

TUOMEN MERKITYKSESTÄ KUUSEN
TUOMIRUOSTESIENEN, PUCCINIASTRUM
PADI (KUNZE & SCHM.) DIET.,
ESIINTYMISELLE KUUSESSA

SAKARI LILJA

SUMMARY:

ON THE SIGNIFICANCE OF THE BIRD-CHERRY (*PRUNUS PADUS* L.) FOR THE
OCCURRENCE OF THE RUST, *PUCCINIASTRUM PADI* (KUNZE & SCHM.) DIET.,
IN SPRUCE

Hyväksytty: 27. 4. 1966

1. Johdanto

Ruostesienet ovat ehdottomia loisia. Ne pystyvät kasvamaan ja lisääntymään vain elävissä isäntäkasveissa. Metsäpuissa loisivia ruostesieniä määritettiin useita jo viime vuosisadalla (vrt. LIRO 1908), mutta tiedot niiden elintavoista olivat kuitenkin vielä silloin niukkoja ja osittain virheellisiä. Niinpä jo v. 1805 nimettiin kuusen käpyjä saastuttava sieni, *Licea strobilina* ALB. & SWEIN. ja v. 1817 tuomen lehdissä loisiva sieni, *Uredo padi* KUNZE & SCHM., mutta vasta myöhemmin on päästy selville, että kysymyksessä ei olekaan kaksi eri sienilajia, vaan saman lajin, kuusen tuomiruosteen aiheuttajan, *Pucciniastrum padin* (KUNZE & SCHM.) DIET., syn. *P. areolatum* (FR.) OTTH. ym. (vrt. LIRO 1908, s. 503; HASSEBRAUK 1962, s. 27), eri kehitysasteita.

Nykyisin tiedetään, että kuusen tuomiruostesieni on muuttoloinen. Sen elinkierto kuuluu useita kehitysasteita, joista eräät loisivat kuudessa ja eräät tuomessa. Sieni talvehtii maahan varisseissa tuomen lehdissä talvi-itiönä, jotka

itävät myöhään keväällä. Itämisen tuloksena syntyy lahoamistilassa olevan tuomen lehden pintaan alkeisrihmoja (promycelium) ja niihin alkukuumia (sporidium), jotka saastuttavat kuusen emikukintoja; joskus myös kasvuvaiheessa olevat versot voivat saada tartunnan (KLEBAHN 1899, 1900; JØRSTAD 1925; ROLL-HANSEN 1947).

Sairastuneista emikukinnoista ei kehity normaaleja käpyjä, vaan käpysuomujen pintaan syntyy siementen asemesta taudinaiheuttajan itiöryhmiä: ensin pikkukuroma-aste (spermogonium) ja sen jälkeen helmi-itiöaste (aecidium). Pienet, nuppineulan päätä muistuttavat helmi-itiömät ovat selvästi nähtävissä jo saman kasvukauden lopulla, jolloin saastuminen tapahtui, mutta ne kypsyvät ja avautuvat vasta seuraavana kesänä tai joskus vielä vuotta myöhemminkin (ROLL-HANSEN 1947). Suuret määrät infektiokykyistä itiömassaa joutuu tällöin ilmavirtojen vietäväksi.

Helmi-itiöt eivät pysty saastuttamaan kuusta ts. sitä isäntäkasvilajia, missä ne ovat syntyneet, mutta sen sijaan itävät jouduttuaan tuomen lehdille. Onnistuneen infektion jälkeen kasvaa lehtiin aluksi taudinaiheuttajan rihmastoja ja myöhemmin tähän rihmastoon kesäitiöryhmiä lehden alapinnalle. Kesäitiöt pystyvät saastuttamaan toisia tuomen lehtiä ja kun saman kasvukauden aikana syntyy useita kesäitiöpolvia, leviää tauti tällä kehitysasteellaan tuomikasvustoissa nopeasti. Myöhemmin kesällä tai alkusyksyllä alkaa saastuneiden lehtien yläpinnan epidermissoluissa muodostua taudinaiheuttajan talvi-itiöryhmiä, jotka itävät seuraavana keväänä ja kehitys jatkuu kuten edellä on esitetty. Elinkierto kokonaisuudessaan on näinollen joko kaksi vuotta tai enemmän riippuen siitä talvehtivatko helmi-itiöt yhden vai useamman kerran (vrt. GÄUMANN 1959).

Isäntäkasvia vaihtavan ruostesienen eri isäntäkasvilajit eivät kasvisystematiikassa tavallisesti sijoitu toisilleen läheisiin ryhmiin ts. eivät ole sukulaislajeja (KLEBAHN 1904; JØRSTAD 1962). Niinpä *Pucciniastraceae*-heimossa, johon kuusen tuomiruosteen aiheuttaja kuuluu, pikkukuroma- ja helmi-itiöasteet loisivat havupuissa, mutta kesä- ja talvi-itiöasteet koppisiemenisissä kasveissa. Usein kuitenkin molemmat lajit ovat saman kasviyhdyksunnan tai alueellisesti toisiaan lähellä olevien kasviyhdyksuntien jäseniä, millä luonnollisesti on ruostesienen säilymiselle ja leviämislle sekä sen aiheuttaman taudin voimakkuudelle suuri merkitys (vrt. JØRSTAD 1964).

