ja jopa tappaa toukkia (Bennett 1954).

Cobbin ym. (1968) tutkimuksessa foto-oksianttien, lähinnä otsonin, aiheuttamien vaurioiden vaikutuksesta ponderosamännyn (*Pinus ponderosa* Laws.) pihkan tiheys paine heikkeni ja pihkan määrä väheni. Pihkan kiteytyminen sitä vastoin lisääntyi vaurioasteen kasvaessa. Nämä tekijät saattoivat vähentää puiden kykyä estää hyönteisten tai sienten iskeytymis-

tä (Rudinsky 1966, James ym. 1980a). Foto-oksianttien vaurioittamien puiden on havaittu altistuneen mm. juurikäävälle (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) ja sinistäjäsenille (Lackner ja Alexander 1983). Toisaalta puunrunkojen mantopuun ja johtosolukon kosteuspitoisuudet alenivat ja johtosolukko oheni foto-oksianttivaurioiden vaikutuksesta (Cobb ym. 1968). Tällöin eräs nilurilaji, *Dendroctonus ponderosae* Hopkins, lopetti muninnan (Reid 1962). Puiden vaurioituminen helpotti kaarna-kuoriaisten iskeytymistä puihin, mutta heikensi samalla puiden sopivuutta kuoriaisten lisääntymisalustaksi (Cobb ym. 1968).

Kosteuden muutokset voivat edistää sieninfektioita (havaintoja lähinnä vaahteran taudeista Englannista). Joissain tapauksissa puun nopeasti kuollessa äkillinen kuivuminen on sienille vahingollista (Cooke ja Rayner 1984). Puun kokonaiskosteuspitoisuuden aleneminen voi johtua reaktiopuun kehittämisestä puuhun, mistä on havaintoja lähinnä saksanpihdalta (*Abies alba* Mill.). Erityisen haitallinen ilmiö on silloin, kun se ei rajoitu sydänpuuhun, vaan leviää myös mantopuuhun. ”Patologisen” reaktiopuun muodostuminen vähentää merkittävästi puun vettä johtavaa pinta-alaa erityisesti rungon ja juurten tyviosassa. Muodostuminen alkaa hieno- ja karkeajuurten vaurioista. Terveet puut pystyvät yleensä pysäyttämään sen etenemisen (Brill ym. 1981, Schuck 1981, Schütt 1981b).

Epäpuhtauksien vaikutus bioottisiin metsätuhoihin ei määrydy niinkään suorista vaikutuksista tuhonaiheuttajiin, vaan puiden yleinen heikentyminen tai niiden fysiologiset muutokset parantavat merkittävästi eräiden ryhmien elinmahdollisuuksia. Tuholaiset vaikuttavat puissa samaan suuntaan kuin ilmansaastevauriotkin eräänlaisella takaisinkytkentämekanismilla: heikentävät puita samalla kun epäpuhtauksien heikentämät puut tarjoavat niille helpommin käytettävissä olevan ravintolähteen. Tuholaiset (kuten kaarnakuoriaiset) saattavat lopullisesti tappa heikentyneet puut.

Sekä bioottisten että abioottisten tuhojen synty riippuu huomattavasti sääoloista. Krausen ym. (1985b) mukaan puita ilmansaastevaurioille altistavia tekijöitä ovat erityisesti kuivuus ja hallat (yhdistyneenä suuriin ja nopeisiin lämpötilan muutoksiin kuten 1978/79 sekä keväällä 1981). Puiden heikentymisen ja esimerkiksi sääolosuhteiden johdosta alkuunpäässyt tuhoepidemia voi levitä voimakkaasti, vaikkei laskeumatilanne enää pahenisikaan.

2. VAIKUTUS HYÖNTEISTUHOIHIN

21. Yleistä

Smithin (1981) mukaan ilman epäpuhtaudet voivat vaikuttaa metsähyönteisiin joko suorasti tai epäsuorasti. Suoria vaikutustapoja on nimetty kuusi: hyönteisten kasvunopeuden muuttuminen, mutaatioiden lisääntyminen, vaikutus hyönteisten levinneisyyteen, lisääntymiskyvyn parantuminen tai heikentyminen, vaikutus kuolleisuuteen ja lisääntymiskumppanin löytymiseen. Epäsuorasti ilman epäpuhtaudet saattavat alentaa puiden hyönteistuhojen sietokykyä tai vähentää herkimpien petojen ja loisten määriä.

Führerin (1985) mukaan tiettyjen hyönteisten runsaampi esiintyminen päästölähteen välittömässä läheisyydessä voi johtua näiden lajien kyvystä sietää epäpuhtauksia tai niiden erikoisista elintavoista. Sierpinski (1984) on todennut, että sellaiset hyönteislajit, jotka sietävät suuria epäpuhtauspitoisuuksia, elävät tavalla tai toisella piilossa (oma suojaverkko, vahapeite, suojakilpi, piiloutuminen isäntäkasvin suojaan) eivätkä ne joudu suoranaisesti kosketuksiin ilman epäpuhtauksien kanssa.

Hyönteislajeja, jotka sopisivat bioindikaattoreiksi vain jollekin tietylle ilman epäpuhtaudelle, on ollut hankala löytää, sillä sellaisia alueita, joilla saasteet tulevat vain yhdestä pistemäisestä lähteestä on vähän. Tutkimusalueet ovat nykyään monen eri saastelähteen vaikutuksen alaisina. Tällöin eri aineiden yhteisvaikutukset ovat vallitsevia eikä yksittäisen epäpuhtauden osuutta jonkin hyönteislajin esiintymiseen tai katoamiseen voida varmuudella osoittaa. Yksittäisen epäpuhtauden vaikutusten tutkiminen on mahdollista ainoastaan laboratoriokeissa. Hyönteisiä tutkittaessa on myös muistettava lajien luontaiset vuotuiset kannanvaihtelut.

Saastuneisuuden voimakkuuden astetta jollain tavalla indikoivia tuhohyönteislajeja on ulkomailla kuitenkin löydetty muutamia (taulukko 1). Niillä hyönteislajeilla, jotka esiintyvät runsaina saastuneilla alueilla, on usein joko pistävät tai imevät suuosat tai ne elävät piiloutuneina esimerkiksi isäntäkasvin silmuihin, versoihin, runkoon tai lehtiin.

Suomessa saasteiden vaikutuksia hyönteisiin on tutkittu erittäin vähän. Hyönteisten osalta on vasta selvitetty tai ollaan selvittämässä punalatkan, pihkakääriäisen sekä eräiden kirva-, pistiäis- ja perhoslajien reagointia ilman epäpuhtauksiin.

22. Petohyönteiset ja loiset

221. Petohyönteiset

Puolassa Ylä-Silesian ja Krakowan teollisuusalueilla tehdyissä tutkimuksissa huomattiin, että petohyönteisten osuus kaikista tavatuista hyönteisistä oli melko suuri. Esimerkiksi männyllä (*Pinus sylvestris* L.) näiden osuus oli 36,2 %, kun taas kasveja syövien osuus oli vain 14,1 %, loisten 1,0 % ja muiden 48,7 %. Tavatuista petohyönteisistä hämähäkit olivat muita alttiimpia teollisuuden saasteille (Sierpinski ja Chlodny 1977). Esimerkiksi Katayevin ym. (1983) mukaan alumiinitehtaan läheisyys vaikutti hämähäkkien kokoa pienentävästi. Flückiger ym. (1978) ovat myös esittäneet, että lyijypitoisuuden nousu pedoissa maanteiden varsilla vähentäisi niiden lukumääriä. Clausenin (1984) tutkimuksissa hämähäkkien koko tai esiintymistiheys ei kuitenkaan näyttänyt olevan riippuvainen rikkidioksidin ja lyijyn pitoisuuksista.

Lyijyn lisäksi on tutkittu petohyönteisten fluoripitoisuuksia. Korkeimmat pitoisuudet olivat muurahaisissa, 170 ppm kuivapainosta (Dewey 1973). Fluorin myrkyllisyys hyönteisille perustuu sen taipumukseen muodostaa hyönteisen elimistössä olevan kalsiumin kanssa liukenemattomia suoloja. Suolanmuodostus joko rajoittaa tai estää kokonaan kalsiumin normaalin biologisen tehtävän elimistössä ja hyönteinen kuolee (Weismann ja Svatarakova 1974). Dewey (1973) on päätellyt fluorin kerääntyvän hyönteisiin paitsi kasviravinnosta, myös hengitysteitse tai ravintoketjun kautta.

Puolassa on tutkittu myös sinkkioksidien, sulfaatin, pölyn ja rikkidioksidin vaikutusta petohyönteisiin. Rauduskoivulla elävät leppäpirkkolajit lisääntyivät ilman epäpuhtauksien lisääntyessä. Seitsemästatoista löydetyistä lajista yleisimmät olivat: kaksipistepirkko (*Adalia bipunctata* (L.)), seitsenpistepirkko (*Coccinella septempunctata* L.) ja ruutupirkko (*Propylaea quatuordecimpunctata* (L.) = *Clavia quatuordecimpunctata* (L.)) (Chlodny 1977).

Chlodнын (1983a) myöhemmissä tutkimuksessa entomofagien (hyönteisiä ravintonaan käyttävien selkärangattomien) kokonaistiheys rauduskoivun latvustossa nousi aluksi rikkidioksidin ja pölyn määrän kasvaessa, mutta kääntyi sitten laskuun. Pahoin saastuneilla alueilla leppäpirkkojen tiheys laski vähemmän kuin hä-

Taulukko 1. Epäpuhtauksien vaikutusten alaisina olevilla metsäalueilla runsaana esiintyviä hyönteislajeja ryhmittäin (Sierpinski 1968, Thalenhorst 1972, Przybylski 1974, Chlodny 1977, Wiackowski 1978, Sierpinski 1980, Villemant 1981, Capecki 1982, Bazire 1983, Chlodny 1983b, Sierpinski 1984).

Table 1. Insects that occur frequently in forest stands affected by air pollution (Sierpinski 1968, Thalenhorst 1972, Przybylski 1974, Chlodny 1977, Wiackowski 1978, Sierpinski 1980, Villemant 1981, Capecki 1982, Bazire 1983, Chlodny 1983b, Sierpinski 1984).

1. Kirvat		4. Kärsäkkäät	
<i>Cinara pini</i> (L.)	männynoksakirva	<i>Strophosomus</i> (= <i>Strophosoma</i>)	
<i>C. pinea</i> (Mordv.)	männynversokirva	<i>capitatum</i> (Deg.)	keräkärsäkäs
<i>Eulachnus agilis</i> (Kalt.)		= <i>Strophosoma rufipes</i> Steph.	
<i>Schizolachnus pineti</i> (F.)		<i>Pissodes piniphilus</i> (Hbst.)	latvapikikärsäkäs
= <i>Schizolachnus tomentosus</i>	nukkaneulaskirva	5. Muut kovakuoriaiset	
<i>Sacciphantes abietis</i> (L.)		<i>Phaenops cyanea</i> F.	sinikuoriainen
= <i>Adelges abietis</i> (L.)	isohavukirva	<i>Acanthocinus aedilis</i> L.	sarvijaakko
<i>Dreyfusia nordmanniana</i> (Eckst.)	jalokuusikirva	Eräät leppäpirkkolajit	
= <i>Adelges nordmanniana</i> (Eckst.)		6. Luteet	
= <i>Dreyfusia niüsslini</i> (Bömer)		<i>Aradus cinnamomeus</i> (Panz.)	punalatikka
2. Pikkuperhoset		7. Ripsiäiset	
<i>Zeiraphera diniana</i> (Gn.)	havukääriäinen	<i>Taeniothrips laricivorus</i>	
<i>Exoteleia dodecella</i> (L.)		Krat. = <i>Taeniothrips pini</i> (Uzel)	lehtikuusiripsiäinen
= <i>Heringia dodecella</i> (L.)	männynsilmukoi	8. Sääsket	
<i>Rhyacionia buoliana</i> (Den. & Schiff.)	männynversokääriäinen	<i>Thecodiplosis brachyntera</i> (Schwg.)	töponeulassääski
<i>Petrova resinella</i> L.	pihkakääriäinen	9. Kudospistiäiset	
<i>Coleophora fuscedinella</i> Zell. = <i>Coleophora serratella</i> (L.)	omenanpussikoi	<i>Cephalcia falleni</i> Dalm.	
<i>Dioryctria mutata</i> Fuchs.	versokoisa	10. Puupistiäiset	
<i>Blastesthia turionella</i> (L.)	männynsilmukääriäinen	<i>Sirex</i> spp.	
<i>Tortrix viridiana</i> L.	tammikääriäinen	11. Kehrääjät	
3. Kaarnakuoriaiset		<i>Thaumatopeoa pityocampa</i> Den. & Schiff.	kulkuekehrääjä
<i>Tomicus piniperda</i> (L.)		12. Loispistiäiset	
= <i>Blastophagus piniperda</i> (L.)	pystynävertäjä	Eräät Ichneumonidae, Chalcididae ja Braconidae	-pistiäislajit
<i>T. minor</i> (Htg.) = <i>Blastophagus minor</i> (Htg.)	vaakanävertäjä		
<i>Ips typographus</i> (L.)	kirjanpainaja		
<i>I. acuminatus</i> (Gyll.)	okakaarnakuoriainen		
<i>Trypodendron lineatum</i> (Oliv.)	havutikaskuoriainen		
<i>Dendroctonus micans</i> (Kugel.)	ukkoniluri		

mähäkien. Erilaisiipisiä sekä sylkikuoriaisia (Cantharidae) esiintyi suhteellisen runsaasti saastuneimmilla alueilla, sen sijaan muurahaisia vähemmän. Wiackowskin (1978) tutkimusten mukaan pölyn ja rikin saastuttamalla alueella kirvojen petohyönteisten (nelipiste-pirkko (*Exochomus quadripustulatus* L.), seitsempistepirkko ja viisipistepirkko (*C. quinque-punctata* L.)) lukumäärä kasvoi saastelähteestä pois päin mentäessä.

Epäpuhtauksien vaikutuksesta petohyönteisiin ei ole päästy yksimielisyyteen. Petohyönteisiä on saatettu löytää runsaastikin teollisuusalueilta, mutta tienvierustoilta sitä vastoin vähän. Eniten on tutkittu mähäkkeitä ja eräitä leppäpirkkoja.

222. Loiset

Puolassa todettiin *Trichogramma embryophagum* (Htg.) -kiilukaislajin loisineen 60 % männynversokääriäisen munista teollisuuspäästöjen saastuttamalla alueella (Sierpinski 1967). Norjassa Hågvarin ym. (1976) tutkimuksessa jopa 77 % männynsilmukoin toukista oli loisittuja. Hyönteispopulaatiossa on kuitenkin tyypillistä, että loisinta-aste on korkea isäntälajin populaation jyrkän laskun jälkeen. Sierpinkin (1962) tutkimuksen mukaan rikkiyhdisteet vähentävät loisia. Finneyn ja Fisherin (1964) sekä Alstadin ym. (1982) mukaan loispistiäiset ovat herkkiä pölylle. Erityisesti mineraalipölyt heikentävät epikutikulaarista vahakerrosta (Bart-

lett 1951). Herkästi absorboivat pölyt estävät vaharasvaerityksen ja voivat aiheuttaa suurtenkin hyönteisten nopean kuivumisen ja kuoleman (Ebeling 1971). Sierpinski ja Chlodny (1977) ovat löytäneet Ichneumonidae, Chalcididae ja Braconidae -pistiäisloisia saastuneilta Puolan teollisuusalueilta. Samoin Wiackowski (1978) on löytänyt näihin pistiäisryhmiin kuuluvia loisia männynsilmuikoilta pölyn ja rikin saastuttamalta alueelta Puolassa. Tärkeimmät männynsilmuikoin loiset olivat: *Pristomerus orbitalis* Hlmgr., *Apanteles lamerie* Nix. ja *Macrocentrus buolianae* Eady Clark. Vuonna 1967 männynsilmuikoista oli loisittu sekä saastealueella että vertailualueella keskimäärin 30 %, mutta vuonna 1968 saastealueella oli loisittu jopa enemmän kuin vertailualueella. Tulos saattoi johtua siitä, että männynsilmuikoi esiintyi v. 1968 erityisen runsaana saastealueella.

