

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
TIEDONANTOJA 296



Markku Korhonen

**PORVOON SEUDUN METSIEN
KASVUTUTKIMUS VUOSINA
1985—1986**

The growth of forest in the Porvoo area
in 1985—1986

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
KORHONEN, MARKKU

HELSINKI 1988

PORVOON SEUDUN METSIEN KASVUTUTKIMUS VUOSINA 1985 - 1986

THE GROWTH OF FOREST IN THE PORVOO AREA IN 1985 - 1986

MARKKU KORHONEN

SISÄLLYS

1.0	JOHDANTO	3
2.0	AINEISTO JA MENETELMÄT	4
3.0	TUTKIMUSALUEEN ILMAN LAATU	9
4.0	TUTKIMUKSEN TULOKSET	13
4.1	Tutkimusalueen metsien ja koealametsiköiden rakenne	13
4.2	Kuutiokasvu	17
4.3	Sädekasvun kehitys puulajeittain 1966-1984	21
4.3.1	Kuusi	22
4.3.2	Mänty	25
4.3.3	Lehtipuut	28
4.4	Puustovauriot	28
4.5	Bioindikaattorien ja kasvun riippuvuus	30
5.0	TULOSTEN TARKASTELU	32
	KIRJALLISUUS	36
	SUMMARY	38

KORHONEN M. 1988. Porvoon seudun metsien kasvututkimus vuosina 1985 - 1986. Summary: The growth of forest in the Porvoo area in 1985 - 1986. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 296.

Tutkimuksessa tarkastellaan Porvoon seudun metsien nykytilaa, metsän kasvun kehitystä ja puustovaurioiden esiintymistä. Tutkimusalue koostui kuudesta Porvoon maalaiskunnassa ja Sipoon kunnassa sijainneesta osa-alueesta, joiden yhteinen pinta-ala oli 32800 ha. Alueen suurin ilman epäpuhtauksien päästölähde on Sköldvikin teollisuusalue, joka sijaitsi ns. ydinalueen keskellä. Viisi ns. lisäaluetta ryhmittäivät ydinalueen ympärille enimmillään 20-25 km:n päähän emissiopisteestä. Aineisto kerättiin yhdistetyllä linja- ja koeala-arvioinnilla. Arvioitua maalinjaa oli 412 km. Koealoja oli 268 ja niillä oli 892 koepuuta. Aineisto koostui kuutio- ja sädekasvumittauksista sekä visuaalisista puustovaurioarvioinneista.

Tutkimusalueen metsät ovat kuusivaltaisia. Dominoivissa varttu-neissa kasvatusmetsiköissä ja uudistuskyypsissä metsiköissä kuusen osuus on merkittävä. Kokonaiskuutiomäärästä kuusen osuus oli n. 60 %, männyn n. 30 ja lehtipuiden n. 10 %. Tutkimusalueen puuston vuosien 1980-1984 kuutiokasvu ei poikennut Helsingin piirimetsälautakunnan vastaavien alueiden puuston kasvusta. Sädekasvun osa-aluekohtaisessa tarkastelussa ilmeni, että kuusen sädekasvu oli vuosina 1974-1977 ydinalueella tilastollisesti merkittävästi pienempi kuin lisäalueilla. Neulasvaurioiden osuus oli ydinalueella kaksinkertainen verrattuna lisäalueisiin.

The present state of the forests, the development of stand growth and the occurrence of stand damage were investigated in the Porvoo area in the study. The study area consisted of six tracts, with a total area of 32,800 ha, situated in the municipalities of Porvoo and Sipoo. The largest emission source in the region is the Sköldvik industrial estate. The industrial complex was surrounded by the so-called central forest tract of the study. Five additional tracts were selected at a maximum distance of 20-25 km from the emission source. The material was collected using line and sample plot surveying. 412 km of ground line was surveyed. There was a total of 268 sample plots, comprising 892 sample trees. The study material consisted of volume and radial growth measurements, as well as visual estimates of damage.