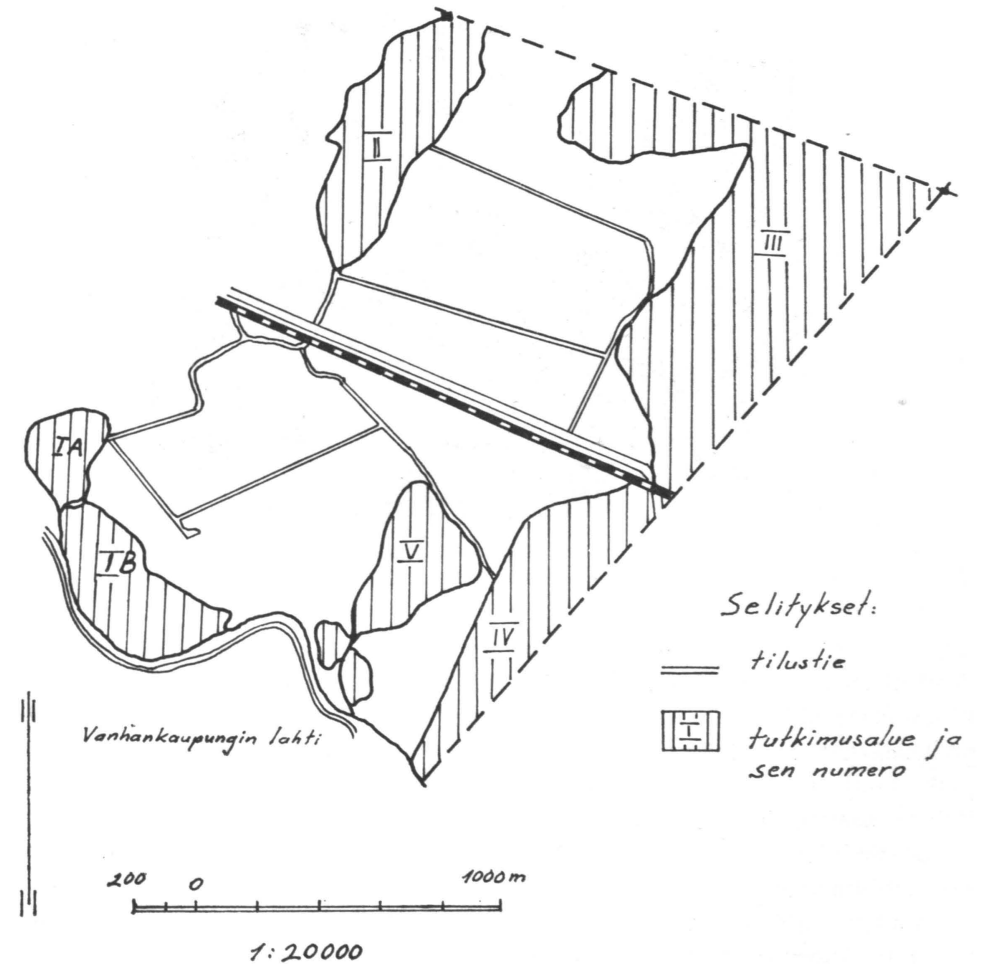
Seuraavassa selostettavassa tutkimuksessa, jonka aineisto on koottu Helsingin yliopiston Viikin opetus- ja koetilan metsäalueelta, on tarkasteltu kuusen tuomiruosteen esiintymistä sekä kuusen versoissa että kävyissä. Erityistä huomiota on kiinnitetty tuomien yleisyyden ja kuusen sairastumisen väliseen riippuvuuteen sekä taudin esiintymistapaan kuusen versoissa. Lisäksi on suoritettu vertailuja terveiden ja sairaiden kasvien ja kasvinosien pituuden kesken.

2. Taudin esiintyminen kuusen versoissa

21. Tutkimusaineisto ja menetelmät

Ensimmäiset havainnot kuusen versojen sairastumisesta Viikissä tehtiin toukokuussa 1962. Taudin määrittäminen perustui lähinnä ROLL-HANSENIN (1947) esittämään kuvaukseen. Myöhemmin tutkittiin taudin yleisyyttä Viikin opetus- ja koetilan koko metsäalueella, joka tätä varten jaettiin viiteen osaan. Seuraava karttapiirros antaa yleiskuvan tutkimusalueesta.

Versojen sairastumista todettiin vain I osa-alueeseen kuuluvassa taimistometsikössä. Kyseinen taimisto on perustettu istuttamalla 2/2 vuotialla taimilla



Kuva 1. Tutkimusalueiden keskinäinen sijainti.
Fig. 1. Location of the study areas in relation to each other.

v. 1950. Taimistoalueella määritettiin tuomien runsaus ja kuusen versojen tautisuus linja-arvioinnin avulla. Arvioimislinjan leveys oli 4 m ja linjojen väli 20 m. Jokaisesta linjalle osuneesta taimesta mitattiin pituus ja latvaverson pituus sekä merkittiin muistiin oliko taimi terve vai sairastunut ja olivatko sairastuneet versot sivuvai latvaversoja tai molempia. Koska tuomet olivat pääasiassa vesasyntyisiä ei niiden runsausarvioinnissa käytetty yksikkönä erillistä vesaa, vaan samasta kannosta peräisin olevaa vesaryhmää. Sekä taimien mittaustulokset että tuomien lukumäärähavainnot merkittiin muistiin 20 m:n jaksoissa. Arvioimislinjan kokonaispituus oli 840 m ja siinä oli kuusen taimia 578 kpl.

Taudin määrittäminen ei useinkaan voitu perustaa tuomiruostesienen suoranaiseen havaitsemiseen ja tunnistamiseen versoista (ks. kuva 2). Varsinaiset taudin-



Kuva 2. Tuomiruostesienen helmi-itiökoppa (aecidium) saastuneen verson pinnassa.
Fig. 2. *Aecidium of Pucciniastrum padi* in an infected shoot.

oireet kuitenkin olivat — kuten ne ovat tuomiruosteella yleensäkin — niin selväpiirteiset ja tunnusomaiset, että määrittäminen voitiin suorittaa luotettavasti yksinomaan niiden perusteella (Kuva 3; vrt. myös ROLL-HANSEN 1947). Pienet vaaleankellertävät laikut versojen pinnalla, lievä turpoaminen ja neulasten ruskettuminen ovat ensimmäisiä oireita tuomiruostetartunnasta. Myöhemmin ilmenee saastuneissa versoissa myös pihkanvuotoa, joka aluksi on lievää mutta voimistuu vähitellen. Ankarassa infektiossa verso käyristyy voimakkaasti ja saastumiskohdan yläpuolelle jäänyt verson osa saattaa kuivettua. Taudinkuvan on sanottu näiltä osin muistuttavan *Melampsora pinitorqan* ROSTR. aiheuttamaa männyn versoruostetta. Mainittakoon lisäksi, että itse taudinaiheuttajan (helmi-itiöasteen) vähäinenkin esiintyminen samanaikaisesti muiden tyyppillisten oireiden kanssa varmisti määrittäystä kokonaisuudessaan suuresti.



Kuva 3. Yleiskuva sairastuneista kuusen versoista.
Fig. 3. General appearance of shoots of an infected spruce.

22. Tuomien runsaus ja kuusen versojen tautisuus

Edellä selostetun linja-arvioinnin tulosten perusteella jaettiin saastunut taimistoalue $20\text{ m} \times 20\text{ m} = 400\text{ m}^2$ ruutuihin, joiden keskinäinen sijainti ilmenee seuraavasta piirroksesta.

Kun kysymyksessä on tiheydeltään lähes yhtenäinen istutustaimisto, on tautisuuden ilmaisemisessa käytetty sairaiden taimien absoluuttisia lukumääriä pinta-alayksiköllä ja niiden on katsottu sellaisinaan soveltuvan taimiston eri osien keskinäiseen tautisuusvertailuun.

Piirroksista voidaan todeta, että sairaita taimia oli yleensä eniten niissä ruuduissa, joissa tuomia kasvoi runsaasti (vrt. myös taulukko 1.). Voimakkaan versosaastunnon ja taajojen tuomikasvustojen alueet rajoittuivat jokseenkin samalla tavalla. Lisäksi esiintyi lievän saastunnon alueita eikä riippuvuus versojen sairastumisen ja tuomien runsauden välillä aina näyttänyt olevan kiinteä. Johtavana piirteenä voidaan kuitenkin havaita, että tautisuus väheni huomattavasti jo muutaman kymmenen metrin etäisyydellä tuomikasvustoista. Korostettakoon

						2
						0
					0	3
					0	2
				2	7	7
				7	3	3
					19	8
					3	11
				0	6	18
				0	0	3
				0	0	8
				2	0	4
				0	3	0
				0	1	2
					3	2
					7	10
				0	2	2
				2	1	3
					0	4
					2	3
					1	7
					5	6
					1	1
0	1	0	1	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1
1	0	2	11	0	0	0
0	0	1	2	1	1	1

Kuva 4. Kaaviokuva koeruudustosta versosaastunta-alueella. Ruutujen ylemmät numerot tarkoittavat sairaiden kuusen taimien ja alemmat tuomien lukumääriä.