Suomessa Heliövaara ym. (1982) ovat tutkineet punalatkan loispistiäistä, erästä keripistiäislajia (*Telenomus aradi* Kozlov) yksittäisen saastelähteen ympäristössä. Lajia ei tavattu aivan tehtaan välittömässä läheisyydessä. Loisittujen munien osuus tehtaan lähellä oli vain puolet siitä, mitä se oli 2,5 kilometrin päässä.

Loisilla on tärkeä merkitys hyönteiskantojen säätelyssä, ja niitä on luultu erityisen herkiksi erilaisille epäpuhtauksille. Tutkimuksissa on kuitenkin selvinnyt, että tietyt pistiäisloiset pysyvät elämään saastuneilla alueilla.

23. Lehti- ja neulastuholaiset

231. Lehtiä ja neulasia imevät

Pelkästään lehtiä ja neulasia imevien hyönteisten lisäksi seuraavassa käsitellään kirvojen osalta myös oksia tai runkoja imeviä lajeja.

Neuvostoliitossa todettiin erään metallitehtaan ja kaupungin ympäristössä tehdyssä tutkimuksessa, että hyönteiset, joilla on pistävät tai imevät suuosat, olivat saastuneimman alueen yleisin hyönteisryhmä. Niiden osuus kaikista alueen hyönteislajeista oli 53,6 % (Barannik 1979).

Isohavukirvan (*Sacciphantes abietis* L.) aiheuttamia äkämia on runsaasti erityisesti fluorin saastuttamilla alueilla (Thalendorst 1972). Kuusen kudoksissa näkyvät puolustusmekanismit isohavukirvan imentää vastaan heikkenivät neulasten fluoripitoisuuden kasvaessa, mikä

paransi kirvojen elinmahdollisuuksia (Thalendorst 1975).

Moottoritien läheisyys on lisännyt tylppäliuskaoraphilajassa (*Crataegus monogyna* Jacq.) elävän omenakirvan (*Aphis pomi* Deg.) määrää. Syiksi on esitetty muuttuneita mikroilmasto-oloja tai epäpuhtauksien vaikutusta isäntäkasvin kemialliseen koostumukseen (Flückiger ym. 1978).

Puolassa teollisuuden saastuttamilla alueilla kirvalajit isohavukirva, *Cnaphalodes abietis* H.Lw., kuusenversokirva (*Cinara pilicornis* Htg.) ja *Aspidiotus abietis* H.Lw. esiintyivät runsaina kuusimetsissä (*Picea abies* (L.) Karst.) (Sierpinski 1980). Pölyn ja rikin saastuttamalla teollisuusalueella esiintyi nukkanekulaskirvaa runsaasti saastelähdettä lähinnä olevilla alueilla (Wiackowski 1978). Ranskassa tavallisella männnyllä esiintyneistä kirvoista männynoksakirva, männynversokirva ja yleisin laji, *Eulachnus agilis* (Kalt.), olivat runsaslukuisimmat rikkidioksidin ja fluorin saastuttamilla alueilla. Sitä vastoin nukkanekulaskirva ja mäntykirva (*Pinus pini* (Macq.)) esiintyivät näillä alueilla vähälukuisina (Villemant 1981).

Charles ja Villemant (1977) ovat sitä vastoin todenneet, että pyökkikilpikän (*Cryptococcus fagi* Baer) esiintymisrunsaus ei riipu ilman epäpuhtauksista. Myöskään Carlson ja Dewey (1971) eivät havainneet yhteyksiä *Phenacaspis pinifoliae* (Fitch) -kirvan runsauden ja neulasten fluoripitoisuuksien tai *Nuculaspis californica* (Coleman) -kirvan ja ilman fluoripitoisuuden välillä. Edmunds (1973) on myös arvostellut kiivaasti tutkimuksia, joissa kirvojen määrän on esitetty korreloivan ilman fluoripitoisuuden kanssa. Sierpinski (1972) mukaan kroonisesti ilman epäpuhtauksista kärsivällä metsäalueella vallitsevat olosuhteet (suuri klooripitoisuus) ovat suosittaisi mannyssä elävälle havupunkille (*Paratetranychus ununguis* (Jacobi) = *Oligonychus ununguis* (Jacobi)).

Suomessa ilman epäpuhtauksien vaikutuksia kirvoihin ovat tutkineet Neuvonen ym. (1987) lajina *Betulaphis quadrituberculata* Kaltentbach sekä Kainulainen ym. (1987), lajina kuusenversokirva. Neuvosen ym. (1987) tutkimuksessa kirvat lisääntyivät parhaiten, kun puita kasteltiin vedellä, jonka pH oli 3. Kainulaisen ym. (1987) altistuskokeissa havaittiin, että fluori lisäsi kirvojen kokonaismääriä merkittävästi, mutta rikki- ja typpikäsittelyillä ei ollut juuri vaikutusta kirvakantojen suuruuteen.

Karkeasti yleistäen saastuneella alueella menestyvät parhaiten sellaiset hyönteiset, joilla on pistävät tai imevät suuosat, kuten juuri kirvat.

Niiden ravinnonotto ei vaikeudu, vaikka lehtien pinta peittyisi ilman epäpuhtauksista, ja vioittuneiden puiden ravintokoostumus saattaa olla niille jopa edullisemmässä muodossa kuin normaalisti.

232. Lehtiä ja neulasia syövät

Sierpinski (1979) mukaan lehtiä syövät hyönteiset esiintyivät kaikkein runsaimpina teollisuusalueilla, joilla oli tyypipäästöjä. Esimerkkilajeina hän mainitsi tammikäriäisen, hallamittarin (*Operophtera brumata* (L.) = *Cheimatobia brumata* (L.)), ison pakkasmittarin (*Erannis defoliaria* (Cl.) = *Hybernia defoliaria* Hcl.) ja isokehrääjäkoin (*Hyponomeuta cognatella* (Tr.) = *Yponomeuta cognatella* (Hb.)). Teollisuuden saastuttamilla alueilla myös neulasmääriäisiä (*Epinotia tedella* Cl.) esiintyi runsaana (Sierpinski 1980). Schnaider ja Chlodny (1977) havaitsivat, että töpöneulasääski ja neulaskärsäkäs (*Brachonyx pineti* (Payk.)) olivat yleisiä pahoin saastuneilla alueilla. Sierpinski (1979) havaintojen mukaan töpöneulasääskeä esiintyi kuitenkin vähemmän fluorisaasteisissa kuin rikkisaasteisissa metsissä.

Erityisesti rikkidioksidipäästöjen määrää indikoiva oli Chlodny ja Styfi-Bartkiewiczin (1982) mukaan rauduskoivulla (*Betula pendula* Roth = *Betula verrucosa* Ehrh.) elävä keräkäräkäs. Tämä laji oli runsain alueilla, missä keskimääräinen rikkidioksidipitoisuus oli alle 0,09 mg/m³.

Toinen hyönteislaji, jonka runsaus korreloi hyvin ilman rikkidioksidipitoisuuden kanssa, oli omenanpussikoi. Tämän lajin talvehtivien toukkien, keväällä syövien toukkien ja syötyjen koivunlehtien lukumäärät olivat suurimmat sellaisella alueella, missä rikkidioksidipitoisuus oli korkein (Chlodny 1983b).

Sierpinski (1967) mukaan kasvinsyöjähyönteisten määrä ei ole riippuvainen ilman rikkidioksidipitoisuudesta. Vuonna 1968 erällä puhtaan ilman alueilla havununnaa (*Lymantria monacha* (L.)) esiintyi hänen mukaansa ajoittain hyvinkin runsaana. Vuosia myöhemmin hän mainitsi päinvastaisen ilmiön: havununnan sekä tähtikudospistiäisen (*Acantholyda nemoralis* Thoms. = *Acantholyda osticalis* Mats.) ja *Diprion*-suvun havupistiäisten määrät olivat tällä kertaa lisääntyneet ilman epäpuhtauksien rasittamisessa vanhoissa metsissä (Sierpinski 1980).

Kuusenneulaspistiäisen (*Pristiphora abietina* (Christ) = *Pristiphora pini* (Retz.)) runsas esiintyminen saattaa olla jossain määrin riippuvainen ilman epäpuhtauksista, erityisesti rikistä (Wentzel ja Ohnesorge 1961). Tsekkoslovakiassa havukääriäinen (*Zeiraphera diniana* (Gn.)) on esiintynyt runsaana kuudessa mm. Erzgebirgen saastuneella alueella (Baltensweiler 1983).

Tutkimuksissa on selvitetty lähinnä rikin ja typen osuutta lehtiä ja neulasia syövien hyönteisten määriin. Näiden epäpuhtauksien on useassa tapauksessa havaittu olevan yhteydessä ko. hyönteisten runsaaseen esiintymiseen. Osa näistä hyönteisistä elää tavalla tai toisella suojassa epäpuhtauksien suoralta vaikutukselta.

24. Runko- ja oksatuholaiset

Ilman epäpuhtauksien vahingoittamassa mänty- tai kuusimetsässä vakavimmat kaarnakuoriaisten aiheuttamat tuhot keskittyvät pahimmin saastuneelle alueelle (Ranft 1968). Kaarnakuoriaisten runsas esiintyminen voi aiheuttaa laajoja ja ankaria seuraustuhvoja.

Kaarnakuoriaiset saattavat menestyä saastuneilla alueilla mm. siksi, että ne elävät piiloutuneina puun oksiin tai runkoon välttämällä suoran kosketuksen epäpuhtauksien kanssa (Sierpinski 1984). Bösenerin (1969) mukaan kaarnakuoriaisten menestys johtuu siitä, että ilman epäpuhtaudet altistavat havupuut kaarnakuoriaistuholle. Otsonipäästöjen on esimerkiksi todettu aiheuttaneen strobuseräilyä (*Pinus strobus* L.) fysiologisia muutoksia, jotka ovat vaikuttaneet kaarnakuoriaisten esiintymiseen (Wilkinson 1975). Cobb ym. (1968) totesivat, että valokemiallisten hapettimien vaurioittamisessa ponderosamännissä esiintyi kaarnakuoriaisten aiheuttamia tuhoja runsaammin kuin terveissä tai vain lievästi vaurioituneissa puissa. Ankarinta tuhoa aiheuttivat nilurilajit *Dendroctonus brevicomis* LeConte ja *D. ponderosae*, joista *D. brevicomis* -lajin katsottiin olevan aggressiivisempi. Se pystyi iskeytymään hyvinkin elinvoimaisiin mäntyihin (taulukko 2) (Stark ym. 1968). Toisessa tutkimuksessa puolestaan *Dendroctonus ponderosae* oli yleisin otsonin heikentämissä ponderosamännissä (Stark ja Cobb 1969).

Kaarnakuoriaisten (*Ips* sp., *Dendroctonus* sp.) toukkiin ja aikuisiin kerääntyy fluoria, joka on peräisin ravinnosta. Puihin fluori kerääntyy imeytymällä lehtien kautta. Deweyn (1973) mit-

Taulukko 2. *Dendroctonus brevicomis* ja *D. ponderosae* nilurilajien valtaamien puiden jakaantuminen eri vauriotyyppiin mukaan (Stark ym. 1968).

Table 2. The occurrence of *Dendroctonus brevicomis* and *D. ponderosae* in trees with different degrees of damage by air pollutants (Stark et al. 1969).

Puun vaurioaste Degree of damage	<i>D. brevicomis</i>	<i>D. ponderosae</i>
Terve Healthy	22,2 %	0 %
Keskinkertaisesti vaurioitunut Moderate damage	19,1 %	13,6 %
Pahasti vaurioitunut Severe damage	58,7 %	86,4 %

tauksissa *Ips*-lajeista löydettiin saastuneella alueella fluoria 52,5 ppm, kun normaali pitoisuus olisi ollut 11,5 ppm. Kohonneet fluoripitoisuudet viittaavat siihen, että puun johtosoluket pestyvät kuljettamaan fluoria. Fluoripäästöt vähensivätkin Pfefferin (1963) mukaan *Pityokteines*-suvun kaarnakuoriaisten kantaa, kun taas rikkidioksidipäästöt lisäsivät kaarnakuoriaisten määrää (Scheffer ja Hedcock 1955).

Sierpinski (1980) mukaan ilman epäpuhtauksien rasittamissa metsissä oli otolliset kehitysmahdollisuudet seuraavilla lajeilla: latvapikikärsäkäs, ranskanräätäli (*Monochamus galloprovincialis* (Oliv.)), sinikauniainen, pystynävertäjä, havupuun tikaskuoriainen, ruskojäärä (*Criocephalus rusticus* (L.) = *Arphopalus rusticus* (L.)) sekä puupistiäiset. Itä-Saksassa kuusenpikikärsäkäs (*Pissodes harcyniae* (Hbst.)) esiintyi runsaana teollisuuskaasujen saastuttamalla alueella (Bösener 1969). Aikaisemmissa tutkimuksissaan Sierpinski (1971) havaitsi, että tyyppitehtaan ympäristössä (huomattavimmat epäpuhtaudet ammoniumsulfaatti, ammoniaki ja erilaiset typen oksidit) sekundääriset hyönteiset vioittivat 35 % kuolleista tai kuolevista puista. Pahimmat tuhonaiheuttajat olivat latvapikikärsäkäs, ranskanräätäli, pystynävertäjä ja sarvijaakko. Muista tutkijoista poiketen Charles ja Villemant (1977) ovat todenneet kaarnakuoriaisten iskeytyneen vain vähäisessä määrin kaikkein saastuneimmalla alueella kasvaviin puihin Ranskassa.

Suomessa Heliövaaran ym. (1982) alustavan tutkimuksen mukaan männyn rungolla, kaarnan alla elävää punalattikkaa esiintyi runsaimmin rautatehtaan läheisyydessä. Loisien puuttuessa punalattikka lisääntyi. Tehtaan päästöt saattoivat myös vaikuttaa mäntyjen vastustuskykyä heikentävästi. Myöhemmin Heliövaara ja Väisänen (1986) tutkivat Harjavallassa punala-

tikan esiintymistä rikin oksidien, rikkihapon, typen oksidien, hiilimonoksidin ja erilaisten partikkeleiden (Harjavallan... 1980) vaivaamisessa männiköissä. Punalattikka puuttui alle 800 m:n etäisyydeltä tehtaasta, mutta esiintyi runsaana saastuneella alueella. Suurin latikkatiheys (sata kertaa suurempi kuin kuivan kankaan normaali populaatiotiheys) tavattiin 1–2 kilometrin päässä tehtaasta. Yhdeksän kilometrin etäisyydellä tehtaasta latikoiden määrä laski normaaliarvoihin.

25. Silmu- ja versotuholaiset

Silmu- ja versotuholaisista on ulkomailla tutkittu lähinnä männynversokääriäisen ja männynsilmuin esiintymistä erilaisten epäpuhtauksien vaikutuksen alaisena. Molempia lajeja on havaittu runsaasti saastelähteiden läheisyydessä (mm. Templin 1962, Schnaider ja Chlodny 1977). Lajeille suotuisat elinolosuhteet saattavat johtua siitä, että mäntymetsän vesitalous häiriintyy ilman epäpuhtauksien takia (Templin 1962). Männynsilmuin hyötyy erityisesti puuden fysiologisesta heikentymisestä sekä biokeemiallisista muutoksista (Sierpinski 1966).