The forests in the study area are dominated by Norway spruce. The proportion of spruce in the dominant mature stands and stands ready for regeneration is considerable. The proportion of spruce out of the total volume of the tree stock was ca. 60 %, that of pine ca. 30 % and hardwoods ca. 10 %. The volume growth of the stands in the study area during 1980-84 did not differ from that in corresponding areas in the Helsinki Forestry Board District. The results for the individual tracts indicated that the radial growth of spruces growing in the central tract was significantly smaller than in the surrounding tracts during 1974-1977. The portion of needle damage in the central tract was double that in the surrounding tracts.

..0 JOHDANTO

Porvoon seudun ilman laatua ja sen vaikutuksia on tutkittu 1970-luvun alusta saakka. Tulosten yhteistarkastelun kannalta aikaisemmat tutkimusaineistot olivat metodologisesti, määrällisesti ja alueellisesti liian epäyhtenäisiä. Em. seikat aiheuttivat tulosten välille ristiriitaisuuksia. Alueella havaittiin joka tapauksessa merkkejä mm. puustovaurioista, maaperän happamoitumisesta ja neulasten kohonneista rikkipitoisuuksista (esim. Heikkinen & Tikkanen 1981, Huttunen 1980, Huttunen ym. 1981 ja Korhonen 1984).

Em. muutosten laajuudesta ja yleisyydestä voitiin tehdä vain suuntaa-antavia johtopäätöksiä aikaisempien tutkimusten perusteella. Toisaalta alueen rikkipäästöissä on tapahtunut vähenemistä kymmenessä vuodessa. Koska alue on kuitenkin huomattavan ympäristökuormituksen alainen eteläisen sijaintinsa ja paikallisten päästöjen vuoksi, katsottiin perustelluksi suorittaa alueellisesti ja menetelmällisesti mahdollisimman kattava metsien tilan seurantatutkimus. Tutkimus toteutettiin Metsäntutkimuslaitoksen ja Oulun yliopiston kasvitieteen laitoksen yhteistyönä ja sen rahoittivat Neste Oy, Porvoon maalaiskunta ja Sipoon kunta.

Tutkimuksen tavoitteeksi asetettiin alueen metsien nykyisen tilan ja tätä edeltäneen kehityksen selvittäminen. Em. seikkoja vertaamalla pyrittiin löytämään mahdolliset erot Porvoon seudun ja muun Etelä-Suomen välillä. Tässä osaraportissa esitellään pääosin Metsäntutkimuslaitoksen linja- ja koeala-arviointiaineis-