Fig. 4. Sample plot net in the area of contaminated shoots. The upper figure in the squares shows the number of infected spruces and the lower figure, the number of bird-cherry trees.

vielä, että versojen sairastumista todettiin vain I tutkimusalueella ja että myös tuomitiheys oli tällä alueella suurin (vrt. taulukko 4, s. 55).

Taulukko 1. Tuomitiheys ja kuusen taimien tautisuus koeruuduittain.

Table 1. The density of bird-cherry and percentage infected spruce seedlings by sample plots.

Tuomia kpl/ruutu Number of bird-cherry trees per sample plot	Ruutuja kpl Number of sample plots	Kuusen taimia kpl Number of spruce seedlings	Taimien tautisuus-% Percentage infected seedlings
0—1	20	250	3.6 ± 1.2
2—5	18	235	9.8 ± 1.9
6—20	7	93	21.5 ± 4.3
Yht. — Total	45	578	9.0 ± 1.2

23. Sairaiden taimien ja latvaversojen pituus

Terveiden ja sairaiden taimien jakautuminen pituusluokkiin on esitetty liitteessä 1. Mukana ovat vain ne koeruudet, joissa tautia esiintyi. Taimien keskipituudet olivat seuraavat: terveet 3.1 m (233 kpl), sairaat 3.4 m (48 kpl). Sairaattaimet olivat siis vähän pitempiä kuin terveet, mutta erotus ei kuitenkaan ollut tilastollisesti merkitsevä. Taimien pituusluokkajakautumista voidaan todeta, että lyhimät taimet olivat poikkeuksetta terveitä.

On tunnettua, että ruostesienet pystyvät saastuttamaan elinvoimaisia ja nopeakasvuisia kasveja (vrt. HEPTING 1963). Edellä mainitut mittaustulokset viittaavat siihen, että tämä yleinen sääntö soveltuu myös kuusen tuomiruosteeseen. Mittaukset suoritettiin tasaikäisessä taimistossa, joten taimen pituus on samalla myös sen kasvunopeuden osoitin.

Kysymystä kasvunopeuden merkityksestä taudinkestävyydelle voidaan nyt esillä olevassa aineistossa lähestyä myös siten, että tarkastellaan ensin kuusen taimien pituutta erilaisilla tuomitiheyksillä. Näin on menetelty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 2. Kuusen taimien keskipituus ja tuomien runsaus koeruuduittain.
Table 2. Average height of spruce seedlings and abundance of bird-cherry per sample plot.

Tuomia kpl/ruutu ¹⁾ Number of bird-cherry trees per sample plot	Taimien keskipituus dm Average height of seedlings, dm			Erotus sairaat — terveet Difference: infected — healthy
	sairaat infected	terveet healthy	yht. total	
0—1	43.2	33.6	34.7	+9.6*
2—5	29.4	28.6	28.7	+0.8
6—20	33.9	28.7	30.3	+5.2

¹⁾ Vain ne koeruudet joissa tautia esiintyi.

²⁾ Includes only those sample plots on which infection was encountered.

Sivulla 50 (piirros 4) voitiin todeta tuomitiheyden pienentymisen merkitsevän kuusen taimien tautisuuden vähenemistä. On perusteltua olettaa, että ne taimet, jotka sairastuvat ensiksi eli silloin kun tuomia on vähän, ovat taudinarkoja. Taulukosta 2 käy ilmi, että pienen tuomitiheyden vallitessa ovat sairaat taimet olleet huomattavan pitkiä. Tämäkin tulos viittaa siihen, että pitkät taimet, mikä tässä yhteydessä merkitsee samaa kuin nopeasti kasvaneet, sairastuvat herkemmin kuin hitaasti kasvaneet taimet.

Linja-arvioinnin yhteydessä mitattiin myös kuusen taimien latvaversojen pituus. Terveiden ja sairaiden taimien osalta tulokset poikkesivat toisistaan hyvin samalla tavalla kuin edellä esitetyt taimien keskipituudet: sairaiden taimien latvaversot (5.7 dm) olivat vähän pitempiä kuin terveiden taimien (5.5 dm). Erotus ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Lyhyet versot olivat poikkeuksetta terveitä.

24. Sivu- ja latvaversojen sairastuminen

Infektiokohtien jakautuminen sivu- ja latvaversojen osalle ilmenee seuraavasta asetelmasta.

Sairastumistapa	% sairaista taimista
Tautia vain latvaversossa	47.9 ± 7.2
Tautia vain sivuversoissa	18.8 ± 5.6
Samanaikaisesti molemmissa	33.3 ± 6.8

Useimmiten siis yksinomaan taimen latvaverso oli sairastunut. Jos tautia esiintyi sivuversoissa, oli tavallista, että vain muutama sivuverso oli saanut tartunnan. Niinpä 64 %:ssa taimista, joissa oli sairaita sivuversoja oli niiden lukumäärä 1—2 kpl/taimi maksimimäärän ollessa 5 kpl/taimi. Noin joka toisessa saastuneessa taimessa oli tauti aiheuttanut latvaverson tai sen osittaisen kuivatumisen.

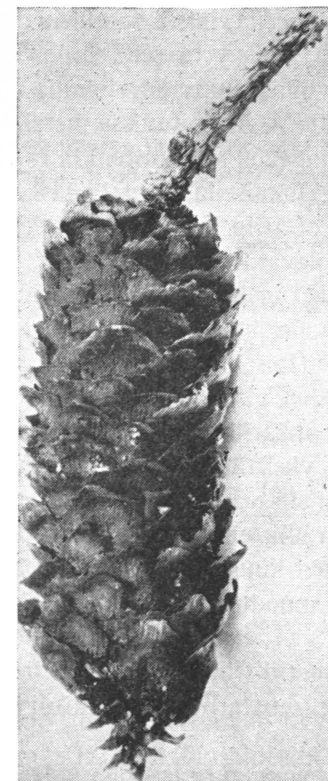
3. Taudin esiintyminen kuusen kävyissä

31. Tutkimusaineisto ja menetelmät

Kävyissä tai siemenissä esiintyviä kasvitautien tai hyönteisten aiheuttamia tuhoja on yleensä määritetty vain puissa olevista, tuoreista kävyistä (vrt. esim. RUMMUKAINEN 1960). Monien tuhonaiheuttajien osalta tämä varmasti onkin ainoa käyttökelpoinen menettelytapa, sillä määrittämiselle tarpeelliset tunnusmerkit joko häviävät nopeasti maahan varisseissa kävyissä tai sekoittuvat moiniin myöhemmin ilmeneviin sekundaaristen lajien jättämiin merkkeihin. Kuusen tuomiruoste muodostaa kuitenkin tässä suhteessa poikkeuksen, sillä se voidaan tunnistaa vielä maahan varisseita, jopa pitkälle maatuneistakin kävyistä.