Männynsilmuin toukat vahingoittavat aluksi neulasia ja siirtyvät myöhemmin silmuihin (Sierpinski 1970). Toukat ovat voineet tuhota jopa 92 % kahdeksanvuotiaan männikön silmuista. Norjalaisen tutkimuksen (Hågvar ym. 1976) mukaan tämän koin toukat kuolevat –16 °C:ssa, mistä johtuen lajia esiintyy vain Norjan eteläosissa. Teollisuusasteiden kaukokulkeutumisella Länsi- ja Keski-Euroopasta on tuolla alueella suuri merkitys. Männynsilmuin määrä on kasvanut fluorin vaikutusalueella (Hågvar ym. 1976). Yksilömäärän kasvuun ovat saattaneet vaikuttaa myös pedot, loiset tai ravintokasvin epätasapainoinen ravinnetila. Sierpinski (1979) on havainnut männynsilmuin esiintyvän runsaammin rikin kuin fluorin saastuttamalla alueilla.

Männynversokääriäinen, pihkakääriäinen, männynsilmuikäriäinen ja paikoittain männynkukkakääriäinen (*Rhyacionia pinicola* (Dbl.)) esiintyvät männynsilmuin seuralaisina (Schnaider ja Sierpinski 1967). Charles ja Villemant (1977) ovat todenneet, että Ranskassa männynversokääriäisen aiheuttamia tuhoja esiintyi enemmän saastuneimmalla alueella saastelähteen läheisyydessä kuin puhtaalla

alueella (taulukko 3). Myös Mankovskan (1975) mukaan männynversokääriäisen yksilömäärä saastuneilla alueilla oli kasvanut. Hänen kokeessaan oli huomioitu männynversokääriäisen eri kehitysasteidenkin erot. Sitä vastoin männynkukkakääriäisen, vaalean sivusilmukääriäisen (*Rhyacionia pinivorana* Zell.), (*Blastesthia posticana* (Zettl.) = *Evetria posticana* (Zettl.)), tummasilmäkääriäisen, männynsil-
mukääriäisen ja pihkakääriäisen populaatioi-
den koot eivät muuttuneet merkittävästi saastuneilla alueilla (Villemant 1980).

Suomessa on tutkittu pihkakääriäisen esiin-

tymistä Harjavallan teollisuusympäristössä. Pihkakääriäisen äkämiä (äkämäkorot mukaanlukien) oli kaikilla tutkituilla linjoilla eniten tehdaskompleksin läheisyydessä. Löydettyjen äkämiä määrä puuta kohden oli myös suoraan verrannollinen raskasmetallien (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) laskeumiin. Pihkakääriäinen näytti hyötävän jossain määrin ilman saastumisesta (Heliövaara 1986).

Silmu- ja versotuholaiset eivät useinkaan joudu suoraan kosketuksiin epäpuhtauksien kanssa, mikä mahdollistaa niiden runsaan esiintymisen saastuneillakin metsäalueilla.

Taulukko 3. Männynversokääriäisen vaurioittamien versojen (= männynversokääriäisen vaurioittamat) ja muuten kehittymättä jääneiden silmujen (= muut vauriot) osuudet neljällä eri asteisella saasteisuusalueella (Charles ja Villemant 1977).

Table 3. Shoots damaged by *Rhyacionia buoliana* (= pine shoot moth damage) and those damaged by other causes (= other damage) in four forest areas with different pollution levels (Charles and Willemant 1977).

	Puhdas alue <i>Control area</i>	Heikosti saastunut alue <i>Slightly polluted area</i>	Keskimääräi- sesti saas- tunut alue <i>Moderately polluted area</i>	Vahvasti saastunut alue <i>Strongly polluted area</i>
Männynverso- kääriäisen vaurioittamat <i>Pine shoot moth damage</i>	1,6%	2,7%	9,7%	15,8%
Muut vauriot <i>Other damage</i>	8,0%	11,5%	12,9%	19,5%

3. VAIKUTUS METSÄN TAUTEIHIN

3.1. Yleistä

Ilman epäpuhtauksien vaikutus sieniin riippuu epäpuhtauden koostumuksesta, pitoisuudesta, vaikutuksen kestosta sekä sienien kehitysasteesta. Epäpuhtaudet vaikuttavat joko

- itiöiden itävyyteen, infektioprosessiin tai rihmaston kasvuun
- lisääntymisyksiköiden tai itiöemien muodostumiseen
- kilpailevien organismien runsauteen.

Vaikutus voi olla taudinaiheuttajaa estävä, stimuloiva tai sen kannalta merkityksetön.

Suuria rikkidioksidiväkevyksiä (900 – 2500

ppm S) on vanhastaan käytetty sienten torjunta-aineina mm. estämään hedelmien pilaantumista. Luonnossa ilman rikkidioksidipitoisuudet ovat kuitenkin vain murto-osa (0,1 – 1 %) em. pitoisuuksista (Smith 1981), eivätkä ne pystyne estämään sienten kehitystä.

Eri sienilajien rihmaston herkkyys kaasumaiselle rikkidioksidille vaihtelee suuresti: erittäin herkkiä ovat hiivasienet ja mm. *Venturia inaequalis* (Cooke) Winter (omenaruusten aiheuttaja), melko herkkiä mm. puiden ruoste-sienet (*Melampsora*, *Cronartium*, *Coleosporium*), härmäsienet, *Botrytis* spp., *Rhytisma* spp., kun sitä vastoin mm. *Aspergillus*- ja *Penicillium*- sekä *Ceratocystis* (= *Ceratostomella*)-sukujen lajit sietävät suurempia kaasuanok-

sia (Saunders 1973). Voimakkaassa kasvuvaiheessa oleva rihmasto on herkinä. Alhaiset pitoisuudet saattavat kiihdyttää sienirihmaston kasvua. Kasvun kiihtymistä on havaittu mm. useilla lahottajasienillä 0,1 mg/m³:n pitoisuudessa (Grzywacz 1973).

Useimpien sienilajien kypsät itiöt ovat erittäin kestäviä suoraa rikkidioksidivaikutusta vastaan. Hibbenin (1966) mukaan 10 ppm:n (n. 26 mg/m³) rikkidioksidikaasutus kuuden tunnin ajan ei vaikuta itävyyteen. Joidenkin lajien itiöt säilyvät elinkykyisinä vielä 100 ppm:n kaasutuksen jälkeenkin. Kosteat itiöt ovat yleensä herkempiä ja mm. eräiden kantasienten ohutseinäisten kantaitiöiden oletetaan olevan muita herkempiä. Rikkidioksidin vesiliuokset (sulfiitit) lienevät tehokkaampia sienten kasvun ja itämisen estäjiä kuin kaasumainen rikki. Itämistä rajoittava pitoisuus vaihtelee sienilajista riippuen 1 ppm:stä jopa 280 ppm:ään (n. 2,6–730 mg/m³) (ref. Heagle 1973).

Otsonin suoraa vaikutusta sieniin on tutkittu lähinnä maatalouskasvien tautien aiheuttajilla. Otsoni on lukuisille vaillinai- ja kotelosienille myrkyllisempää kuin rikkidioksidi. 0,4–2,0 ppm:n väkevyyden (n. 0,8–4 mg/m³) on todettu estävän lukuisien sienten itiöiden itämistä (mm. *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Botrytis*-suvuissa). Mm. harmaahomesien (*Botrytis cinerea* Pers.) sekä *Puccinia*-suvun ruosteiden aiheuttamien infektioiden on havaittu vähentyneen otsonin vaikutuksesta (Hibben 1966, Manning 1976). Kosteat itiöt ovat herkempiä myös otsonille ja värittömät itiöt alhaisissakin pitoisuuksissa (0,1–1 ppm) (=0,2–2 mg/m³) herkempiä kuin värilliset (Hibben ja Stotsky 1969).

Saunders (1973) esittää kirjallisuudesta keräämänsä taulukon alhaisen (0,05–0,03 ppm) (n. 0,1–0,06 mg/m³) otsoniväkevyyden vaikutuksista eräisiin (pinta)mikrobeihin. Yleensä infektio, rihmaston kasvu tai itiötuotanto estyy. Joissain tapauksissa otsonilla on infektiota tai itiötuotantoa stimuloiva vaikutus. Mm. *Alternaria oleracea* J. Milb. -sienen itiötuotanto on kiihtynyt valtavasti (Treshow ym. 1969). *Erysiphe graminis* -sienen rihmaston kasvu on kiihtynyt 0–30 ppm käsittelyn vaikutuksesta (Heagle ja Strickland 1972), vaikka itse tauti onkin vähentynyt. Tästä on pääteltävissä, että isäntäkasviin tunkeutumisvaihe on sienen kannalta kaikkein kriittisin, eikä sienen kasvunopeus ole aina ratkaisevaa taudin yleisyyden kannalta (Heagle 1973).

Otsoni voi myös vähentää solujen pigmentoitumista, aiheuttaa rihmastovaurioita, itiöi-

den ennenaikaista itämistä tai vähentää lipidi-synteesiä (Rich ja Tomlinson 1967, Treshow ym. 1969).

Hyvin monien sienten kasvu estyy keinoalustalla happamissa olosuhteissa (esim. pH 3,2–4,1:ssä) ja myös infektiot vähenevät, kun kasveja kastellaan happamalla vedellä (Leben 1954). Hapanta kasteluvettä onkin yritetty käyttää mm. Hollannin jalavataudin torjuntaan (Feldman ja Caroselli 1951).

Ilman epäpuhtauksien kokonaisvaikutus jonkin sienitaudin kulkuun metsässä riippuu epäpuhtauksien vaikutuksesta isäntäkasviin ja niiden suorista vaikutuksista taudinaiheuttaja-organismiin. Erityisen tärkeää on vaikutus sieniin, jotka ainakin joissakin tilanteissa pystyvät elämään sekä elävässä että kuolleessa solukossa (mm. joko itse tappamassaan (nektrotrofit) tai muusta syystä kuolleessa (fakultatiiviset saprotrofit). Isäntäkasvit yleensä heikkenevät epäpuhtauksien vaikutuksesta. Kokonaisvaikutus biotrofisten sienten aiheuttamiin tauteihin (mm. härmät, ruosteet) on tällöin tautia vähentävä, olipa suora vaikutus patogeeniin mikä hyvänsä. Muissa tapauksissa tauti lisääntyy, mikäli epäpuhtauksien suora vaikutus taudinaiheuttajaan on stimuloiva tai merkityksetön. Jos vaikutus organismeihin (paitsi biotrofit) on estävä, tauti voi joko lisääntyä tai vähetä (Horn 1985).

Kirjallisuudessa esitetään tietoja epäpuhtauksien vaikutuksesta metsän sienitauteihin ja taudinaiheuttajiin. Laboratoriokokeet ovat keskittyneet lähinnä rikkidioksidin ja otsonin vaikutuksiin. Todellisuudessa useat epäpuhtaudet vaikuttavat samanaikaisesti. Kokeissa näitä olosuhteita on vaikea jäljitellä. Maastohavaintojen vaikeutena on riittävän edustavan otoksen saaminen sekä koeluetta vastaavan ”puhtaan” vertailualueen löytäminen. Kaivataan lisää tutkimuksia, jotka olisi tehty usealla luotettavalla menetelmällä, mm. puoliavoimien kammioiden avulla tai siirtämällä kasveja laskeuma-arvoiltaan erilaisiin olosuhteisiin.

32. Karistesienet ym. lehdissä tai neulasissa esiintyvät mikrobit

Ilman epäpuhtaudet voivat vaikuttaa useiden tautien esiintymiseen lisäämällä tai vähentämällä kasvien pinnalla olevaa ei-patogeenista mikrobistoa. Jotkut pintamikrobit voivat olla

patogeenisten mikrobin antagonisteja (Fokkema 1976). Havupuiden neulasten epi- ja endofyyttifloorasta on tehty vain muutamia tutkimuksia. Eräät bakteerit ja hiivasienet, esim. lehtikuusen neulasista tavattu *Sporobolomyces roseus* -hiiva, kykenevät entsyymiensä avulla hajottamaan neulasten kutikulan pintavahakerrosta, ja täten mahdollistavat muille mikrobeille pääsyn hajottamaan neulasten kutiinia (Cooke ja Rayner 1984). Lipolyttisten bakteerien ja hiivojen on havaittu esiintyvän runsaammin voimakkaan rikkidioksidivaikutuksen alaisena olleen alueen kuusenneulasissa (Lettl 1983). Epäpuhtauksien ja mikrobin vaikutuksesta neulasten pinnan ominaisuudet muuttuvat ja ravinteiden erittyminen/huuhtoutuminen voivat lisääntyä.

Seurauksena epäpuhtauksien vaikutuksesta on muuttunut pintamikrobisto, muuttuneet saprotrofisuhteet ja lisääntynyt riski taudinaiheuttajien infektiolle. Mm. Barklundin ym. (1983) mielestä hapan sade voi aiheuttaa epi-fyyttiflooran radikaalin vähentymisen ja avata tietyille patogeeneille, mm. versosyöpäsienelle mahdollisuuden infektiioon.

Smith ym. (1978) ovat tutkineet raskasmetallien vaikutusta plataanien (*Platanus*) lehtien pintaflooraan. Heidän mukaansa alumiini, rauta, mangaani, lyijy ym. eivät alhaisina pitoisuuksina ole yleensä suoraan myrkyllisiä pintamikrobeille (mm. *Aureobasidion*, *Chaetomium*). Manningin (1971) mukaan kanadanhemlokin (*Tsuga canadensis* (L.) Carr.) neulasten pintafloora muuttui kalkkikivipölyn vaikutuksesta. Bakteerit vähenivät suuresti, kun taas sienet lisääntyivät. Ilman epäpuhtauksien vaikutuksesta vaurioituneet neulasten solukot voivat olla erinomainen kasvualusta epäpuhtauksia hyvin sietäville saprotrofisille sienille (mm. *Aspergillus*, *Penicillium*). Eräät sienet kasvavat luonnossakin kuolleista kasvinosista terveisiin (mm. *Botrytis cinerea*, *Penicillium*, *Cladosporium herbarum* (Pers.) Link.) (ref. Leben 1965, Manning ym. 1970). Costonis ja Sinclair (1972) pystyivät eristämään *Aureobasidion pullulans* (de Bary) Arnaud -sienen strobustumännyn neulasista vain otsonin aiheuttamista nekroottisista laikuista (keinotekoinen otsonikäsittely ja inokulointi).

Hibben ja Walker (1966) ovat monien muiden tutkijoiden ohella havainneet rikkidioksidin vähentäneen tammenhärmän (*M. alphitoides* Grifon & Maublanc) esiintymistä. Heidän mukaansa 0,3–0,4 ppm SO₂:ta (n. 0,8–1,0 mg/m³) 24–72 tunnin ajan vähensi itiöiden itävyyttä 50–60 %, mutta lyhytaikaisella 1

ppm:n (n. 2,6 mg/m³) väkevyydellä ei samantyyppistä vaikutusta saatu aikaan. Mm. Grzywacz ja Wazny (1973) mainitsevat tammenhärmää esiintyneen huomattavasti keskimääräistä vähemmän ilmansaasteiden (SO₂) vaivaamien teollisuusalueiden metsissä.

Englannissa on havaittu vaahterantervätapilätaudin aiheuttajan, *Rhytisma acerinum* (Pers.) Fr. -sienen, puuttuvan kokonaan alueilta, joilla ilman vuotuinen keskimääräinen SO₂-pitoisuus ylittää rajan 0,09 mg/m³. Tämän pitoisuuden alapuolella sienien laikkujen määrä lehdissä kasvaa suoraviivaisesti ilman SO₂-pitoisuuden vähetessä. Tästä syystä sientä on ehdotettu bioindikaattorilajiksi (Bewan ja Greenhalgh 1976).