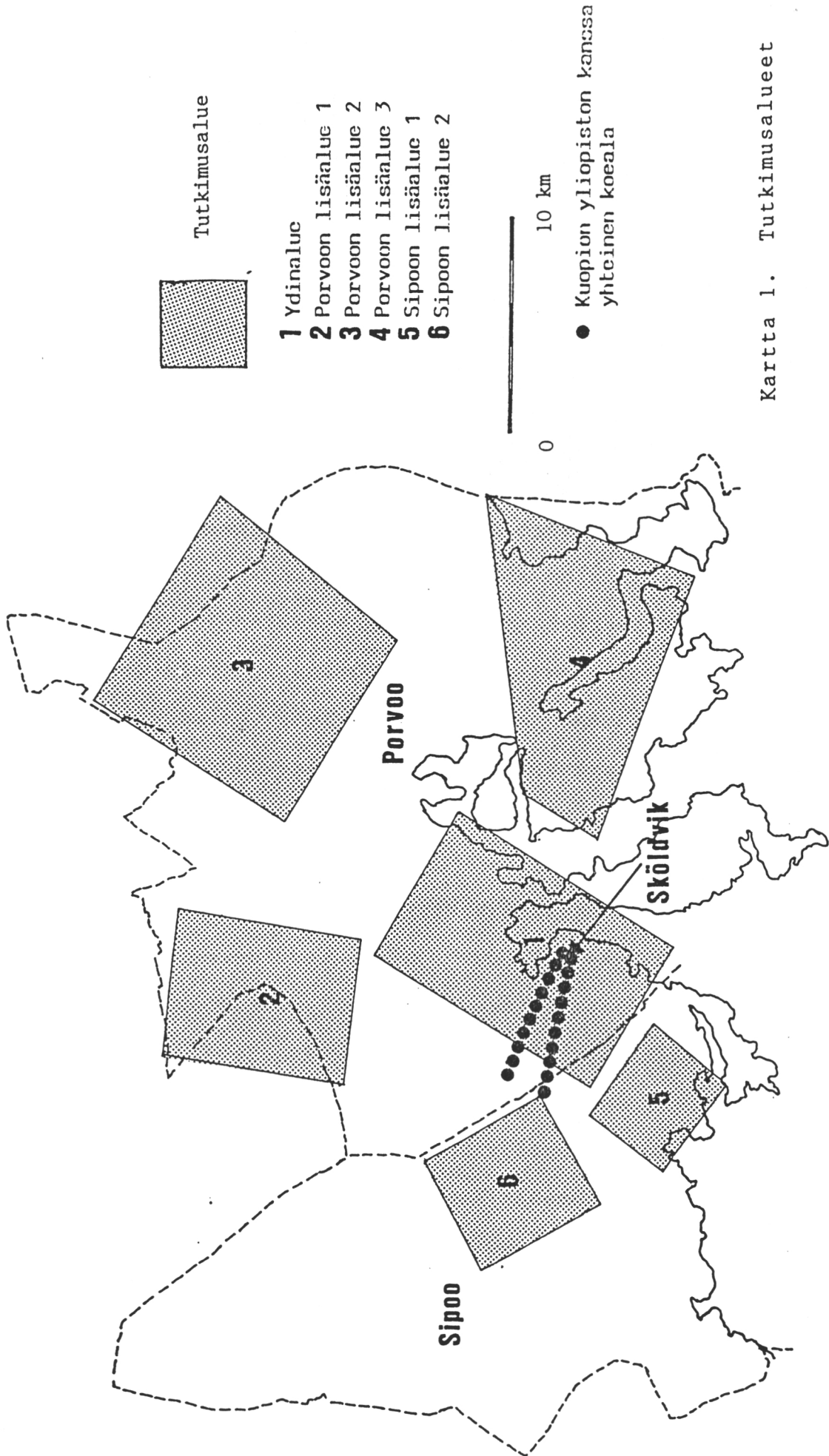
toon perustuvia päätuloksia, jotka koskevat tutkimusalueen metsien tilaa sekä kuutio- ja sädekasvua.

Metsäntutkimuslaitoksen osuutta tutkimuksesta johtivat Paavo Tiihonen ja Jaakko Virtanen, joiden loppuraportista (Tiihonen ja Virtanen 1987) kuutiokasvua (4.2) ja puustovaurioita (4.4) käsittelevät kappaleet on referoitu.

2.0 AINEISTO JA MENETELMÄT

Tutkimusalueen muodostivat kuusi Porvoon maalaiskunnassa ja Sipoon itäosassa sijainnutta osa-alueita. Sköldvikiä keskipitteenä pitävää osa-alueita ja sitä ympäröiviä osa-alueita nimettiin jäljempänä ydinalueeksi ja lisäalueiksi (1...5) (kartta 1). Tutkimusalue ulottui keskimäärin 20-25 km:n päähän Sköldvikistä ja sen koko oli 32800 ha. Osa-aluejaon perusteena olivat etupäässä vallitsevat tuulensuunnat ja yhtenäisten metsäalueiden sijainti.