Terveet ja sairaat kävyt poikkeavat toisistaan monin tavoin. Sairaiden käpyjen suomet ruskettuvat aikaisemmin ja harittavat enemmän kuin terveet käpysuomet ja niiden pintaan muodostuu suurin joukoin tuomiruostesienen helmi-itiökoppia. Saastuneet kävyt eivät myöskään irtaannu puusta yhtä nopeasti kuin terveet ja vielä maahan varisemisen jälkeenkin ne ovat selvästi tunnistettavissa tumman värin, siirrottavien käpysuomujen, mukana seuraavan oksantynگان ja helmi-itiökoppien tai niiden jätteen perusteella (LIRO 1908; JØRSTAD 1925; FERDINANDSEN & JØRGENSEN 1938; GÄUMAN 1959; kuva 5). Mainittujen symptomien avulla on käpyjen tautisuus seuraavassa määritetty maan pinnalla olevista kävyistä.

Aineisto on koottu lokakuussa 1963. Myöhäissyksy on sopiva ajankohta käpyjen tautisuuden selvittämiseksi nyt käytetyllä menetelmällä. Pintakasvillisuus on silloin niukkaa ja maahan varisseet kävyt ovat helposti nähtävissä.



Kuva 5. Tyypilliset tuomiruosteen symptomit maahan varisseessa kuusen kävyssä.
Fig. 5. Spruce cone with typical symptoms of *Pucciniastrum padi* which had fallen to the ground.

Aineiston määrä ja hankkimistapa on esitetty seuraavassa taulukossa. Siinä mainittujen tutkimusalueiden keskinäinen sijainti ilmenee sivulla 47 olevasta kartasta.

Taulukko 3. Käpyaineiston määrä ja hankkimistapa tutkimusalueittain.
Table 3. Number of cones collected and the method of collecting employed in the different study areas.

Tutkimusalue Study area	Tautisuuden arvioimisessa käytetty menetelmä* Method used at the estimation of the percentage infected cones	Koaloja kpl Number of sample plots	Käpyjä yht. kpl Total number of cones
I	Linjoittainen ympyräarviointi — <i>Line plot cruise</i>	259	2 444
I	Näytteet erillisistä puista — <i>Sampling from detached trees</i>	13	1 224
I	Näytteet erillisistä puuryhmistä — <i>Sampling from detached tree groups</i>	5	725
II—V	Näytteet erillisistä puista tai puuryhmistä — <i>Sampling from detached trees or tree groups</i> . . .	25	2 500
Yht. — <i>In total</i>		302	6 893

* lähempi selitys tekstissä.

Ensimmäisellä tutkimusalueella, missä tuomitiheys oli suurin (vrt. taulukko 4, s. 55) selvitettiin taudin yleisyyttä sekä linjoittaisella ympyräarvioinnilla että erillisten näyte-erien avulla. Ympyräarvioinnissa oli linjaväli 20 m, koealaväli 20 m ja koealan koko 20 m². Arvioitavissa metsiköissä ei käpyjä ollut tasaisesti kaikkialla, mutta koealat (259 kpl) kuitenkin rajoitettiin säännöllisten välimatkojen päähän toisistaan. Jokaisella koealalla laskettiin terveiden ja sairaiden käpyjen lukumäärä, jolloin otettiin huomioon kaikki maan pinnalla joko kokonaan tai osittain näkyvissä olevat kävyt riippumatta iästä tai maatumisasteesta.

Erilliset käpynäytteet saatiin kokoamalla eri puolilta tutkimusaluetta joko yksittäisen puun tai puuryhmän kaikki maahan varisseet kävyt. Saadun aineiston avulla tarkistettiin linjoittaisen ympyrä arvioinnin tuloksia sekä verrattiin terveiden ja sairaiden käpyjen pituutta keskenään.

Tutkimusalueilla II—V määritettiin käpyjen tautisuus 100 kpl:n näyte-eristä, jotka nekin koottiin yksittäisen puun tai puuryhmän ympäriltä. Näytteenottoaikojen määräämistä varten selvitettiin ensin kuusimetsien sijainti tutkimusalueittain ja tämän jälkeen sijoitettiin näytteenottoaikat — yhteensä 25 kpl — siten, että jokainen kuusimetsikkö tuli näytteeseen mukaan. Kaikki näyte-erät huomioonottaen muodostui käpyjen lukumääräksi koko aineistossa 6 893 kpl.

Tuomien esiintyminen merkittiin versosaastuntametsikössä koeruuduittain linjapöytäkirjaan (ks. s. 48), mutta muissa tutkituissa metsiköissä kartalle (1: 5 000).

Käpyjen tautisuuden ja tuomien runsauden välisen riippuvuuden tarkastelu suoritettiin regressioanalyysin avulla. Tätä varten määritettiin — edellä esitettyä aineistoa hyväksikäyttäen — käpyjen tautisuus tutkituilla metsäalueilla 21 maastonkohdassa, joita seuraavassa on nimitetty koealoiksi. Tautisuusprosentin laskemisessa käytetty käpyaineisto ei kaikilla koealoilla ollut samansuuruinen mutta kuitenkin aina vähintään 100 kpl. Mainittujen koealojen keskipisteet merkittiin samalle kartalle tuomiesiintymien kanssa ja nämä pisteet keskipisteinä piirrettiin 6 kpl samankeskeisiä ympyröitä, joiden säteet vastasivat 50, 100, 150, 200, 300 ja 500 m:n etäisyyksiä luonnossa. Näin muodostettiin jokaisen koealan ympärille 6 vyöhykettä, joiden tuomitiheys (kpl/ha) ja etäisyys koealan keskipisteestä tunnettiin. Aineiston analyysi suoritettiin tietokoneella Helsingin Yliopiston Laskentakeskuksessa. Tulokset on esitetty seuraavassa luvussa, mutta ennen sitä on kuitenkin tarkasteltu käpyjen tautisuutta ja tuomien runsautta alueittaisten keskiarvolukujen valossa.

32. Tuomien runsaus ja kuusen käpyjen tautisuus

Kuten sivulla 47 olevasta karttapiirroksista voidaan havaita, ovat tutkimusalueet peltojen toisistaan erottamia. Tämä lisää niiden soveltuvuutta käpyjen tautisuuden tarkastelulle erilaisilla tuomitiheyksillä. Seuraavassa taulukossa

on ensimmäisen alueen pohjoisosa käsitelty erillisenä yksikkönä (I A), koska tuomitiheys oli siellä huomattavasti suurempi kuin muilla alueilla ja myös suurempi kuin I alueen eteläosassa (I B).

Taulukko 4. Keskimääräinen tuomitiheys ja kuusen käpyjen tautisuus tutkimusalueittain.
Table 4. Average density of bird-cherry and percentage injected spruce cones by study areas.