Ham (1971) (ref. Weidensaul ja Darling 1979) havaitsi, että mm. USA:ssa monilla mäntylajeilla ruskolaikkutautia aiheuttava *Scirrhia acicola* (Dearn.) Siggers -sieni kasvoi normaalisti ja tuotti agarilla laboratoriossa elinkykyisiä kuromia, vaikka kasvusto käsiteltiin 1 ppm:llä (n. 2,6 mg/m³) rikkidioksidia 4 tunnin ajan. Weidensaul ja Darling (1979) tartuttivat (inokuloivat) tällä sienellä männyn (*Pinus sylvestris* L.) taimia ja käsitelivät taimet 0,20 ppm:llä rikkidioksidia sekä otsonilla (= n. 0,5 ja 0,4 mg/m³) 5 vrk ennen sieni-inokulointia ja heti sen jälkeen. Molemmissa koejäsenissä oli tautia, mutta hieman enemmän tautilaikkuja oli niissä puissa, jotka oli inokuloitu sienellä ennen rikki- tai otsonikäsittelyä. Tekijät päätelivät, että saasteet eivät enää pystyneet vaikuttamaan isäntäkasvin sisälle tunkeutuneeseen taudinaiheuttajaan.

Kowalskin ja Budnikin (1977) mukaan männyn neulasissa Puolan teollisuusalueilla havaittuissa kellanruskeissa laikuissa esiintyi runsaimmin *Cytospora acuum* Cooke & Ellis, *Coniothyrium fuckelii* Sacc., *Lophodermium pinastri*, *Sclerophoma pityophila* (Corda) Höhnelt ja *Cenangium ferruginosum* Fr. ex Fr. -sieniä. Myöhemmin Kowalski (1981) havaitsi *Coniothyrium fuckelii* -sienen yleistyvän huomattavasti 1-vuotiaiden männyn neulasten laikuissa ilman saastepitoisuuden lisääntyessä, kun sen sijaan mm. neulaskariste (*Lophodermium seditiosum* Minter et al.) sekä useilla mäntylajeilla saprotrofisena tai lievästi patogeenisena esiintyvä *Naemacyclus niveus* (Pers.) Sacc. vähentyivät. *Sclerophoma pityophila* ja *Cenangium ferruginosum* sienten runsas esiintyminen ei näyttänyt riippuvan tutkimusalueiden ilman laadusta. Ilmeisesti kuitenkin ilman epäpuhtaudet muuttavat sieniflooran koostumusta. *Coniothyrium fuckelii*, samoin kuin *Sclerophoma*, in-

fektoi erityisesti pakkasen vioittamia versoja (Domanski ym. 1977). Edellä lueteltuja sieniä onkin pidettävä pääasiassa saprotrofisina.

Lophodermium-suvun neulaskaristeista on sängen runsaasti mainintoja kirjallisuudessa, erityisesti männyltä. Valitettavasti tiedot eivät ole täsmällisiä, koska saprotrofista *L. pinastri*-ja patogeenista *L. seditosum* -lajia ei liene useimmiten erotettu toisistaan. Erään männyn *Lophodermium* -lajin (*L. pinastri*?) esiintymisessä ei havaittu selviä eroja Puolan teollisuusalueiden ja koko maan metsien välillä. Sen sijaan sieni puuttui aivan SO₂ -lähteen välittömästä läheisyydestä. Sienen suvullisten itiöemien, hysteroeekioiden, määrä vähentyi ja koko pieneni aivan saastelähteen läheisyydessä. Niissä oli myös enemmän epämuodostumia. Estovaikutus väheni jo noin 1 km:n päässä saastelähteestä.

Heaglen (1973) siteeraamien tietojen mukaan teollisuusalueiden rikkidioksidipäästöt ovat vähentäneet mm. *L. pinastri* sekä *L. juniperinum* (Fr.) de Not. -sieniä. Costoniksen ja Sinclairin (1972) tekemien strobustumännyn neulasten otsonivaurioitus- ja karisteinokulontikokeiden mukaan *Lophodermium pinastri* -sienen esiintyminen neulasissa ei suoranaisesti riipu neulasten otsonivaurioista. Heidän mukaansa otsonille altteimmissa puissa on kuitenkin enemmän tämän sienen infektoita.

Rhizosphaera kalkhoffii Bubak aiheuttaa useiden mänty- ja kuusilajien neulaskaristetta. Sieni iskeytyi Chiban ja Tanakan (1968) mukaan Japanissa voimakkaasti rikkidioksidin vaurioittamiin japaninpunamännyn (*Pinus densiflora* Sieb. & Zucc.) neulasiin 1960-luvulla. Tätä ennen ko. sieni oli Japanissa huonosti tunnettu. Inokulointikokein sieni todettiin heikoksi patogeeniksi terveissä männnyissä (Tanaka 1980). Laboratoriokokeissa on todettu, että sienellä ympätyissä ja rikkidioksidilla (2,0 ppm = 5,2 mg/m³ 1–3 tunnin ajan) kaasutetuissa taimissa on enemmän sieni-infektioita kuin käsittelemättömissä. Vaikutus on selvin silloin, kun kaasutus on tehty inokuloinnin jälkeen (Chiba ja Tanaka 1968). Samanlaiset tulokset on saatu myös luonnonoloissa esiintyvällä pitoisuudella (n. 0,5 mg/m³ SO₂). Lisäksi epäpuhtauksien vaivaamissa oloissa kasvatetuissa ja sienellä ympätyissä taimissa on havaittu enemmän tautia kuin puhtaassa, suodatetussa ilmassa kasvaneissa (Tanaka 1980). Tekijöiden mukaan rikkidioksidi paransi lähinnä ko. sienen leviämisen ja lisääntymiskykyä neulasissa mieluummin kuin infektioiden määrää.

Mm. Jancarik (1961) sekä Kudela ja Novako-

va (1962) ovat havainneet *Lophodermium macrosporum* (Hartig) Rehm (= *Lirula macrospora* (R. Hartig) Darker) -sientä esiintyvän runsaasti Tsekkoslovakian teollisuusalueilla rikkidioksidin vaurioittamissa kuusissa. Etelä-Saksassa havaittiin 1981 syksystä lähtien laajoilla alueilla kuusten vanhemmissa neulaskerroissa voimakasta punaruskeaa väriä latvusten ala- ja keskiosissa. Neulasten putoamisen jälkeen syntyi varsinkin ”kampatyypin” kuusiin lamettaoiretta muistuttava ulkonäkö. Rehfuess ja Rodenkirchen (1984) katsoivat neulasten rusketumisen johtuvan *Lophodermium piceae*, *Lophodermium macrosporum* ja *Rhizosphaera kalkhoffii* -sienten infektoista. Heidän mielestään taudin puhkeaminen riippui ajanjakson poikkeuksellisista sääolosuhteista (eli talviaikaisista kylmävaurioista vuosina 1979-83).

Schütt (1985) oli sitä mieltä, että kuusten ruskettuminen ei ollut kariste-epidemia. Teke miensä inventointien perusteella hän pystyi toteamaan, että viimeksi mainitut sienet eivät esiinny säännöllisesti värikkäisissä kuusikoissa. Butin ja Wagner (1985) havaitsivat, että yleisin sieni ruskettuneissa neulasissa oli *Lophodermium piceae*, ja seuraavaksi tärkeimmät *Rhizosphaera kalkhoffii* ja *R. pini* (Corda) Maublanc. Steriilien neulasten osuus vaihteli paljon metsiköittäin (0–98 %). Myöskään Butin ja Wagner eivät pitäneet neulasten ruskettumista sienepidemiasta johtavana.

Kowalski ja Lang (1984) eivät havainneet selviä eroja v. 1981–1982 tutkimiensä terveiden ja ilman epäpuhtauksista kärsineiden kuusten neulasten tai versojen sieniflooran välillä Saksassa. Useimmiten eristettyjä sieniä olivat *Rhizosphaera kalkhoffii*, eräs *Tympanis*-suvun laji sekä *Lophodermium piceae*. Sienet eivät tekijöiden mukaan ole ainakaan primarisyyinä puiden heikentymiseen (paitsi *Lophodermium macrosporum* nuorissa kuusikoissa). Barklund (1987) havaitsi *L. macrosporum* -sienen olevan erittäin yleinen endofyytti vihreissä neulasissa nuorissa kuusissa Etelä-Ruotsissa, mutta sairaan näköisistä vanhoista metsiköistä kerätyissä neulasissa sitä esiintyi selvästi vähemmän. Tulostensa perusteella Barklund ei pidä lajia patogeenisena.

Neulastautien aiheuttajat voivat ilmeisesti hyötyä puiden heikentymisestä epäpuhtausien tai minkä tahansa stressitekijän johdosta. Erityisesti voivat hyötyä ne lajit, jotka normaalisti ovat saprotrofisia tai vain heikosti patogeenisiä. Useimmat näistä sienistä sietänevät erittäin suuria saastepitoisuuksia (erityisesti rikkiä), eivätkä mitatut saastearvot pystyne

heikentämään itiöiden itävyyttä tai infektiota-pahtumaa. Sen sijaan patogeeniset lajit voivat vähentyä suurten saastepitoisuuksien vallitessa.

33. Ruostesienet

Schefferin ja Hedgcockin (1955) uraaurtavien tutkimusten mukaan rikkidioksidin voimakkaasti vaurioittamissa metsissä Yhdysvalloissa esiintyi vähemmän mm. *Cronartium*, *Peridermium*, *Coleosporium* sekä *Melampsora*-ruosteita. Kun etäisyys saastelähteistä kasvojen vauriot vähenevät ja ruosteiden määrä lisääntyi. Linzonin (1971) pitkäaikaisten selvitysten mukaan tehdassavut (SO₂ ja raskasmetallit) vähensivät valkomännyn tervasrosoa (*Cronartium ribicola* J.C. Fisher) saastelähteen läheisyydessä. Pahimmin vaurioituneella alueella ruostetta ei esiintynyt ollenkaan, väli-alueella ruostetta tavattiin 4–4,7 %:sta ja vertailualueella 10 %:sta puita.

Myöhempien tutkimusten tulokset tukevat melko yksiselitteisesti näitä tuloksia, jotka on saatu sangen korkeiden rikkidioksidipitoisuuksien vallitessa. Mm. Grzywacz (1976a) havaitsi tervasroson (*Cronartium asclepiadeum* (Willd.) Fr.), versoruosteen (*Melampsora pinitorqua* Rostr.) sekä neulasruosteiden (*Coleosporium*-suku) katoavan ilmansaasteiden (rikkidioksidin) vaivaamista männiköistä Puolassa.

Grzywacz ja Wazny (1973) ovat todenneet versoruosteen puuttuvan alle 2 km etäisyydellä SO₂-emissiolähteestä, jos ilman vuotuinen keskimääräinen SO₂-pitoisuus ylittää tason 0,25 mg/m³. Krzan ja Siwecki (1980) havaitsivat, että mäntyjen versoruostevaurioita esiintyy puhtaan ilman alueilla kaksi kertaa runsaammin kuin epäpuhtauksien vaivaamalla metsäalueella.

Tammen lehtien käsittely happamalla vedellä (pH 3,2) (10 min/päivä, 10–26 päivän ajan) vähensi näille lehdistä kantaitiöympäyksen tuloksena syntyvien *Cronartium fusiforme*-ruosteen talvi-itiöpesäkkeiden määrää 86 %:lla (Shriner 1977) verrattuna pH 6:lla tehtyyn käsittelyyn. Tällaisia sadeveden happamuuksia esiintyy kirjoittajan mukaan silloin tällöin luonnossakin Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa.

Biotrofiset taudinaiheuttajat, kuten ruosteet,

eivät hyödy puiden heikentymisestä. Suurien epäpuhtauspitoisuuksien vaikutuksesta niiden aiheuttamat taudit voivat jopa vähentyä. Syynä vähentymiseen lienevät epäpuhtauksien vaikutus isäntäkasvin solujen fysiologiaan. Saksassa mitatut rikkidioksidi- ja otsoniarvot voivat teoriassa vähentää ruostesientien itiöiden itävyyttä. Sama vaikutus voi olla Suomen kaupunkilman huippuarvoilla. Meillä mitatut pitoisuudet lienevät kuitenkin merkityksettömiä puiden ruostesientien aiheuttamien tautien esiintymisen kannalta.

34. Lahottaj sienet

Grzywacz (1973) on selvittänyt halkiheltiltä (*Schizophyllum commune* Fr.) ja juurikäpältä (*Heterobasidion annosum*) sienten herkkyyttä rikkidioksidille laboratorio-olosuhteissa. Hänen mukaansa alhaiset pitoisuudet (0,1 mg/m³) stimuloivat hieman rihmaston kasvua, erityisesti, jos altistus kestää yli viisi vuorokautta. Altistusajan lisääntyessä vielä tästäkin juurikäpän rihmaston kuivapaino alkaa jo vähetä. 10 mg/m³-pitoisuus vähentää juurikäpän rihmaston kuivapainoa n. 15 %. Juurikäpää on näistä kahdesta lajista selvästi herkempi rikkidioksidille. 0,1–100 mg:n konsentraatiot kiihdyttävät *Schizophyllumin* hengitystä, 1000 mg vähentää sitä, kun sen sijaan juurikäpän hengitysaktiivisuus vähenee jo 1 mg:n pitoisuudessa. Juurikäpää ei myöskään, päinvastoin kuin *Schizophyllum*, pysty puskuroimaan kasvualustansa happamuutta kasvaessaan rikkidioksidin saastuttamissa olosuhteissa. 10–100 mg:n pitoisuudet stimuloivat itiöemien muodostumista *Schizophyllumilla*, vaikka vähensivätkin kasvua.

Grzywacz (1976b) on myös verrannut edellä esitettyjen lajien sekä taulakäävän, *Fomes fomentarius* (Fr.) Kickx. ja pötkelökäävän, *Piptoporus betulinus* (Fr.) Karst. rihmaston herkkyyttä rikkidioksidille. *Schizophyllum* oli näistä kestävin, pötkelökääpä herkin. Juurikäpää oli toiseksi kestävin, ja sen kasvun vähenemiseen tarvittiin tässä kokeessa 1,0 mg/m³:n kaasutus yli 3 päivän ajan. Sellaiset pitoisuudet, jotka jo aiheuttavat puille selviä vaurioita (0,1–1,0 mg/m³), pystyvät vain hieman rajoittamaan sienirihmastojen kasvua, ja *Schizophyllum*-lajin kasvu jopa kiihtyy näissä olosuhteissa.

Jamesin ym. (1982) laboratorioskokeiden mukaan alhaisetkin otsonipitoisuudet vähentävät juurikäävän kuromaitiötuotantoa. Rihmaston kasvu vähentyy merkittävästi kaasutettaessa 0,1 ppm:n pitoisuudella yhdeksän tunnin ajan päivässä. Tämä pitoisuus stimuloi itiöiden itävyyttä 1 tunnin kaasutuksella, mutta suuremmat konsentraatiot vähentävät itävyyttä. Mäntykiekkojen sienitartunta väheni merkittävästi jo 0,1 ppm:n kaasutuksella (9 tuntia 7 päivän ajan), mutta tutkitut neljä sienialkuperää sietivät kaasutusta merkittävästi eri tavoin. Kirjoittajat päättelivät kuitenkin, että luonnossa esiintyvät pitoisuudet (enintään 0,05 ppm) eivät pysty ainakaan suoraan sienien kautta vaikuttamaan paljoakaan juurikääpäepidemioihin. Kantaitiöt ovat tärkeämpiä juurikäävän leviämislle kuin kuromat. Epäpuhtauksien vaikutuksia niihin ei kuitenkaan ole tutkittu.

James ym. (1980a, 1980b) totesivat, että juurikäävän infektio tapahtui herkemmin ja sieni kasvoi nopeammin fotokemiallisten vaurioiden takia neulasmassaansa menettäneiden kuin terveiden ponderosamäntöjen kannoissa. Vastaavaa ilmiötä ei havaittu jeffreymännillä. Samanlaiset tulokset saatiin myös ko. puulajien mantopuupalasilla tehdyissä lahotuskokeissa laboratoriossa. Korrelaatio puulajien latvuksen vaurioitumisasteen ja puuaineksen lahoamisalttiuden välille saatiin edellämaintutujen lahottaja-puulajiparien lisäksi myös pareille ponderosamäntö (*Poria monticola* Murr.) sekä jeffreymäntö (*P. jeffreyi* Gev. & Balf.) –silkkivyökäpä (*Trametes versicolor* (L. ex Fr.) Pilat) (James ym. 1982).