Ydinalueelle ja lisäalueille muodostettiin systemaattiset koealaverkostot, jotka muodostuivat lounas-koillinen-suuntaisilla linjoilla olleista koealoista. Ydinalueella linja- ja koealaväli oli 500 m. Lisäalueilla linjaväli oli 1000 m ja koealaväli 1500 m. Koealaverkosto piirrettiin 1:20 000 peruskartoille ennen maastomittauksia. Ydinalueella maalinjaa oli 166 km ja maalle sattuneita koealoja 314 kpl. Lisäalueilla vastaavat luvut olivat 246 km ja 169 kpl. Maalle sattuneista koealoista 268 sijaitsi metsämaalla.



Kartta 1. Tutkimusalueet

Tutkimuksessa käytetyn menetelmän kuvaus ja maastotöiden ohjeet on kuvattu yksityiskohtaisesti Tiihosen ja Virtasen (1987) loppuraportissa. Maastotyöryhmä mittasi linjat askelparimittauksena sekä arvioi linjojen leikkaamilta metsämaan kuvioilta maiden pääryhmän lisäksi puulajivaltaisuuden, kehitysluokan, keskikuutiomäärän, lähiajan toimenpiteet ja mahdolliset vauriot. Kitumaiden kuvioilta arvioitiin pääryhmän lisäksi vain puulajivaltaisuus, keskikuutiomäärä ja mahdolliset vauriot. Vauriot luokiteltiin neulasvaurioihin, pituuskasvun lyhenemiseen, hyönteis- ja sienituhoihin sekä muihin mahdollisiin vaurioihin. Vaurioiden arvioinnin yhteydessä mahdollinen viherlevän esiintyminen kirjattiin. Kuvioilla havaittujen vaurioiden ja viherlevän määrä arvioitiin silmämääräisesti kolmiasteisella luokituksella: yksittäinen, runsas ja erittäin runsas. Arvioinnissa verrattiin metsä- tai kitumaan kuviolla olevien, esimerkiksi pituuskasvun lyhenemisestä kärsivien, puiden lukumäärää kyseisen puulajin kaikkien puiden lukumäärään kuviolla.

Lisäalueiden linjakuvioilta määritettiin vain maiden pääryhmä, puulajivaltaisuus ja kehitysluokka. Niille kuvioille, joille sattui koeala tai joilla oli havaittavissa vaurioita, tehtiin em. arvioinnit.

Kasvukoealat perustettiin niille koealaverkoston koealoille, jotka sattuivat metsä- tai kitumaalle. Koealat olivat ns. ympyräkoealoja, joiden koko oli 1-9 cm:n rinnakorkeusläpimitan puille 1 a (säde 5.64 m) ja yli 11 cm:n rinnakorkeusläpimitan puille 3 a (säde 9.78 m). Koeala sijoitettiin siten, että se sopi kokonaan keskipisteen määrittämälle kuviolle. Puustomittaukset tehtiin 268:lla koealalla, jotka jakaantuivat eri alueiden kesken seu-

avasti: ydinalue 151 kpl, Porvoon mlk:n 1. lisäalue 28 kpl, Porvoon mlk:n 2. lisäalue 41 kpl, Porvoon mlk:n 3. lisäalue 29 kpl, Sipoon 1. lisäalue 8 kpl ja Sipoon 2. lisäalue 11 kpl.

Koealoilta laskettiin puiden lukumäärä 2 cm:n tasaavin luokkin sekä valittiin koepuiksi neljä keskipistettä lähinnä levaa vallitsevan puulajin eri läpimittaluokan puuta. Mahdollisista lisäpuulajista valittiin 1-2 koepuuta. Koepuista mitattiin puun ominaisuudet (Tiihonen ja Virtanen 1987):

- rinnankorkeusläpimitta (dl.3) kuoren päältä 2 cm:n ja 1 cm:n luokkin
- läpimitta 6 m:n (7-8 m:n pituiset puut 3,5 m:n) korkeusdelta 1 cm:n luokkin
- vähintään 20 vuoden sädekasvunäyte
- pituus metrin tasaavin luokkin
- keskimääräinen vuosittainen pituuskasvu viimeisen 5-vuotiskauden aikana
- vauriot (neulasvauriot, pituuskasvun lyheneminen, hyönteis- ja sienivauriot, muut vauriot) sekä viherlevän esiintyminen

Koepuiden vauriot arvioitiin visuaalisesti lieviin, runsaisiin ja runsaisiin runsaisiin. Neulasvaurioihin luettiin neulasbiomassan väheneminen sekä neulasten värimuutokset. Neulasvaurioiden synonyyminä käytetään kappaleessa 4.4. harsuuntumista.