Tutkimusalue Study area		Tuomia kpl/ha Number of bird-cherry trees	Kuusen käpyjen tautisuus % Percentage injected spruce cones
n:o No.	pinta-ala ha Size, ha		
I A	5.1	86.1	43.1 ± 1.8
I B	12.5	21.2	22.9 ± 1.2
II	20.2	5.6	17.3 ± 1.9
III	65.0	1.1	7.6 ± 0.8
IV	18.8	2.2	14.6 ± 1.6
V	11.1	1.3	7.7 ± 1.1
Yht. 132.7 Total		7.1*	19.5 ± 0.6

* alueiden pinta-aloilla painotettu keskiarvo.

* Mean, weighed by the size of the areas.

Käpyjen tautisuus ja tuomitiheys olivat selväpiirteisessä riippuvuussuhteessa keskenään kuten taulukon luvuista voidaan havaita. Tautisuus samoin kuin tuomitiheys olivat pienimmät III tutkimusalueella. Tuomien lisääntyessä myös tautisuus poikkeuksetta suureni.

Tuomien ja kuusen välisen etäisyyden merkityksestä käpyjen tautisuudelle ei edellä esitettyjen keskiarvolukujen perusteella voida tehdä päätelmiä. Tätä kysymystä selvitettiin regressioanalyysillä, missä selitettävänä muuttujana (y) oli käpyjen tautisuusprosentti koealalla ja selittävinä muuttujina (x₁..x₆) koealaa ympäröivien etäisyysvyöhykkeiden tuomitiheysluvut. Niistä x₁ tarkoittaa lähimmän ja x₆ etäisimmän vyöhykkeen lukuarvoa (vrt. s. 54).

Seuraavaan taulukkoon on koottu muuttujien väliset korrelaatiokertoimet.

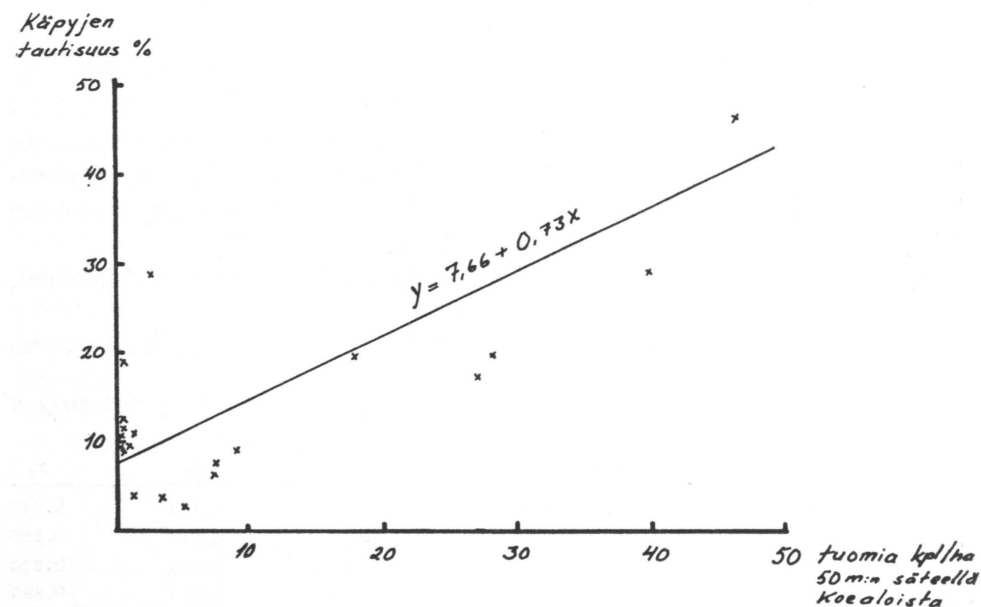
Taulukko 5. Käpyjen tautisuuden (y) ja eri etäisyyksillä olevien tuomitiheyksien (x) välinen korrelaatio.

Table 5. Correlation between the percentage injected cones (y) and the density of bird-cherry at different distances from the spruce stands (x).

	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆
y	0.892	0.797	0.595	0.652	0.725	0.246
x ₁		0.831	0.696	0.730	0.850	0.356
x ₂			0.930	0.964	0.834	0.214
x ₃				0.911	0.860	0.299
x ₄					0.820	0.203
x ₅						0.599
x ₆						

Taulukosta ilmenee, että käpyjen tautisuuden ja kunkin etäisyysvyöhykkeen tuomitiheyden välillä vallitsi positiivinen korrelaatio. Voimakkain se oli ensimmäisessä etäisyysvyöhykkeessä ja huomattavan korkea vielä seuraavassa, mutta väheni välimatkan kasvaessa ja oli pienin viimeisessä vyöhykkeessä (0.246). On kuitenkin merkillepantavaa, että eri etäisyysvyöhykkeiden tuomitiheysluvut korreloivat voimakkaasti myös keskenään. Tämä merkitsee sitä että pelkistä x:n ja y:n välisistä korrelaatiokertoimista ei voida päätellä, mikä merkitys kunkin vyöhykkeen tuomitiheydellä on ollut käpyjen tautisuudelle. Lopullinen analyysi suoritettiin seuraavasti. Ensimmäisessä vaiheessa otettiin mukaan vain yksi selitettävä muuttuja, ts. ensimmäisen vyöhykkeen tuomitiheysluku, seuraavassa samanaikaisesti kahden lähimmän vyöhykkeen tuomet jne. aina viimeiseen etäisyysvyöhykkeeseen saakka. Laskennan lopputuloksista oli muodostettavissa regressioyhtälö, jonka määräämisessä oli otettu huomioon kaikkien vyöhykkeiden tuomet samanaikaisesti. Regressiokertoimien merkitsevyys ulottui kuitenkin vain ensimmäiseen etäisyysvyöhykkeeseen; siinä ne olivat erittäin merkitseviä. Tätä vyöhykettä vastaavan vakiotermin ja regressiokertoimien arvojen perusteella voitiin kirjoittaa y:n ja x:n välille regressioyhtälö $y = 7.66 + 0.73 \pm 0.09 x$, jonka kuvaaja on nouseva suora.

Seuraavaan piirroksen on kuvaajan lisäksi merkitty näkyviin y:n ja x:n alkuperäiset arvot, ts. käpyjen tautisuusprosentit ja niitä vastaavat tuomitiheysluvut 50 m:n säteellä koealojen ympäristössä.



Kuva 6. Käpyjen tautisuuden ja tuomien runsauden välinen riippuvuus.
Fig. 6. Dependence of the percentage infected cones on the density of bird-cherry.

Edellä esitetyn analyysin lisäksi tarkasteltiin käpyjen tautisuutta yksityiskohtaisemmin tuomikasvustojen välittömässä läheisyydessä. Tätä varten ryhmitettiin linjoittaisen ympyräarvioinnin koealat luokkiin sen mukaisesti kuinka kaukana tuomikasvustoista ne sijaitsivat sekä määritettiin käpyjen tautisuus luokittain. Etäisyydet mitattiin linjapöytäkirjan avulla piirretystä kartasta (1:2 000).