Stenlidin (1986) mukaan terveet juuret reagoivat esim. juurikäävän infektiioon siten, että fenolipitoisuus infektiokohdan välittömässä läheisyydessä nousee ja useiden entsyymien sekä tarkkelyksen määrä vähenee. Myöhemmin muodostuu muuta puuainesta kuivempi siirtymävyöhyke ja fenolipitoisuus nousee lähelle terveen sydänpuun vastaavaa pitoisuutta. Heikentyneiden puiden juuret saattavat olla alttiimpia juurikäpäinfektioille (Gibbs 1967). Starkin ym. (1968) mukaan neulasten otsonivauriot lisäävät ponderosamännyn ja jeffreymännyn juuristojen alttiutta juurikäävälle (ref. Lackner ja Alexander 1983). Otsonille alttiiden puiden juuristosta pystyivät Lackner ja Alexander (1983) eristämään runsaasti juurikäpä ja Yhdysvalloissa useilla mäntylajeilla ”lakastumistautia” aiheuttavaa *Verticicladiella procera* Kendrick -sientä. Otsonia sietävien puiden juurista ei löytynyt patogeenisia sieniä.

Puolalaiset tutkijat ovat selvittäneet lahotta-

jasienten esiintymistä ilman epäpuhtauksien vaurioittamissa metsissä myös maastoinventoinnein. Tulokset ovat juurikäävän ja mesisien osalta jonkin verran ristiriitaisia. Grzywacz ja Wazny (1973) havaitsivat, että itiömälöytöjen perusteella juurikääpä esiintyy epäpuhtauksien vaivaamissa metsissä 58 % vähemmän kuin koko maan alueella. Yksityiskohtaisemmissa, teollisuusalueilla tehdyissä inventoinneissa havaittiin, että pahiten vaurioituneella alueella (ns. III vyöhyke, ilman keskimääräinen SO₂-pitoisuus yli 0,4 mg/m³/v), juurikääpä esiintyy vähiten. Eniten sientä löytyy keskinkertaisesti vaurioituneelta II vyöhykkeeltä (0,2–0,4 mg/m³/v).

Domanski (1978) piti juurikääpä yleisimpänä lahotajasienenä epäpuhtauksien aiheuttamien vaurioiden vuoksi uudistetuilla metsäalueilla. Epäpuhtauksien vaivaamissa metsissä sientä esiintyi yhdeksän kertaa runsaammin kuin puhtaalla alueella. Juurikäävän esiintymisen riippuu Domanskin (1978) mukaan myös uudistusalan käsittelystä: kantojen poisto vähentää juurikääpä. Sienen itiömälöytöjä oli viimeksi mainitussa tutkimuksessa vähän, ja siksi sienien esiintyminen pyrittiin varmistamaan myös eristyksin, toisin kuin Grzywaczin ja Wazny (1975) työssä. Erilaiset juurikäävän toteamismenetelmät selittänevätkin eroja tutkimustuloksissa.

Grzywacz ja Wazny (1973) havaitsivat mesisientä esiintyvän kolme kertaa enemmän teollisuusalueiden kuin koko Puolan metsissä. Sieni näytti kuitenkin puuttuvan aivan epäpuhtaus(SO₂)-lähteen välittömästä läheisyydestä. Runsaimmin sitä tavattiin lievästi vaurioituneella I vyöhykkeellä. Em. tutkijat pitivät mesisientä juurikääpä tärkeämpänä taudinaiheuttajana teollisuusalueilla. Mesisienitutkimusten luotettavuutta vähentää se, että on useita patogeenisuudeltaan toisistaan poikkeavia *Armillaria*-lajeja eikä lajinmäärittystä ole useinkaan tarkistettu. Domanskin (1978) mukaan mesisieni puuttui III (voimakkaimmin vaurioituneen) vyöhykkeen uudistusalojen puiden juuristosta, ja II vyöhykkeelläkin sientä esiintyi niukasti. Puhtailta metsäalueilta sitä löytyi eniten, lähes 30 kertaa enemmän kuin II vyöhykkeeltä.

Ilmeisesti myös mesisieni on tärkeä taudinaiheuttaja ilmansaasteiden heikentämissä kuuksikoissa ja saksanpihtametsiköissä sekä nuorisamänniköissä, erityisesti lievän saastevaikutuksen alaisissa metsissä. Mm. saksanpihtametsiköissä se on useilla alueilla Puolassa vaarallisin tuhoaiheuttaja (Grzywacz 1976a, Sier-

pinski 1980, 1981). Mesisieni hyötynee hitaasta kasvupaikan muuttumisesta. Shieldsin ja Hobbsin (1979) mukaan maan pH oli merkittävästi alempi mesisien lahottamien kuin terveiden douglaskuusten alla (ref. Barklund 1985), joten sienen ritsomorfit ilmeisesti hyötyvät maan happamuudesta (tai juurten erittämistä aineista).

Muita ilmansaasteiden vaivaamissa metsissä runsaasti esiintyviä sieniä ovat mm. kynsikäävät (*Hirschioporus abietinus*, *H. fuscoviolaceus*) sekä nahakka (*Stereum*) -lajit (ref. Lang 1977).

Lahottajasienet näyttävät selvästi hyötyvän puiden heikentymisestä epäpuhtauksien johdosta. Juurikääpä ja mesisieni lisääntyvät epäpuhtauksien vaurioittamissa metsissä, jälkimäinen laji erityisesti lievän vaikutuksen alaisissa metsissä. Suomessa kaupunki-ilman keskimääräiset rikkidioksidipitoisuudet voivat, paitsi vaurioittaa puita, myös edistää juurikääpänsienien rihmaston kasvua. Toisaalta Saksasakaan mitatut rikkidioksidi- tai otsonipitoisuudet eivät estä sienien kehitystä. On lisäksi mahdollista, että luonnossa normaalisti vähemmän virulentit sienikannat pääsevät lisääntymään isäntäkasvin vaurioituessa, mistä on viitteitä ainakin juurikäävän osalta (James ja Cobb 1982).

35. Versosyöpä

Ascocalyx abietina -sienen aiheuttaman versosyövän yleistyminen on joskus yhdistetty ilmansaasteiden, nimenomaan happamien sateiden esiintymiseen. Tutkimuksia on toistaiseksi hyvin vähän, eikä varmoja todisteita ilmiöiden yhteyksistä ole. Happamia sateita on esitetty syyksi taudin äkilliseen runsastumiseen mm. USA:n koillisosissa 1970-luvun puolivälissä. Samoin on esitetty, että ilman epäpuhtaudet saattaisivat olla osatekijänä Ruotsissa 1970-luvun lopulla esiintyneeseen kuusen versosyöpäepidemiaan (Barklund ym. 1983), mutta varmaa vastausta ei ole toistaiseksi saatu. Kuromaitiöt itävät hyvin varsin laajalla pH-alueella (pH 3–7). Itävyys on Barklundin ym. (1983) mukaan parasta pH 3,5:ssa, ja itiöt kestävät pH 2,8:n käsittelyä ainakin 24 tuntia. Tämä voi suosia versosyöpäsientä suhteessa herkempiin epifyytteihin. Keinotekoinen hapan sade aiheutti ravinteiden huuhtoutumista neulasista, ja tämä huuhtovesi paransi em. tekijöiden mu-

kaan kuromaitiöiden itävyyttä. Puiden versosyöpäalttiuden kannalta itiöiden elinkyvyllä ja itävyydellä lienee kuitenkin paljon vähemmän merkitystä kuin puiden fysiologisella kunnolla. Bragg ja Manion (1984) käsitelivät punamännyn (*Pinus resinosa* Ait.) taimikkoja happamalla (pH 3,5) vedellä, mutta käsittely ei lisännyt taudin määrää. Tauti oli kuitenkin hieman yleisempi sellaisilla koeruuduilla, joilla maan happamuus oli korkein, joten maan happamuus voi jotenkin vaikuttaa puiden altistumiseen. Laurence ym. (1984) käsitelivät punamännyn taimia SO₂-kaasulla luonnossakin pistemäisten lähteiden läheisyydessä esiintyvillä väkevyyksillä (0,73–25 ppmh) (= n. 0,019–0,65 mg/m³) ja saastuttivat osan taimia versosyöpäsienien kuromaitiöillä. Vuoden kuluttua rikkidioksidikäsitely ei vaikuttanut taudin määrään sienellä keinotekoisesti ympäryissä taimissa (runsaasti itiöitä), mutta vähensi selvästi tautia ja puiden kuolleisuutta luonnolliselle sienisaastunnalle alttiina olleissa taimissa (vähän itiöitä). Kahden vuoden kuluttua ei rikkidioksidin versosyövältä suojaavaa vaikutusta enää ollut havaittavissa. Kuitenkin versosyövällä käsitellyistä puista oli kuolleita vähiten siinä koeryhmässä, joka oli käsitelty rikkidioksidilla.

Donaubauerin (1984) mukaan ilman rikkidioksidi-, typpioksidi- ja otsonipitoisuuksien, lumen ja veden happamuuden sekä sembrämännyn versosyöpäisyyden välillä ei ole Itävallan vuoristoissa tehdyissä inventoinneissa havaittu yhteyttä.

Niistä tekijöistä, jotka pohjimmaltaan vaikuttavat siihen, miksi joku puu sairastuu versosyöpään ja joku toinen ei, ei toistaiseksi tiedetä kovin paljon. Kasvukauden aikana puu pystyy estämään infektion kehittymisen, mutta sienirihmasto säilyy hengissä. Puun ollessa lepotilassa sieni valtaa puun solukkoa syksyn ja kevään aikana. Ratkaiseva kohta taudin kehittymisen kannalta on ilmeisesti lyhytversion tai silmun ja varren välinen peridermi, minkä ylittämisen jälkeen sieni nopeasti valtaa varren kuorisolukon ja puuaineksen (Lang ja Schütt 1974, Siepmann 1976, Patton ym. 1983). Infektion onnistumisen kannalta varren solukon puutuminen ja kuoren ominaisuudet ovat ilmeisesti ratkaisevassa asemassa. Esimerkiksi tyyppiyhdisteiden on havaittu viivästyttävän puiden talveentumisprosesseja, mm. kasvainten puutumista, ja sitä kautta ne voivat altistaa puita versosyöpäinfektioille. Hollannissa onkin havaittu kanaloiden runsaiden ammoniumpäästöjen lisännen mm. versosyöpähuhoja

(Dam ja Kam 1984, Roelofs ym. 1985).

Versosyövän osalta kaivataan lisää tutkimuksia. Toistaiseksi ei ole todistettu yhteyttä versosyövän esiintymisen ja ilman epäpuhtauksien välillä. Suomen kaupunki-ilmassa tai Saksassa esiintyvien pitoisuuksien mukainen keinotekoinen rikkidioksidikäsittely on jopa vähentänyt tautia, kun sieni-itiöiden määrä on ollut vähäinen. Tutkimukset ovat kuitenkin kohdistuneet joko saasteiden suoraan vaikutukseen itse versosyöpäsieneen tai olleet lyhytaikaisia altistuskokeita. Epäpuhtauksien pitkäaikaisesta vaikutuksesta taudinalttiuteen ei ole tutkimuksia. Muut taudinalttiuteen vaikuttavat tekijät kuin saastekuormitus (maaperän tiiviyys, topografia, sateiset ja viileät kasvukaudet) ovat nykytietämyksen mukaan merkittävämpiä kuin epäpuhtaudet ainakin laaja-alaisten epidemioiden synnyn kannalta.

36. Juuripatogeenit ja mykorrhitsat

Epäpuhtauksien vioittamissa saksanpihdoissa on Saksassa havaittu vähemmän eläviä mykorrhitsajuuria, niiden hienojuurten uudistuminen on vähäisempää, ja useimmat näistä ovat huonosti kehittyneitä osoittaen merkkejä patogeenisten sienten infektiosta (Blaschke 1981). Schönhar (1982) eristi hienojuurten lahosta kärsivistä douglaskuusista *Cylindrocarpon destructans* (Zins.) Scholt. ja *Mycelium radices atrovirens* Melin -sienet, joita kuitenkin ei pidetä voimakkaina taudinaiheuttajina. Ensiksi mainittu laji on normaalisti patogeeninen vain taimille. Samat sienet voidaan eristää myös kituvista kuusista (Livingston ja Blaschke 1984), vaikkakaan minkään sienipatogeenin eivät tekijät katso primaarisesti aiheuttaneen juuriston kunnan heikkenemistä. Saksanpihdoissa *Pythium intermedium* de Bary, *Trichoderma viride* Pers. ex Fr. sekä *T. hamatum* (Bon.) Bain ja *Penicillium nigricans* (Bain) Thom. esiintyvät juurten vaurioissa, mutta niiden vahingollisuutta ei tunneta. Kowalskin (1983) mukaan juuristotaudeilla on Puolassa ainakin *Quercus rubra* L. ja *Q. robur* L. -tamilla vain sekundaarinen merkitys (juurista voidaan eristää mm. *C. destructans*, *M. radices atrovirens* ja *T. viride*).

Mykorrhitsasieni-infektio voi lisätä juurten sieto- tai vastustuskykyä juuristotautien aiheuttajia vastaan (Richard ym. 1971, Sinclair

ym. 1982). Ilmansaasteet, kuten hapan sade tai otsoni voivat vaikuttaa mykorrhitsoihin usealla eri tavalla: a) muuttamalla maan happamuutta näiden sienten kasvulle, säilymiselle ja infektiokyvyllä sopimattomaksi b) saasteiden vaikutuksesta hiilihydraattimäärät juurissa muuttuvat mykorrhitsainfektioille epäsojiksi tai c) sateen mukana maahan tuleva tyyppi vähentää mykorrhitsainfektioita (Reich ym. 1985). Viimeksi mainitut tekijät ovat tutkineet ilman-saasteiden vaikutusta *Quercus rubra* L. tainten mykorrhitsainfektioon. ”Hapan sade” (pH 5,0–3,0) ja 0,1 ppm:n rikkidioksidikäsittely vähensivät mykorrhitsailla infektioituvien juurten määrää, mutta otsonikäsittely aiheutti infektioiden lisääntymisen sekä maasto- että laboratoriokojeissa. Otsoni on kenties vaikuttanut puiden hiilihydraattiainenvaihtoon lisäten liukoisten hiilihydraattien määrää juurissa.

Kun *Pisolithus tinctorius* (Pers.) Cooke (hernekuukunen) ja *Thelephora terrestris* (Erhr.) Fr. (karvasilokka) -ektomykorrhitsasienten infektoimia loblollymännyn juuria on käsitelty rikkidioksidilla ja otsonilla, juurten hapenoton on havaittu vähentyneen huomattavasti. Mykorrhitsattomien juurten hapenotto on kuitenkin vähentynyt enemmän, joten voidaan olettaa mykorrhitsojen suojaavan hienojuuria jonkin verran näiden aineiden vaikutukselta (Garrett ym. 1982). Rikkidioksidin vaikutus on suurempi kuin otsonin. *P. tinctorius* -mykorrhitsan on havaittu suojaavan loblollymännyn tainten juuria otsonin ja rikkidioksidin (kaasutus 0,07 ja 0,06 ppm:n pitoisuudella kuusi tuntia päivässä) juurten kasvua estävältä vaikutukselta, vaikka käsittelyt eivät vaikuttaneet mykorrhitsainfektion yleisyyteen (Mahoney ym. 1985). Shafer ym. (1985) käsitelivät ektomykorrhitsaisia loblollymännyn taimia keinotekoisella happamalla (pH 5,6–2,4) sateella ja havaitsivat mykorrhitsaisten lyhytjuurten osuuden olevan suurimmillaan, kun kasteluveden pH oli 2,4. Tutkimuksen mukaan pH 4,0–3,2 käsitellyt näyttivät estävän ektomykorrhitsan muodostumista. Taimien verson kuivapaino suhteessa juuriston painoon lisääntyi mykorrhitsajuurten osuuden kasvaessa.