Koepuiden kuutiomäärät, -kasvut ja -kasvuprosentit laskettiin Ilvessalon (1981) pystypuiden kuutiomis- ja kasvunlaskentaulukoiden avulla. Em. tiedoista piirrettiin läpimittaluokittaisien keskiarvojen perusteella yksikkökuutioiden ja kasvuprosenttien tasoituskäyrät eri puulajeille sekä ydinalueelle ja yhdistetyille lisäalueille. Tasoituskäyrien läpimittaluokittaisien yksikkökuutio- ja kasvuprosenttiedoista tehtiin SPSSX-ohjelmistolla ohjelma, joka laski koealojen runkolukusarjoista koealakohdalliset kuutio- ja kasvutiedot. Kuutiokasvutiedot koskivat viimeistä viisivuotisiaksoa eli vuosia 1980-1984.

Sädekasvunäytteistä mitattiin lustomikroskoopilla 0,01 mm:n tarkkuudella vuosien 1966-1984 sädekasvut. Sädekasvun kehityksen tarkastelussa käytettiin koepuukohtaisten puulaji- ja läpimittatietojen lisäksi koealoittaisia tietoja metsätyypistä, kehitysluokasta, ikäluokasta, pääpuulajista ja metsänhoidollisesta toimenpiteestä. Koealojen suora etäisyys Sköldvikin jalostamoon mitattiin 1:20 000 peruskartoilta.

Ydinalueiden ja lisäalueiden rikkikuormitusta tarkasteltiin Oulun yliopiston Kasvitieteen laitoksen vuonna 1980 ja 1985 keräämien ja analysoimien männyn neulasnäytteiden rikkipitoisuuksien avulla (Huttunen ym. 1981 ja Huttunen 1987). Koska em. näytteet kerättiin eri koealoilta kuin puustomittaukset, tuloksia voitiin käyttää osa-alueetasolla.

Kesällä 1986 jalostamon ympäristöstä mitattiin 20 kasvukoealaa, joilta Kuopion yliopiston Ekologisen ympäristöhygienian laitos keräsi kuusen neulasnäytteet (kartta 1). Koealat sijaitsivat kahdella linjalla, jotka suuntautuivat jalostamoalueelta luoteeseen. Koealat olivat linjoilla 0,5 km:n päässä toisistaan ja kauimmat koealat sijaitsivat 6,5 km:n etäisyydellä jalostamosta. Koepuut kuuluivat varttuneisiin kasvatusmetsiin ja kasvualustana oli joko OMT- tai MT-tyyppi. Neulasnäytteet koottiin yhdistettyinä näytteinä koealoittain. Toisin sanoen kultakin koealalta kerättiin n. 40 cm:n pituisia näyteoksia n. 5-6 m:n korkeudelta 3-5 koepuusta ja näin saatu näyte edusti koko koealaa. Koealoilta kerätyistä neulasnäytteistä määritettiin em. laitoksella vuosien 1984 ja 1985 neulasten rikki- ja typpipitoisuudet. Näyteoksista määritettiin neulasnäytteiden keräyksen yh-