Taulukko 6. Kuusen käpyjen tautisuus eri etäisyyksillä tuomikasvustoista I tutkimusalueella
Table 6. Percentage infected spruce cones at different distances from bird-cherry stands in study area I.

Etäisyys tuomikasvustoista m <i>Distance from bird-cherry stands, m</i>	Koealoja kpl <i>Number of sample plots</i>	Kuusen käpyjen tautisuus % <i>Percentage infected spruce cones</i>
<10	38	47.5 ± 2.0
10—50	79	23.6 ± 1.2
>50	47	19.8 ± 1.8
Yht. — Total	164	29.2 ± 0.9

Taulukosta käy ilmi, että sairaita käpyjä oli eniten tuomikasvustojen sisällä tai aivan niiden välittömässä läheisyydessä. Etäisyyden kasvaessa tautisuus väheni nopeasti. Kaikki koealat sijaitsivat alle 100 m:n etäisyydellä tuomista.

33. Sairaiden käpyjen pituus

Terveiden ja sairaiden käpyjen pituusvertailua varten mitattiin käpyjen pituudet I tutkimusalueelta kootuista erillisnäytteistä (ks. s. 53). Aineistossa on mukana 17 puun tai puuryhmän kävyt. Aluksi muodostettiin keskiarvoparit kunkin näytteen terveistä ja sairaista kävyistä, koska katsottiin, että vain samasta puusta tai puuryhmästä peräisin olevien käpyjen pituutta voitiin verrata keskenään. Kun kuitenkin jokaisessa näyte-erässä oli sekä terveitä että sairaita käpyjä ja kun keskipituudet kaikissa erissä olivat samalla tasolla käsiteltiin aineisto lopullisessa pituusvertailussa yhtenä kokonaisuutena. Käpyjen keskipituudet olivat seuraavat: terveet 7.5 cm (490 kpl), sairaat 8.1 cm (325 kpl). Sairaakävyt olivat siis vähän pitempiä kuin terveet. Pitusero oli tilastollisesti merkitsevä ($t = 2.50$; $t_5 \% = 2.04$).

4. Tulosten tarkastelua

Kuusen tuomiruostesienen elämänkierto saatiin pääkohdittain selvitettyksi kuluvan vuosisadan alkuun mennessä (KLEBAHN 1899, 1900; vrt. myös v. TUBEUF 1900). Järjestelmällisesti suoritetuilla kokeilla voitiin osoittaa, että

tuomiruostesieni on muuttoloinen, joka pystyy saastuttamaan sekä tuomen lehtiä että kuusen emikukintoja ja että molemmat isäntäkasvilajit ovat sen elämänkierrossa välttämättömät. Kuusen versojen sairastumista luonnossa ei vielä tällöin tunnettu, mutta KLEBAHN (1900) otaksui — laboratoriokokeista saamiensa viitteiden nojalla — senkin olevan mahdollista. Myöhemmin hänen otaksunsa osoitettiin oikeaksi (ROLL-HANSEN 1947). Versojen sairastumista on kuitenkin todettu vain rajoitetuilla alueilla Pohjoismaissa (ROLL-HANSEN 1947, 1948; JUUTINEN 1962; vrt. PEACE 1962), joten sen esiintyminen voitaneen katsoa luonteeltaan endemiseksi ja ilmeisesti tuomien esiintymiseen tiukasti sidotuksi. Tiheä tuomikasvusto noin 1—4 m korkean hyväkasvuisen kuusen taimiston läheisyydessä lienenevät perusedellytykset versosairauden puhkeamiselle (vrt. s 50—51).

Käpyjen tautisuus on kaikkialla kuusen tuomiruosteen levinneisyysalueella yleistä. Siitä johtuvien siementuhojen runsautta ja alueellisuutta on meillä Suomessa tutkinut mm. RUMMUKAINEN (1960). Hänen aineistossaan, joka on koottu eri puolilta maata kolmen vuoden aikana, on tuomiruosteen saastuttamien käpyjen osuus yleensä alle 10 % maksimiarvon ollessa 17.2 % koko käpymäärästä. Hyvänä siemenvuotena oli tautisuus suurempi kuin huonona; sateisen kesäkuun todettiin myös lisäävän sitä.

Nyt esillä olevassa työssä on selvitetty tuomien runsauden merkitystä käpyjen tautisuudelle. Tautia ilmeni kaikilla tutkimusalueilla ja sen yleisyys oli voimakkaassa riippuvuussuhteessa kunkin alueen keskimääräisen tuomitiheyden kanssa (vrt. taulukko 4 s. 55). Koko aineistossa oli käpyjen tautisuus (19.5 %) huomattavasti suurempi kuin metsissämme yleensä (vrt. RUMMUKAINEN 1960) ja samaa voitaneen sanoa myös tuomitiheydestä (7.1 kpl/ha). KUJALAN (1964) mukaan tuomi on levinnyt koko Suomeen, mutta suurimmassa osassa maata sen esiintymiä on vain harvassa.

Isäntäkasvia vaihtavien (heteroekisten) ruostesienten biologiaa käsittelevissä tutkimuksissa on usein herätetty kysymys, kuinka pitkiä välimatkoja taudinaiheuttaja pystyy siirtymään isäntäkasvilajista toiseen ja kuinka taudin voimakkuus muuttuu isäntäkasvien välisen etäisyyden kasvaessa. Kuusen tuomiruostesieni kulkeutuu kuusesta tuomeen helmi-itiöinä. Ne syntyvät kuusen kävyissä — tavallisesti korkealla maan pinnan yläpuolella, ovat verraten kestäviä ulkoisia tekijöitä vastaan ja kulkeutuvat tuulen mukana hyvin. Tästä johtuen voivat tuomet saada tartunnan useiden kilometrien etäisyydellä kuusikoista. Tuomissa tauti leviää edelleen tehokkaasti kesäitiöasteellaan (LIRO 1908; JØRSTAD 1925). Sieni siirtyy takaisin kuuseen alkukuromien välityksellä. Alkukuromat ovat arkoja monille ulkoisille tekijöille ja mm. tämän vuoksi niiden saastutusteho vähenee nopeasti välimatkan infektiolähteeseen kasvaessa (KLEBAHN 1904). Eräiden ruostesienilajien alkukuromien leviämismatkoista on tehty yksityiskohtaisia havaintoja (LIRO 1908; vrt. GÄUMANN 1951), mutta kuusen tuomiruosteen osalta ne ovat niukkoja ja ylimalkaisia. JØRSTAD (1925, s. 86) otaksuu tämän etäisyyden muutamaksi sadaksi metriksi mainiten kuitenkin toisaalla

(s. 83), että alkukuromat tuskin voivat levittää tautia kovin kauas tuomista. Vertailun vuoksi mainittakoon, että Strobusemannyn tervasrososien, *Cronartium ribicolan* J. C. FISCH. alkukuromien todettiin leviävän merkittävässä määrin vain muutaman kymmenen metrin etäisyydelle *Ribes*-pensaista. Yksittäisiä sairastumisia, joilla epidemiologisesti kyllä on merkitystä, voitiin sen sijaan havaita huomattavasti kaeumpanakin (vrt. GÄUMANN 1951, s. 171).