Göbl ja Mutsch (1985) ovat selvittäneet metallisulaton läheltä kerättyjen maanäytteiden vaikutusta mykorrhitsasieniin. Heidän mukaansa mykorrhitsat puuttuivat kuuselta ja pyökiltä kokonaan tehtaan läheisyydestä karikekerroksesta, joka sisälsi runsaasti Cu, Pb, Zn, Ni. Syvemmissä maakerroksissa, pahoin epämuodostuneissa juurissa oli joitakin heikosti kehittyneitä mykorrhitsoja. Tosin Hintikan (1987)

kokeiden mukaan mykorritsasienet sietävät ainakin keinoalustalla suuria pitoisuuksia mm. alumiinia.

37. Bakteerit, virukset ym. submikroskooppiset organismit

Vioittuneiden saksanpihtojen tyvellä manto-puun vesisilossa esiintyy joidenkin tutkimusten mukaan aina bakteereita, jotka vaikuttavat parenkymisoluihin aineenvaihduntatuotteillaan (etikka-, propioni- ja voihamppo), mistä johtuen kapillaarinesteen pH laskee normaalista 5,5–6,0:sta jopa 4,2:een. Tärkeimpiä sukuja eriste-tyistä 60:stä bakteerikannasta ovat *Corynebacterium*, *Erwinia*, *Krebsiella*, *Staphylococcus* ja *Clostridium* (Brill ym. 1981). Schmidtin (1985) mukaan terveissä kuusissa ei juuri ole mikro-organismeja, mutta ilmansaasteiden vaivaamista puista voidaan erityisesti rungon tyveltä eristää useita bakteereita ja sieniä. Schmidtin ja Kebernikin (1984) mukaan vioittuneista kuu-

sista tavataan yleisesti *Pseudomonas*-lajeja.

Heikentyneissä puissa bakteerien ja muiden puuta hajottamaan kykenemättömien mikro-bien toiminta voi mahdollisesti aiheuttaa niille lisästressin. Bakteeri-infektio leviää esim. puun tyvelle eri syistä syntyvistä haavoista, eikä vaurioitunut puu ilmeisesti pysty rajoittamaan mantopuuhun syntyvän patologisen vesisilon laajenemista.

Eräät tutkijat Saksassa ovat pyrkineet selvittämään myös virusten, rikkettsian kaltaisten (RLO) bakteereiden ja mykoplasman kaltaisten (MLO) organismien osuutta taudinaiheuttajina, mutta niiden osuudesta ei olla varmoja. Kituvista puista on tavattu mm. Poty-, Potex- ja Tobamo-ryhmien viruksia (Nienhaus ym. 1985). Paramasewaran ja Liese (1984) löysivät kahden ilman epäpuhtauksien vioittaman pyökin juurista RLO-organismeja ja nilasta MLO-organismeja. Ebrahim-Nesbat ja Heitefuss (1985) löysivät puolestaan pelkästään vioittuneiden kuusten hienojuurista RLO:n kaltaisia bakteereita. Näiden organismien latentti infektio puussa saattaa altistaa puita muille stressitekijöille (Kandler 1983, Nienhaus 1985).

KIRJALLISUUS — REFERENCES

- Alstad, D.N., Edmunds, G.F. Jr. & Weinstein, L.H. 1982. Effects of air pollutants on insect populations. Annual Review of Entomology 27: 369-384.
- Baltensweiler, W. von. 1983. Das Waldsterben und die Insekten. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 134(11): 901-903.
- Barannik, A.P. 1979. Ecological faunistic characteristics of dendrophilous entomofauna of green plantings in industrial cities of Kemerovo Province. Soviet Journal of Ecology 10(1): 56-59.
- Barklund, P. 1985. Pathogenic fungi in trees stressed by air pollution. Teoksessa: Symposium on the effects of air pollution on forest and water ecosystems. Helsinki. April, 1985. Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiö. s. 31-36.
- 1987. Occurrence and pathogenity of *Lophodermium piceae* appearing as an endophyte in needles of *Picea abies*. Transactions of the British mycological Society 89(3): 307-313.
- , Axelsson, G. & Unestam, T. 1983. Is infection of *Gremmeniella abietina* on Norway spruce favoured by acid precipitation? *Aquilo*, Ser. Botanica 19: 64-67.
- Bartlett, B.R. 1951. The action of certain 'inert' dust materials on parasitic Hymenoptera. Journal of Economic Entomology 44(6): 891-896.
- Bazire, P. 1983. L'incidence de la pollution atmosphérique sur les forêts. FAO:n Geneven kokous, huhtikuu 26-28, 1983. Moniste. 14 s.
- Bennett, W.H. 1954. The effect of needle structure upon the susceptibility of hosts to the pine needle miner (*Exoteleia pinifoliella* (Chamb.)) (Lepidoptera: Gelechiidae). Canadian Entomologist 86(2): 49-54.
- Bewan, R.J. & Greenhalgh, G.N. 1976. *Rhytisma acerinum* as a biological indicator of pollution. Environmental Pollution 10: 271-285.
- Blaschke, H. 1981. Veränderungen bei der Feinwurzelentwicklung in Weisstannenbeständen. Forstwissenschaftliches Centralblatt 100: 190-195.
- Bragg, R.J. & Manion, P.D. 1984. Evaluation of possible effects of acid rain on *Scleroderris* canker of red pine in New York. Teoksessa: Manion, P.D. (toim.). *Scleroderris* canker of conifers. Nijhoff/Junk Publ. s. 130-141.
- Brill, H., Bock, E. & Bauch, J. 1981. Über die Bedeutung von Mikroorganismen im Holz von *Abies alba* Mill. für das Tannensterben. Forstwissenschaftliches Centralblatt 100: 195-206.
- Butin, H. & Wagner, C. 1985. Mykologische Untersuchungen zur Nadelröte der Fichte. Forstwissenschaftliches Centralblatt 104: 178-186.
- Bösener, R. 1969. Zum Vorkommen rindenbrütender

- Schadinsekten in rauchgeschädigten Kiefern- und Fichtenbeständen. *Archiv für Forstwesen* 18 (9/10): 1021-1026.
- Capecki, Z. 1982. Masowe wystąpienie zasnuj wysoko-górskiej -Cephalcia falleni (Dalm.) (Pamphiliidae, Hymenoptera). Summary: Mass occurrence of *Cephalcia falleni* (Dalm.) (Pamphiliidae, Hymenoptera) in the Gorce. *Sylwan* 126 (4): 41-50.
- Carlson, C.E. & Dewey, J.E. 1971. Environmental pollution by fluorides in Flathead National Forest and Glacier National Park. USDA Forest Service, Division State & Private Forestry, Forest Insect Research Branch. 53 s.
- Charles, P.-J. & Villemant, C. 1977. Modifications des niveaux de population d'insectes dans les jeunes plantations de pins sylvestres de la forêt de Roumare (Seine-Maritime) soumises à la pollution atmosphérique. *Comptes Rendus des recherches de l'academie d'agriculture de France* 63(8): 502-510.
- Chiba, O. & Tanaka, K. 1968. The effect of sulfur dioxide on the development of pine needle blight caused by *Rhizosphaera kalkhoffii* Bubak. *Journal of Japanese forestry society* 50: 135-139.
- Chłodny, J. 1977. Biedronki (Coccinellidae) w uprawach brzozy brodawkowatej (*Betula verrucosa* Ehrh.) pozostających pod wpływem szkodliwego oddziaływania przemysłu. Zusammenfassung: Marienkäfer (Coccinellidae) in Industriebeeinflussten Kulturen der gemeinen Birke (*Betula verrucosa* Ehrh.). *Prace, Instytut Badawczy Leśnictwa* 533: 61-72.
- 1983a. Zgrupowania entomofagicznych stawonogów (Arthropoda) w koronach brzozy brodawkowatej (*Betula verrucosa* Ehrh.) upraw lésnych na terenach przemysłowych górnego Śląska. Zusammenfassung: Gruppen Entomophager Gliederfüssler (Arthropoda) in Kronen der Warzenbirke (*Betula verrucosa* Ehrh.) in Forstkulturen im Industriegebiet des Oberschlesiens. *Folia Forestalia Polonica* 25A: 115-116.
- 1983b. Wpływ Skażeń przemysłowych na liczebność pochwika *Coleophora fuscedinella* Z. (Coleophoridae, Lep.). Abstract: Effect of the industrial pollutions on the abundance of *Coleophora fuscedinella* Z. (Coleophoridae, Lep.). *Bulletin Entomologique de Pologne* 53: 411-416.
- & Styfi-Bartkiewicz, B. 1982. Oddziaływanie skażeń przemysłowych na zagęszczenie populacji owadów zasiedlających młodniki brzozy brodawkowatej (*Betula verrucosa* Ehrh.). Summary: Impact of industrial pollution upon population density of insects inhabiting thickets of the common birch (*Betula verrucosa* Ehrh.). *Sylwan* 126 (4): 31-39.
- Clausen, I.H.S. 1984. Notes on the impact of air pollution (SO₂ & Pb) on spider (Araneae) populations in North Zealand, Denmark. *Entomologiske Meddelelser* 52(1): 33-39.
- Cobb, F.W. Jr. & Stark, R.W. 1970. Decline and mortality of smog-injured *Ponderosa* pine. *Journal of Forestry* 68(3): 147-149.
- , Wood, D.L., Stark, R.W. & Miller, P.R. 1968. Photochemical oxidant injury and bark beetle (Coleoptera: Scolytidae) infestation of ponderosa pine. II. Effect of injury upon physical properties of oleoresin, moisture content and phloem thickness. *Hilgardia* 39(6): 127-134.
- Cooke, R.C. & Rayner, A.D.M. 1984. Ecology of saprotrophic fungi. Longman. 415 s.
- Costonis, A.C. & Sinclair, W.A. 1972. Susceptibility of healthy and ozone-injured needles of *Pinus strobus* to invasion by *Lophodermium pinastri* and *Aureobasidium pullulans*. *European Journal of Forest Pathology* 2: 65-73.
- Dam, B.C. van & Kam, M. de. 1984. *Sphaeropsis sapinea* (*Diplodia pinea*), oorzaak van het afsterven van eindscheuten bij *Pinus* in Nederland. Summary: *Sphaeropsis sapinea*, cause of dieback of top shoot of *Pinus* in the Netherlands. *Nederlands Bosbouw-tijdschrift* 56: 173-177.
- Dewey, J.E. 1973. Accumulation of fluorides by insects near an emission source in Western Montana. *Environmental Entomology* 2(2): 179-182.
- Domanski, S. 1978. Fungi occurring in forests injured by air pollutants in the Upper Silesia and Cracow Industrial Regions of Poland. VI. Higher fungi colonizing the roots of trees in converted forest stands. *Acta Societas Botanicorum Poloniae* 42(3): 285-295.
- , Kowalski, S. & Kowalski, T. 1977. Grzyby występujące w drzewostanach objętych szkodliwym oddziaływaniem emisji przemysłowych w Górnośląskim i Krakowskim Okręgu Przemysłowym. V. Grzyby zasiedlające nadziemne części drzew w przebudowanych drzewostanach w latach 1971-1975. Summary: Fungi occurring in forests injured by air pollutants in the Upper Silesia and Cracow Industrial Regions. V. Fungi inhabiting the overground portions of trees used in the regeneration of stands converted in 1971-1975. *Acta Mycologica* 13 (2): 229-243.
- Donaubauer, E. 1984. Experiences with Scleroderis canker on *Pinus cembra* L. in afforestations of high altitude. Teoksessa: Manion, P.D. (toim.). Scleroderis canker of conifers. *Nijhoff/Junk Publ.* s. 158-161.
- Ebeling, W. 1971. Sorptive dusts for pest control. *Annual Review of Entomology* 16: 123-158.
- Ebrahim-Nesbat F. & Heitefuss, R. 1985. Rickettsien-ähnliche Bakterien (RLO) in Feinwurzeln erkrankter Fichten unterschiedlichen Alters. *European Journal of Forest Pathology* 15: 182-187.
- Edmunds, G.F. Jr. 1973. Ecology of black pineleaf scale (Homoptera: Diaspididae). *Environmental Entomology* 2(5): 765-777.
- Feldman, A.W. & Caroselli, N.E. 1951. Soil and tree acidity in relation to susceptibility to Dutch elm disease. *Phytopathology* 41: 12.
- Finney, G.L. & Fisher, T.W. 1964. Culture of entomophagous insects and their hosts. Teoksessa: Debach, P. (toim.) Biological control of insect pests and weeds II. Rheinhold. New York. s. 255-328.
- Flückiger, W., Oertli, J.J. & Baltensweiler, W. 1978. Observations of an aphid infestation on hawthorn in the vicinity of a motorway. *Naturwissenschaften* 65 (12): 654-655.
- Fokkema, N.J. 1976. Antagonism between fungal saprophytes and pathogens on aerial plant surfaces. Teoksessa: Dickinson, C.H. & Preece, T.F. (toim.). Microbiology of aerial plant surfaces. Academic Press. s. 487-506.
- Führer, E. 1985. Air pollution and the incidence of forest insect problems. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 99(4): 371-377.
- Garrett, H.E., Carney, J.L. & Hedrick, H.G. 1982. The effects of ozone and sulfur dioxide on respiration of ectomycorrhizal fungi. *Canadian Journal of Forest Research* 12: 141-145.
- Gibbs, J.N. 1967. The role of host vigour in the susceptibility of pines to *Fomes annosus*. *Annals of Botany* 31: 803-815.
- Giger, W. 1986. Spurenverunreinigungen in der Atmosphäre. *Technische Rundschau* 78: 78-81.
- Godzik, P. & Sassen, M.M.A. 1978. A scanning electron

- microscope examination on *Aesculus hippocastanum* L. leaves from control and air polluted areas. *Environmental Pollution* 17: 13-18.
- Grill, D. 1973. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen an SO₂ belasteten Fichtennadeln. *Phytopathologische Zeitschrift* 78: 75-80.
- Grzywacz, A. 1973. Sensitivity of *Fomes annosus* Fr. Cooke and *Schizophyllum commune* Fr. to air pollution with sulphur dioxide. *Acta Societas Botanicorum Poloniae* 42(3): 347-360.
- 1976a. Występowanie grzybów patogenicznych w drzewostanach nadl. Olek będących pod wpływem przemysłowych zanieczyszczeń powietrza. Summary: Occurrence of pathogenic fungi in stands of the Olek forest district situated within the impact of industrial air pollution. *Folia Forestalia Polonica (Ser. A)* 22: 149-163.
- 1976 b. Wpływ dwutlenku siarki na wzrost niektórych patogenicznych grzybów drzew leśnych. Summary: Impact of sulphur dioxide upon the growth of certain pathogenic fungi of forest trees. *Folia Forestalia Polonica (Ser. A)* 22: 165-174.
- & Ważny, J. 1973. The impact of industrial air pollutants on the occurrence of several important pathogenic fungi of forest trees in Poland. *European Journal of Forest Pathology* 3: 129-141.
- Göbl, F. & Mutsch, F. 1985. Schwermetallbelastung von Wäldern in der Umgebung eines Hütenwerkes in Brixlegg/Tirol. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen* 102(1): 28-40.
- Ham, D.L. 1971. The biological interactions of sulfur dioxide and *Scirrhia acicola* on loblolly pine. Ph. D. thesis, Duke Univ., Durham.
- Harjavallan ympäristöilman perustutkimus. 1980. Ympäristökonsultit Oy. 22 s.
- Heagle, A.S. 1973. Interactions between air pollutants and plant parasites. *Phytopathology* 11: 365-388.
- & Strickland, A. 1972. Reaction of *Erysiphe graminis* f.sp. *hordei* to low levels of ozone. *Phytopathology* 62: 1144-1148.
- Heliövaara, K. 1986. Occurrence of *Petrova resinella* (Lepidoptera, Tortricidae) in a gradient of industrial air pollutants. *Silva Fennica* 20(2): 83-90.
- , Terho, E. & Koponen, M. 1982. Parasitism in the eggs of the pine bark-bug, *Aradus cinnamomeus* (Heteroptera, Aradidae). *Annales Entomologici Fennici* 48: 31-32.
- & Väisänen, R. 1986. Industrial air pollution and the pine bark bug, *Aradus cinnamomeus* (Heteroptera, Aradidae). *Journal of Applied Entomology* 101: 469-478.
- Hibben, C.R. 1966. Sensitivity of fungal spores to sulfur dioxide and ozone. *Phytopathology* 56: 880-881.
- & Stotzky, G. 1969. Effects of ozone on the germination of fungus spores. *Canadian Journal of Microbiology* 15(10): 1187-1196.
- & Walker, J.T. 1966. A leaf roll-necroses complex of lilacs in an urban environment. *American Society of Horticultural Science* 89: 636-642.
- Hintikka, V. 1987. Alumiinin ja mangaanin vaikutuksia metsämaaperän katasientien kasvuun. Abstract: Aluminium and manganese tolerance in ectomycorrhizal and saprophytic Basidiomycetes. *Aquilo, Ser. Botanica* 25(1): 68-70.
- Horn, M. 1985. Effects of air pollution and acid rain on fungal and bacterial diseases of trees. A literature review. *Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Uitvoerig verslag* 20(1). 69 s.
- Huttunen, S. 1975. The influence of air pollution on the forest vegetation around Oulu. *Acta Universitatis Ouluensis A* 33 (Biologia 2). 78 s.
- 1978. The effects of air pollution on provenances of Scots pine and Norway spruce in northern Finland. *Silva Fennica* 12(1): 1-16.
- & Laine, K. 1983. Effects of air-borne pollutants on the surface wax structure of *Pinus sylvestris* needles. *Annales Botanici Fennici* 20: 79-86.
- , Kärenlampi, L. & Kolari, K. 1981. Changes in osmotic potential and related physiological variables in needles of polluted Norway spruce (*Picea abies*). *Annales Botanici Fennici* 18(1): 63-71.
- Hågvar, S., Abrahamson, G. & Bakke, A. 1976. Angrep av furuskuddmøll (*Exoteleia dodecella* L.) på Sørlandet. Mulig sammenheng med sur nedbør. Summary: Attack by the pine bud moth (*Exoteleia dodecella* L.) in southernmost Norway: possible effect of acid precipitation. *Intern rapport* 15: 1-19.
- Ilmanlaatuöryhmän mietintö. *Komiteamietintö* 1979:14. 196 s.
- Ilmatieteen laitoksen tiedote Lapin rikkilaankestä. 1988. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaatuosasto. 2 s.
- James, R.L. & Cobb, F.W. Jr. 1982. Variability in virulence of *Heterobasidion annosum* isolates from ponderosa and Jeffrey pines in areas of high and low photochemical air pollution. *Plant Disease* 66: 835-837.
- , Cobb, F.W. Jr., Miller, P.R. & Parmeter, J.R. Jr. 1980a. Effects of oxidant air pollution on susceptibility of pine roots to *Fomes annosus*. *Phytopathology* 70: 560-563.
- , Cobb, F.W. Jr., Wilcox, W.W. & Rowney, D.L. 1980b. Effects of photochemical oxidant injury of ponderosa and Jeffrey pines on susceptibility of sapwood and freshly cut stumps to *Fomes annosus*. *Phytopathology* 70: 704-708.
- , Cobb, F.W. Jr. & Parmeter, J.R. Jr. 1982. Effects of ozone on sporulation, spore germination and growth of *Fomes annosus*. *Phytopathology* 72: 1205-1208.
- Jancarik, V. 1961. Vyskyt dřevokazných hub kourem poskozované oblasti krusných hor. *Lesnictví* 7: 667-692.
- Järvinen, O. 1982. Sadeveden happamoituminen Suomessa. Summary: The acidification of precipitation in Finland. *Luonnon Tutkija* 86: 7-10.
- Kainulainen, E., Wulff, A. & Holopainen, J. 1987. Oksakirvojen lisääntyminen ilman epäpuhtauksille altistuissa kuusen taimissa. Abstract: Population increase of Lachnid aphids in Norway spruce seedlings exposed to air pollutants. *Aquilo, Ser. Botanica* 25(2): 48-53.
- Kandler, O. 1983. Waldsterben: Emissionen oder Epidemie-Hypothese? *Naturwissenschaftliches Rundschau* 36: 488-490.
- Katayev, O.A., Golutvin, G.I. & Selikhovkin, A.V. 1983. Changes in arthropod communities of forest biocoenoses with atmospheric pollution. *Entomological Review* 62(1): 20-29.
- Kazda, M. & Glatzel, G. 1986. Schadstoffbelasteter Nebel fördert die Infektion von Fichtennadeln durch pathogene Pilze. *Allgemeine Forstzeitschrift* 18: 436-438.
- Keller, Th. & Hässler, R. 1986. The influence of a prolonged SO₂ fumigation on the stomatal reaction of spruce. *European Journal of Forest Pathology* 16: 110-115.
- Kowalski, T. 1981. Fungi infecting needles of *Pinus sylvestris* in Poland in relation to air pollution zone. Teoksessa: Millar C.S. (toim.) Current research on conifer needle diseases. *Proceedings, I.U.F.R.O*

- Working Party Needle Diseases. Sarajevo Yugoslavia 15-19 Sept. 1980: 93-98.
- 1983. Vorkommen von Pilzen in durch Luftverunreinigung geschädigten Wäldern im Oberschlesischen und Krakauer Industriegebiet. IX. Mykoflora von *Quercus robur* L. und *Q. rubra* L. an einem Standort mit mittlerer Immissionsbelastung. European Journal of Forest Pathology 13: 46-59.
 - & Budnik, M. 1977. Grzyby występujące w drzewostanach objętych szkodliwym oddziaływaniem emisji przemysłowych w Górnośląskim i Krakowskim Okregu Przemysłowym. II. Grzyby wyizolowane z plam infekcyjnych na żywych igłach sosnowych. Summary: Fungi occurring in forests injured by air pollutants in the Upper Silesia and Cracow Industrial Regions. II. Fungi isolated from infection spots on living Scotch pine needles. Acta mycologica 13 (1): 133-141.
 - & Lang, K.J. 1984. Die Pilzflora von Nadeln, Trieben und Ästen unterschiedlich alter Fichten (*Picea abies* (L.) Karst.) mit besonderer Berücksichtigung vom Fichtensterben betroffener Altbäume. Forstwissenschaftliches Centralblatt 103: 349-360.
 - Krause, G.H.M., Arndt, U., Brandt, C.J., Bucher, J., Kenk, G. & Matzner, E. 1985a. Forest decline in Europe: possible causes and etiology. International Symposium on Acid Precipitation, Muskoka Conference 1985 Sep. 15-20. Canada. 25 s. Käsikirjoitus.
 - , Jung, K.D. & Prinz, B. 1985b. Experimentelle Untersuchungen zur Aufklärung der neuartigen Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland. VDI-Berichte 560: 627-656.
 - Krzan, Z. & Siwecki, R. 1980. Recent studies on *Melampsora larici-populina* and *Melampsora pinitorqua* in Poland. Folia Forestalia 422: 14-16.
 - Kudela, M. & Novakova, E. 1962. Lesni skudci a skory zveri v lesich poskozovanych Kourem. Lesnictvi 6: 493-502.
 - Lackner, A.C. & Alexander, S.A. 1983. Root disease and insect infestations on air-pollution-sensitive *Pinus strobus* and studies of pathogenicity of *Vorticelladiella procera*. Plant Disease 67(6): 679-681.
 - Lang, K.J. 1977. Immissionsbelastung und Anfälligkeit gegenüber Schadpilzen und Insekten. Forstwissenschaftliches Centralblatt 96(1): 72-75.
 - & Schütt, P. 1974. Anatomische Untersuchungen zur Infektionsbiologie von *Scleroderris lagerbergii* Gr. (*Brunchorstia pinea* (Karst.) von Höhn). European Journal of Forest Pathology 4: 166-174.
 - Laurence, J.A. & Wood, F.A. 1978 a. Effects of ozone on infection of soybean by *Pseudomonas glycinae*. Phytopathology 68: 441-445.
 - & Wood, F. A. 1978 b. Effects of ozone on infection of wild strawberry by *Xanthomonas fragariae*. Phytopathology 68: 689-692.
 - , Reynolds, K.L., MacLean, D.C., Hudler, G.W. & Dochinger, L.S. 1984. Effects of sulfur dioxide on infection of red pine by *Gremmeniella abietina*. Teoksessa: Manion, P.D. (toim.). *Scleroderris* cancer of conifers. Nijhoff/Junk Publ. s. 122-129.
 - Leben, C. 1954. Influence of acid buffer sprays on infection of tomato leaves by *Alternaria solani*. Phytopathology 44: 101-107.
 - 1965. Epiphytic microorganisms in relation to plant disease. Annual Review of Phytopathology 3: 209-230.
 - Lehtiö, H. 1981. Effect of air pollution on the volatile oil in needles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Silva Fennica 15(2): 122-129.
 - Lettl, A. 1983. Effect of industrial SO₂ immissions on the epiphytic microflora of spruce. Folia Microbiologica 28: 187-194.
 - Lincoln, S.N. 1971. Economic effects of sulfur dioxide on forest growth. Air Pollution Control Association Journal 21: 81-86.
 - Livingston, W.H. & Blaschke, H. 1984. Deterioration of mycorrhizal short roots and occurrence of *Mycelium radicans atrovirens* on declining Norway spruce in Bavaria. European Journal of Forest Pathology 14: 340-348.
 - Lättilä, H. 1987. Otsonin esiintyminen Suomessa. Teoksessa: Anttila, P. & Kauppi, P. 1987. Happamoitumisprojektin tutkimusseminaari 21-24.4.1987. Esitelmien lyhennelmät. s. 20
 - Mahoney, M.J., Chevone, B.I., Skelly, J.M. & Moore, L.D. 1985. Influence of mycorrhizae on the growth of loblolly pine seedlings exposed to ozone and sulfur dioxide. Phytopathology 75: 679-682.
 - Malhotra, S.S. & Khan, A.A. 1984. Biochemical and physiological impact of major pollutants. Teoksessa: Treshow, M. (toim.). Air pollution and plant life. John Wiley & Sons. s. 113-158.
 - Mankovska, B. 1975. Vplyv imisií fluóru z hlinikárne na jeho obsah v rôznych vývojových štádiách obalovača mládnikového Rhyacionia buoliana Den. et Schiff. (Lepidoptera). Summary: Influence of fluorine immissions from an aluminium factory plant on its content in different developmental stages of European pine shoot moth *Rhyacionia buoliana* (Den. & Schiff.) (Lepidoptera). Biologia (Bratislava) 30: 355-360.
 - Manning, W.J. 1971. Effects of limestone dust on leaf condition, foliar disease incidence and leaf surface microflora of native plants. Environmental Pollution 2: 69-76.
 - 1976. The influence of ozone on plant surface microfloras. Teoksessa: Dickinson, C.H. & Preece, T.F. (toim.). Microbiology of aerial plant surfaces. Academic Press. s. 159-172.
 - , Feder, W.A. & Perkins, I. 1970. Ozone injury increases infection of Geranium leaves by *Botrytis cinerea*. Phyta 60:669-670.
 - Mansfield, T.A. & Majernik, O. 1970. Can stomata play a part in protecting plants against air pollutants. Environmental Pollution 1: 149-154.
 - Miller, P.R., Cobb, F.W. Jr. & Zavarin, E. 1968. Photochemical oxidant injury and bark beetle (Coleoptera: Scolytidae) infestation of ponderosa pine. III. Effect of injury upon oleoresin composition, phloem carbohydrates and phloem pH. Hilgardia 39(6): 135-140.
 - Neuvonen, S., Lindgren, M. & Suomela, J. 1987. Keinotekoisen happosateen vaikutus koivuvinlehtien laatuun kirvojen ravintona. Abstract: The effects of artificial acid rain on the quality of leaves for aphids. Aquilo, Ser. Botanica 25(2): 109-114.
 - Nienhaus, F. 1985. Zur Frage der parasitären Verseuchung von Forstgehölzen durch Viren und primitive Mikroorganismen. Allgemeine Forstzeitschrift 6: 119-124.
 - , Ebrahim-Nesbat, F., Fricke, M., Büttner, C. & Welter, K. 1985. Investigations on viruses from declining beech trees (*Fagus sylvatica* L.) in Rhineland and Westfalia, Federal Republic of Germany. European Journal of Forest Pathology 15: 402-411.
 - Nordlund, G., Pietarinen, M. & Tuovinen, J.-P. 1985. Rikkilaskeuman kotimainen osuus ja sen vähentäminen. Ympäristöministeriön ympäristön- ja luonnon-suojeluosaston julkaisu A:26. 31 s.
 - Osswald, W.F. & Elstner, E.F. 1986. Fichtenerkrankungen in den Hochlagen der Bayerischen Mittelgebirge. Berichte der Deutschen Botanischen Gesell-