Nyt esillä olevassa tutkimusaineistossa oli tietty määrä kuusen kävyistä kaikkialla sairaita. Esimerkiksi 200—300 m:n etäisyydellä tuomista saattoi 10 % kävyistä olla saastunut. Regressioanalyysin avulla voitiin kuitenkin todeta, että vain 50 m:n säteellä koealojen ympäristössä olivat tuomien runsaus ja käpyjen tautisuus keskenään selväpiirteisessä riippuvuussuhteessa.

On ilman muuta selvää, että edellä saatuja etäisyyttä koskevia lukuarvoja ei voida yleistää eikä esim. eri tutkimuksissa saatujen etäisyyksien pitkälle menevä vertailu sellaisenaan, ilman tuomitiheyslukuja, ole perusteltua. Nyt esillä olevan tutkimusaineiston tuomitiheydet eri etäisyyksillä koealojen ympäristössä on esitetty liitteessä 2.

Tuomiruostesienen todettiin saastuttavan ennen muuta hyväkasvuisia taimia ja niissäkin yleisimmin latvaversoja tai ylimpiä sivuversoja (vrt. s. 51—52), myös sairaat kävyt olivat pitempiä kuin terveet (s. 57). On siis perusteltua olettaa, että hyvä kasvu heikentää kuusen kestävyttä tuomiruostetta vastaan. Satoisuus ja kestävyys ovat yleensäkin antagonistisia ilmiöitä (vrt. POHJAKALLIO 1963, s. 109). On kuitenkin otettava huomioon se mahdollisuus että isäntäkasvin kasvulle ja sairastumiselle optimaaliset ulkoiset tekijät saattavat olla samat. Toisaalta myös tiedetään, että ruostesienet kykenevät kiihdyttämään isäntäkasvinsa kasvua (vrt. HASSEBRAUK 1962, s. 14). Niinpä *Uromyces pisin* (PERS.) WINT. helmi-itiöasteen saastuttamat *Euphorbia*t kasvavat huomattavasti pitemmiksi kuin terveet kasvit (vrt. BRAUN 1959, s. 142). *Cronartium conigenum* (PAT.) HEDGC. HUNT. saastuttaa erään amerikkalaisen mäntylajin käpyjä niinkään helmi-itiöasteellaan. Sairastuneet kävyt tulevat epämuotoisiksi ja kooltaan 2—3 kertaa suuremmiksi kuin terveet kävyt (HEDGCOCK & HUNT 1922). Kun kuusen tuomiruostesieni saastuttaa kuusen versoja, on tavallista että versot vioittuvat (s. 52), joten sienin stimuloiva vaikutus taimen pituuskasvuun on kyseenalainen. Kasvunopeuteen ja taudinkestävyteen liittyvät kysymykset ovat joka tapauksessa niin monitahoisia, ettei niitä kuusen tuomiruosteen osalta voida vielä pitää selvitettyinä.

Loppupäätelmät

Edellä selostetun tutkimuksen aineisto on koottu vuosina 1963—64 Helsingin yliopiston Viikin opetus- ja koetilan metsäalueelta, noin 10 km Helsingin kaupungin keskustasta pohjoiseen. Tärkeimpänä tutkimustehtävänä on ollut selvittää tuomen merkitystä kuusen tuomiruostesienen (*Pucciniastrum padi*) ylei-

syydelle kuudessa. Huomiota on kiinnitetty myös sairastuneiden kasvosien pitoiteen. Tutkimus on johtanut seuraaviin päätuloksiin.

Kuusen tuomiruostetta esiintyi kaikilla tutkituilla metsäalueilla. Kuusen versojen sairastumista todettiin yhdessä taimistometsikössä, missä 8.4 % taimista oli saanut tartunnan. Tällä alueella ja sitä ympäröivissä metsiköissä oli tuomitiheys selvästi suurempi kuin muilla tutkimusalueilla. Sairaita versoja oli eniten siellä, missä tuomitiheys oli suurin; jo muutaman kymmenen metrin etäisyydellä tuomikasvustoista tautisuus väheni huomattavasti. Useimmiten oli taimien latvaverso sairastunut, mutta sivuversojenkaan sairastuminen ei ollut harvinaista. Sairastuneet kuusentaimet, kuten myös kävyt, olivat keskimäärin pitempiä kuin terveet.

Sairaiden käpyjen osuus koko tutkimusaineistossa oli 19.5 %. Tutkimusalueittain määritettyjen käpyjen tautisuusprosenttien ja tuomitiheyslukujen välillä vallitsi voimakas positiivinen korrelaatio. Koealoittain määritettyjen käpyjen tautisuusprosenttien ja ympäristön tuomitiheyslukujen välistä riippuvuutta tarkasteltiin regressioanalyysillä. Laskennan tuloksista voitiin päätellä, että mainittu riippuvuus ulottui selväpiirteisenä ainoastaan lähimpään (0—50 m) etäisyysvyöhykkeeseen. Tautisuutta ilmeni kyllä tätä kauempanakin, esim. vielä 200—300 m:n etäisyydellä lähimmistä tuomista saattoi n. 10 % kävyistä olla sairastunut.

Kirjallisuusluettelo

- BRAUN, A. C. 1959. Growth is affected. *Plant pathology* 1: 189—248. New York.
- FERDINANDSEN, C. & JØRGENSEN, C. A. 1938. Skovtraernes sygdomme. København.
- GÄUMANN, E. 1951. Pflanzliche Infektionslehre. Zweite umgearb. Aufl. Basel.
- 1959. Die Rostpilze Mitteleuropas. Beiträge zur Kryptogamenflora der Schweiz 12.
- HASSEBRAUK, K. 1962. Uredinales (Rostpilze). *Handbuch der Pflanzenkrankheiten* 3, 4: 2—275. Berlin.
- HEDGCOCK, G. G. & HUNT, G. G. 1922. Two important pine cone rusts and their new cronartial stages. *Phytopathology* 12: 109—122.
- HEPTING, G. H. 1963. Forest pathology. *Proceedings Special Field Institute in Forest Biology* 1960, p. 217—248. Raleigh, North Carolina.
- JUUTINEN, P. 1962. Tutkimuksia metsätuhojen esiintymisestä männyn ja kuusen viljelytaimistoissa Etelä-Suomessa. Referat: Untersuchungen über das Auftreten von Waldschäden in den Kiefern- und Fichtenkulturen Südfinnlands. *Metsäntutkimuslaitoksen julk.* 54, 5.
- JÖRSTAD, I. 1925. Norske skogsykdommer I. Nåletresykdommer bevirket av rustsopper, ascomyceter og fungi imperfecti. *Medd. fra det norske skogsf.* 6.
- 1962. Vertskiftet hos rostsoppene. *Blyttia* 20: 1—17.
- 1964. The distribution within Norway of rust fungi (Uredinales) compared with the distribution of their hosts. *Repr. from Nytt Mag. Bot.* 11: 109—141.
- KLEBAHN, H. 1899. Kulturversuche mit Rostpilzen, VIII Bericht. Sonderabdruck aus den Jahrbüchern für Wissenschaftliche Botanik 33, 3: 347—404.
- 1900. Kulturversuche mit Rostpilzen IX. *Ibid.* 35, 4: 695—699.
- 1904. Die wirtswechselnden Rostpilze. Berlin.
- KUJALA, V. 1964. Metsä- ja suokasvien levinneisyys- ja yleisyysuhteista Suomessa. Vuosina 1951—1953 suoritetun valtakunnan metsien III linja-arvioinnin tuloksia. Referat: Über die Frequenzverhältnisse der Wald- und Moorpflanzen in Finnland. *Ergebnisse der III. Reichswaldabschätzung 1951—1953. Metsäntutkimuslaitoksen julk.* 59. 1.

LIRO, J. I. 1908. Uredinae Fennicae. Helsinki.

POHJAKALLIO, O. 1963. *Kasvipatologia* I. Porvoo.

ROLL-HANSEN, F. 1947. Nytt om lokkrusten (*Pucciniastrum padi*). *Medd. fra det norske skogsf.* 31—34: 504—510.

— 1948. Lokkrusten (*Pucciniastrum padi*) kan gjøre stor skade på toppskudd av gran. *Tids. for skogbr.* 56: 70—73.

RUMMUKAINEN, U. 1960. Kuusen siementuhojen runsaudesta ja laadusta. Referat: Über die Reichlichkeit und Art der Samenschäden bei der Fichte. *Metsäntutkimuslaitoksen julk.* 52, 3.

TUBEUF, von, 1900. Vorläufige Mitteilungen über Infektionsversuche mit *Aecidium strobilinum*. *Cbl. II Bact.* 6: 428—429.

SUMMARY:

ON THE SIGNIFICANCE OF THE BIRD-CHERRY (*PRUNUS PADUS* L.) FOR THE OCCURRENCE OF THE RUST, *PUCCINIASTRUM PADI* (KUNZE & SCHM.) DIET., IN SPRUCE

The present study deals with the occurrence of the rust, *Pucciniastrum padi* (KUNZE & SCHM.) DIET., in the shoots and cones of spruce in the forest area of the training and experimental farm of Helsinki University at Viikki (60°10' N; 25° E). The most important task was to clarify the correlation between the occurrence of the disease in spruce and the abundance of bird-cherry (*Prunus padus* L.).

Infected shoots were encountered in one planted seedling stand of spruce which was 17 years old. In this stand 8.4 per cent of the seedlings were infected. The density of bird-cherry trees was here higher than in the surrounding areas (see Table 4 IA). The number of infected shoots was the greatest in those places where the density of bird-cherries was highest and already at a distance of some tens of meters from the bird-cherry stands the degree of infection decreased considerably (cf. Fig. 4). The portion of infected cones in the whole material of this study was 19.5 per cent. The dependence of the frequency of disease on the abundance of bird-cherries at different distances from the spruce stands was studied by means of regression analysis. For this reason, the percentage infected cones was determined by sample plots and the abundance of bird-cherry trees (number per hectare) from six zones (0—50, 50—100, 100—150, 150—200, 200—300, and 300—500 m) around each sample plot. The material obtained was then analyzed by the aid of computers. The result of computation showed that the dependence between the degree of infection of cones and the abundance of bird-cherry in the surroundings only reached the closest (0—50 m) zone (p. 56). There were also infected cones at greater distances, for instance, 200—300 m from the nearest bird-cherries about 10 per cent of the cones could be infected by the disease.

Both the infected shoots and cones were somewhat longer than healthy ones.

Tämä tutkimus on aloitettu edesmenneen esimieheni ja opettajani, professori ONNI POHJAKALLION opastuksella. Tarkastuksen kandidaatin tutkinnon opinnäytettä varten ovat suorittaneet professori E. A. JAMALAINEN ja professori PAAVO YLI-VAKKURI, joka myös on antanut ohjeita työn valmistelussa julkaisukuntoon. Aineiston hankinnassa on avustanut metsänhoitaja PENTTI KARVONEN. Tietokone-laskelman on tehnyt maatalous- ja metsätieteiden kandidaatti PEKKA KILKKI. Olen kiitollinen saamastani arvokkaasta avusta.

Liitteet — Appendices

Liite 1. Taimien Jakautuminen pituusluokkiin saastuneissa koeruuduissa
Appx. 1. Distribution of seedlings on height classes in the sample plots.

Pituus dm Height, dm	Taimia kpl Number of seedlings	
	terveet healthy	saira infected
0—10	6	0
—20	58	5
—30	54	17
—40	52	12
—50	43	8
—60	12	3
—70	8	3
Yht. — Total	233	48

Liite 2. Käpyjen tautisuusprosentit (y) ja vyöhykkeittäiset tuomitiheysluvut (kpl/ha) koekalojen ympäristössä.

Appx. 2. Percentage infected cones (y) and density of bird-cherry trees (numbers per hectare) by zones in the surroundings of the sample plots.

Tutkimus- alue Study area	Koekala N:o Sample plot no.	y	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆
I	1	19.9	17.9	4.6	6.1	1.5	8.1	4.7
»	2	4.8	5.1	1.7	3.8	1.5	3.0	4.8
»	3	47.1	46.2	41.1	24.2	15.1	10.2	0.8
»	4	17.4	26.9	23.3	17.8	6.4	9.6	2.0
»	5	71.3	74.4	24.2	7.1	5.8	10.2	2.6
»	6	29.4	39.7	16.9	16.0	13.8	10.5	2.0
II	7	9.0	9.0	3.8	4.8	1.5	1.8	0.3
»	8	20.0	28.2	9.7	5.6	2.0	1.1	0
»	9	29.0	2.6	11.0	6.1	2.2	0.6	0.3
»	10	11.0	1.3	2.1	1.3	0	0.4	0.6
III	11	4.0	1.3	0.8	0.5	0.2	0.1	0.1
»	12	9.0	0	0	0	0	0.1	0.2
»	13	10.0	0	0	0	0	0.1	0.2
»	14	12.0	0	0.4	0	0	0	0.6
»	15	7.3	6.4	0	0	1.6	0.1	0.1
»	16	7.5	7.7	0	0	1.8	0	0.1
IV	17	8.5	0	0	0.8	0.4	0	0.2
»	18	18.7	0	0	1.5	3.5	0.8	0.3
V	19	11.0	0	0.4	0.5	0.5	0.8	0.7
»	20	3.5	3.8	0	0	0	0.1	0.7
»	21	8.5	0	0.4	8	0	0.3	0.5
Keskiarvo — Mean			12.9	6.7	4.6	2.6	2.6	1.0