- schaft 99: 313-339.
- , Heinisch, H. & Elstner, E.F. 1986. Einfluss von Mineralstoffernährung, Ozon und saurem Nebel auf den Gehalt der fungitoxischen Substanz p-Hydroxy-acetophenon in Fichtennadeln (*Picea abies* (L.) Karst.). Forstwissenschaftliches Centralblatt 105(4): 261-264.
- Paramasewaran, N. & Liese, W. 1984. Über das Vorkommen von Rickettsien-ähnlichen Bakterien und Mykoplasmen-ähnlichen Organismen in Buchen aus Waldschadensgebieten. European Journal of Forest Pathology 14: 373-377.
- Patton, R.F., Spear, R.N. & Blenis, P.V. 1983. The infection process in pines by *Gremmeniella abietina*. Teoksessa: Manion, P.D. (toim.). Scleroderris canker of conifers. Nijhoff/Junk Publ. s. 96-103.
- Pfeffer, A. 1963. Insektenschädlinge an Tannen im Bereich der Gasexhalationen. Zeitschrift für Angewandte Entomologie 51(2): 203-207.
- Prinz, B., Krause, G.H.M. & Stratmann, H. 1982. Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland. LIS-Berichte 28. 51 s.
- Przybylski, Z. 1974. Résultats d'observations relatives à l'influence des gaz et vapeurs de soufre sur les arbres fruitiers, arbustes et arthropodes aux alentours des usines et mines de soufre dans la région de Tarnobrzeg. Environmental Pollution 6 (1): 67-74.
- Ranft, H. 1968. Zur Bewirtschaftung rauchgeschädigter Fichtenjungbestände. Sozialistische Forstwirtschaft 18(10): 299-301, 319.
- Rehfuess, K.E. & Rodenkirchen, H. 1984. Über die Nadelröte-Erkrankung der Fichte (*Picea abies* Karst.) in Süddeutschland. Forstwissenschaftliches Centralblatt 103: 262-274.
- Reich, P.B., Schoettle, A.W., Stroo, H.F., Troiano, J. & Amundson, R.G. 1985. Effects of O₃, SO₂ and acidic rain on mycorrhizal infection in northern red oak seedlings. Canadian Journal of Botany 63: 2049-2055.
- Reid, R.W. 1962. Biology of the mountain pine beetle, *Dendroctonus monticolae* Hopkins, in the East Kootenay region of British Columbia. II. Behavior in the host, fecundity and internal changes in the female. Canadian Entomologist 94(6): 605-613.
- Renwick, J.A.A. & Potter, J. 1981. Effects of sulfur dioxide on volatile terpene emission from balsam fir. Air Pollution Control Association Journal 31: 65-66.
- Rich, S. & Tomlinson, H. 1967. Effects of ozone on conidiophores and conidia of *Alternaria solani*. Phytopathology 58: 444-446.
- Richard, C., Fortin, J.-A. & Fortin, A. 1971. Protective effect of an ectomycorrhizal fungus against the root pathogen *Mycelium radialis atrovirens*. Canadian Journal of Forest Research 1: 246-251.
- Roelofs, J.G.M., Kempers, A.J., Honijk, A.L.F.M. & Jamen, J. 1985. The effect of airborne ammonium sulfate on *Pinus nigra* var. *maritima* in the Netherlands. Plant and soil 84: 45-56.
- Rudinsky, J.A. 1966. Host selection and invasion by the Douglas fir beetle *Dendroctonus pseudotsugae* Hopkins in coastal Douglas-fir forests. Canadian Entomologist 98(1): 98-111.
- Saunders, W.A. 1973. Effects of atmospheric pollution on leaf surface microflora. Pesticide Science 4: 589-595.
- Scheffer, T.C. & Hedgcock, G.G. 1955. Injury to northwestern forest trees by sulfur dioxide from smelters. USDA Forest Service, Technical Bulletin 1117. 49 s.
- Schmidt, O. 1985. Occurrence of microorganism in the wood of Norway spruce trees from polluted sites. European Journal of Forest Pathology 15: 1-10.
- & Kebernik, U. 1984. Characterization of microorganisms from spruce trees from polluted sites. Material and Organismen 19(2): 81-83.
- Schnaider, Z. & Chlodny, J. 1977. Entomofauna of forest plantations in the zone of disastrous industrial pollution. Teoksessa: Wolak, J. (toim.). Relationships between increase in air pollution toxicity and elevation above ground. Forest Research Institute, Warszawa. s. 81-108.
- & Sierpinski, Z. 1967. Stan zagrożenia przez Owady niektórych gatunków drzew lésnych w okolicach przemysłowych slaska. Zusammenfassung: Gefährdungszustand mancher forstlichen Holzarten in Industriegebieten Schlesiens durch Insekten. Prace, Instytut Badawczy Lesnictwa 316: 113-150.
- Scholz, F. & Stephan, B.R. 1974. Physiologische Untersuchungen über die unterschiedliche Resistenz von *Pinus sylvestris* gegen *Lophodermium pinastri*. I. Die Bufferkapazität in Nadeln. European Journal of Forest Pathology 4: 118-126.
- Schuck, H.J. 1981. Untersuchungen über die Wasserleitung in am Tannensterben erkrankten Weisstannen (*Abies alba* Mill.). Forstwissenschaftliches Centralblatt 100(3-4): 184-189.
- Schütt, P. 1981a. Erste Ansätze zur experimentellen Klärung des Tannensterbens. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 132: 443-452.
- 1981b. Die Verteilung des Tannennasskerns in Stamm und Wurzel. Forstwissenschaftliches Centralblatt 100 (3-4): 174-179.
- 1985. Das Waldsterben eine Pilzkrankheit? Forstwissenschaftliches Centralblatt 104: 169-177.
- & Schuck, H.J. 1972. Zusammenhänge zwischen Rauchhärte und Cuticularwachsen bei Koniferen. Mitteilungen, Forstliche Versuchsanstalt Wien 97: 399-417.
- Schönhar, S. 1982. Untersuchungen über das Vorkommen pilzlicher Parasiten an Feinwurzeln der Douglasie. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 153(11): 205-208.
- Shafer, S.R., Grand, L.F., Bruck, R.I. & Heagle A.S. 1985. Formation of ectomycorrhizae on *Pinus taeda* seedlings exposed to simulated acidic rain. Canadian Journal of Forest Research 15(1): 66-71.
- Shields, W.J. & Hobbs, S.D. 1979. Soil nutrient levels and pH associated with *Armillaria mellea* on conifers in northern Idaho. Canadian Journal of Forest Research 9: 45-48.
- Shriner, D.S. 1977. Effects of simulated rain acidified with sulfuric acid on host-parasite interactions. Water, Air, and Soil Pollution 8: 9-14.
- 1980. Effects of rainfall acidification on plant pathogens. Teoksessa: Hutchinson, T.C. & Havas, P. (toim.). Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems. Plenum Press. s. 435-442.
- Siepmann, R. 1976. Ein Beitrag zur Infektionsbiologie des durch *Scleroderris lagerbergii* verursachten Schwarzkiefertriebsterbens. European Journal of Forest Pathology 6: 109-122.
- Sierpinski, Z. 1962. Skośnik tuzinek (*Exoteleia dodecella* L.) groźny szkodnik lasu w Polsce. Summary: *Exoteleia dodecella* L. the injurious insect of pine forests in Poland. Prace, Instytut Badawczy Lesnictwa 247: 93-210.
- 1966. Schädliche Insekten an jungen Kiefernbeständen in Rauchschadengebieten in Oberschlesien. Archiv für Forstwesen 15(10): 1105-1114.
- 1967. Einfluss von industriellen Luftverunreinigungen auf die Populationsdynamik einiger primärer

- KiefernSchädlinge. München, Referate V, Section 24, XIV Kongress IUFRO. s. 518-531.
- 1968. Wpływ gazów i dymów przemysłowych na dynamikę populacji niektórych szkodników pierwotnych sosny. Zusammenfassung: Einfluss von Industriellen Luftverunreinigungen auf die Populationsdynamik einiger Primärer KiefernSchädlinge. Prace, Instytut Badawczy Lesnictwa 365(13): 149.
 - 1969. Przydatność drzew pułapkowych do zwalczania szkodników wtórnych sosny na terenach uprzemysłowionych. Summary: Effectiveness of trap trees for the control of secondary pests of pine industrial regions. Sylwan 113(8): 54.
 - 1970. Gospodarcze znaczenie szkodliwych owadów w drzewostanach sosnowych objętych chronicznym działaniem przemysłowych zanieczyszczeń powietrza. Summary: Economic significance of noxious insects in pine stands under the chronic impact of the industrial air pollution. Sylwan 114(5): 71.
 - 1971. Szkodniki wtórne sosny w drzewostanach znajdujących się w zasięgu działania emisji przemysłowych zawierających związki azotowe. Summary: Secondary noxious insects of pine in stands growing on areas with industrial air pollution containing nitrogen compounds. Sylwan 115(10): 18.
 - 1972. Występowanie przedziorka sosnowca (*Paratetranychus* = (*Oligonychus*) *ununguis* Jacoby) na sosnie pospolitej w zasięgu działania emisji przemysłowych. Summary: The occurrence of the spruce spider (*Paratetranychus* = (*Oligonychus*) *ununguis* Jacoby) on Scotch pine in the range of the influence of industrial air pollution. Prace, Instytut Badawczy Lesnictwa 433: 108.
 - 1979. Schadinsekten auf Laubbaumarten als folge von Stickstoffhaltigen Immissionen. Zbornik 1-390: 225-232.
 - 1980. Pests of spruce (*Picea excelsa* Lk.) in industrial regions of Poland. Teoksessa: Klimo, E. (toim.) Stability of spruce forest ecosystems. International Symposium, Brno, Oct. 1979. s. 335-337.
 - 1981. Rckgang der Tanne (*Abies alba* Mill.) in Polen. European Journal of Forest Pathology 11: 153-162.
 - 1984. Über den Einfluss von Luftverunreinigungen auf Schadinsekten in polnischen Nadelbaumbeständen. Forstwissenschaftliches Centralblatt 103(1): 83-91.
 - & Chlodny, J. 1977. Entomofauna of forest plantations in the zone of disastrous industrial pollution. Teoksessa: Wolak, J. (toim.) Relationship between increase in air-pollution toxicity and elevation above ground. Forest Research Institute, Warszawa. s. 80-170.
- Sinclair, W.A., Sylvia, D.M. & Larsen, A.O. 1982. Disease suppression and growth promotion in Douglasfir seedlings by the ectomycorrhizal fungus *Laccaria laccata*. Forestry Science 28: 191-201.
- Smith, W.H. 1981. Air pollution and forests. Interactions between air contaminants and forest ecosystems. Springer Verlag. s. 228-266.
- , Staskawicz, B.J. & Harkov, R.S. 1978. Trace-metal pollutants and urban-tree leaf pathogens. Transactions of the British mycological Society 70(1): 29-33.
- Soikkeli, S. & Kärenlampi, L. 1984. Cellular and ultrastructure effects. Teoksessa: Treshow, M. (toim.). Air pollution and plant life. John Wiley & Sons Ltd. s. 159-174.
- Stark, R.W. & Cobb, F.W. Jr. 1969. Smog injury, root diseases and bark beetle damage in ponderosa pine. California Agriculture 23: 13-15.
- , Miller, P.R., Cobb, F.W. Jr., Wood, D.L. & Parmeter, J.R. Jr. 1968. I. Incidence of bark beetle infestation in injured trees. Hilgardia 39(6): 121-126.
- Stenlid, J. 1986. Biochemical and ecological aspects of the infection biology of *Heterobasidion annosum*. SLU, Institut för Skoglig mykologi och patologi, Uppsala. Väitöskirja.
- Stephan, B.R. & Scholz, F. 1979. Weitere Untersuchungen zur unterschiedlichen Anfälligkeit von *Pinus nigra* - Klonen gegenber *Scleroderis lagerbergii*. European Journal of Forest Pathology 9: 46-51.
- , Scholz, F. & Singh, U.P. 1984. Physiological and biochemical factors in Austrian pine clones with different susceptibility to *Gremmeniella abietina*. Teoksessa: Manion, P.D. (toim.). *Scleroderis* canker of conifers. Nijhoff/Junk Publ. s. 181-188.
- Stewart, D., Treshow, M. & Harner, F. M. 1973. Pathological anatomy of conifer needle necrosis. Canadian Journal of Botany 51: 983-988.
- Tanaka, K. 1980. Studies on relationship between air pollutants and microorganisms in Japan. USDA Forest Service General Technical Report PSW- 43: 110-116.
- Templin, E. 1962. Zur Populationsdynamik einiger KiefernSchadinsekten in rauchgeschädigten Beständen. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden 11(3): 631-636.
- Thalenhorst, W. 1972. Zur Frage der Resistenz der Fichte gegen die Gallenlaus *Sacchiphantes abietis* (L.). Zeitschrift für Angewandte Entomologie 71: 225-249.
- 1975. Untersuchungen ber den Einfluss fluorhaltiger Abgase auf die Disposition der Fichte fr den Befall durch die Gallenlaus *Sacchiphantes abietis* (L.). Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 81(12): 717-727.
- Treshow, M., Harner, F.M., Price, H.E. & Kormelink, J.R. 1969. Effects of ozone on growth, lipid metabolism, and sporulation of fungi. Phytopathology 59: 1223-1225.
- Typen oksidien päästöt Suomessa 1980- ja 1990- luvuilla. Ympäristöministeriö. 1986. Ympäristön- ja luonnon-suojeluosasto. Sarja A: 44. 115 s.
- Ulrich, B. 1981. Eine Ökosystemare Hypothese ber die Ursachen des Tannensterbens (*Abies alba* Mill.). Forstwissenschaftliches Centralblatt 100: 228-236.
- Villemant, C. 1980. Influence de la pollution atmosphérique sur les microlépidoptères du pin en forêt de Roumare (Seine-Maritime). Summary. Acta Oecologica 1(4): 291-306.
- 1981. Influence de la pollution atmosphérique sur les populations d'aphides du pin sylvestre en forêt de Roumare (Seine-Maritime). Abstract: The influence of atmospheric pollution on the populations of aphids of Scots pine in the Roumare forest (Seine-Maritime). Environmental Pollution 24(4): 242-262.
- Weidensaul, T.C. & Darling, S.L. 1979. Effects of ozone and sulfur dioxide on the host-pathogen relationship of Scotch pine and *Scirrhia acicola*. Phytopathology 69: 939-941.
- Weismann, L. & Svatarakova, L. 1974. Toxicity of sodium fluoride on some species of harmful insects. Biologia (Bratislava) 29(11): 847-852.
- Wentzel, K.F. von. & Ohnesorge, B. 1961. Zum Auftreten von Schadinsekten bei Luftverunreinigung. Forstarchiv 32(9): 177-186.
- Wenzel, G. von & Kreuzer, K. 1971. Der Einfluss des Manganmangels auf die Resistenz der Fichten (*Picea abies* Karst.) gegen *Fomes annosus* (Fr.) Cooke. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 128 (2): 123-129.

Wiackowski, S.K. 1978. Wpływ przemysłowych zanieczyszczeń powietrza na entomofagi skośnika tuzinka (*Exoteleia dodecella* L.) i mszyc oraz na inne owady występujące na sośnie w okolicy Tomaszowa Maz. Summary: Impact of industrial air pollution upon parasites of pine bud moth (*Exoteleia dodecella* L.), aphid predators and certain other insects occurring on pine in vicinity of Tomaszow Maz. *Folia Forestalia Polonica* 23A: 186-187.

Wilkinson, R.C. 1975. Silicon antitranspirant increases susceptibility of eastern white pine to the white-pine weevil. USDA Forest Service, Research Paper NE-326.

Zöttl, H.W. 1985. Rolle des Bodens bei der Entwicklung der Waldschäden. *LIS - Berichte* 57: 73-86.

Total of 187 references.

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:* Kirkkosaarentie, 91500 Muhos, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

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

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

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

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

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* Eteläranta 55
96300 Rovaniemi, Finland
Puh. — *Phone:* (960) 15 721

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

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

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



- No 705 Turkia, Kyösti & Kellomäki, Seppo: Kasvupaikan viljavuuden ja puuston tiheyden vaikutus nuorten mäntyjen oksien läpimitaan.
Influence of the site fertility and stand density on the diameter of branches in young Scots pine stands.
- No 706 Laiho, Olavi: Metsiköiden alttius tuulituhoille Etelä-Suomessa.
Susceptibility of forest stands to windthrow in southern Finland.
- No 707 Järveläinen, Veli-Pekka: Hakkuumahdollisuuksien käyttöön vaikuttavat tilakohtaiset tekijät maan länsi- ja itäosissa.
Factors affecting the use of the allowable cut in western and eastern parts of Finland.
- No 708 Rusanen, Mari & Velling, Pirkko: Satoindeksin vaihtelu ja korrelointi kasvu- ja laatuominaisuuksien kanssa nuorissa männyn jälkeläiskokeissa.
Harvest index in young Scots pine progeny tests, variation and correlation with growth and quality traits.
- No 709 Lipas, Erkki: Typpilannoituksen ajankohta kangasmetsissä.
Timing of nitrogen fertilization on mineral soils.
- No 710 Metsäntutkimuslaitoksen julkaisut 1987.
Abstracts of publications of the Finnish Forest Research Institute, 1987.
- No 711 Pajuoja, Heikki: Suomen puunkäyttö ja poistuma 1985—1987.
Wood consumption and total drain in Finland, 1985—1987.
- No 712 Rikkonen, Pentti: Etelä-Suomen pikkutukkien tilavuuden määrittäminen latvaläpimitan perusteella.
Volume determination of small sized logs in southern Finland using top diameter.
- No 713 Mattila, Eero: Suomen poronhoitoalueen talvilaitumet.
The winter ranges of the Finnish reindeer management area.
- No 714 Paavilainen, Eero & Tiihonen, Paavo: Suomen suometsät vuosina 1951—1984.
Peatland forests in Finland in 1951—1984.
- No 715 Metsätalastollinen vuosikirja 1987.
Yearbook of Forest Statistics, 1987.
- No 716 Nevalainen, Seppo & Liukkonen, Kirsi M. H: Ilman epäpuhtauksien vaikutus biottisiin metsätuhoihin. Kirjallisuuskatsaus.
The effects of air pollution on biotic forest diseases and pests. A literature review.