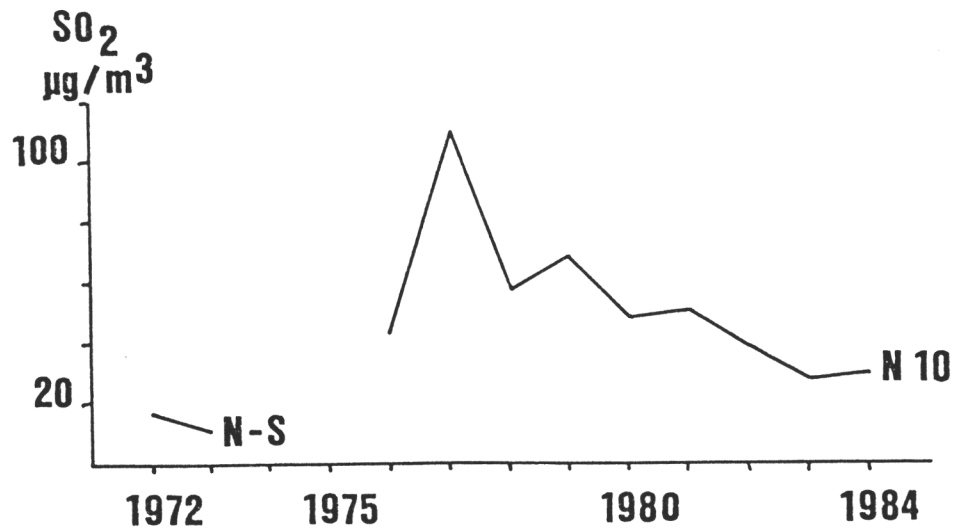
teydessä se, kuinka monta prosenttia kunkin vuoden neulasista oli jäljellä. Ko. tuloksia voitiin tarkastella koealatasolla.

Kaikkien em. aineistojen tilastollinen käsittely tehtiin Joensuun yliopiston laskentakeskuksen SPSSX- ja SAS-ohjelmistoilla. Eri osapopulaatioiden eroja testattiin pääasiassa varianssi- ja kovarianssianalyysillä ja t-testillä.

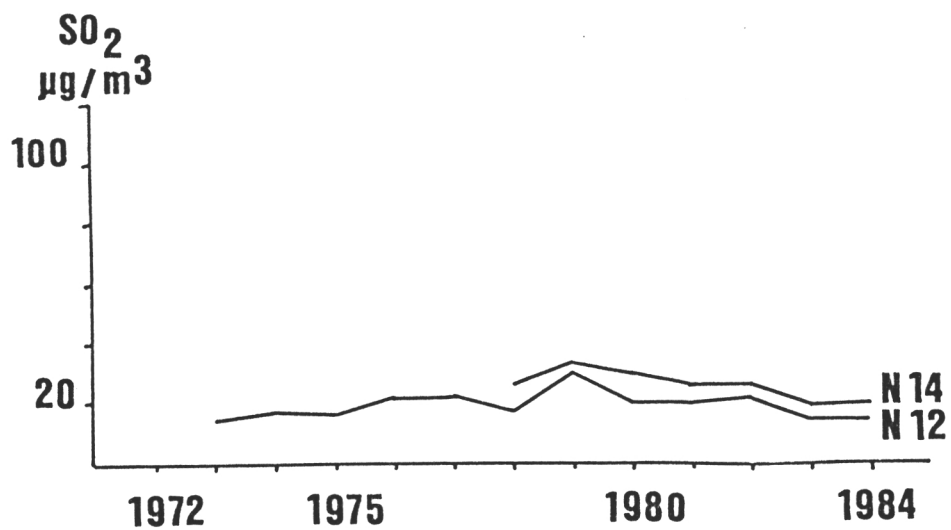
3.0 TUTKIMUSALUEEN ILMAN LAATU

Tutkimusalueen maaperän ominaisuuksia yms. koskevia tutkimuksia ei esitellä tässä yhteydessä, vaan tältä osin viitataan Huttusen (1987) julkaisuun. Tutkimusalueella ilmaan pääseviä epäpuhtauksia on myös käsitelty useissa tutkimuksissa (esim. Hasenson 1985, Kartastenpää ym. 1973 ja Sisäasianministeriö 1980).

Rikkidioksidipitoisuutta on mitattu jatkuvasti vuodesta 1970 lähtien. Muiden epäpuhtauksien seuranta ei ole ollut vastaavalla tavalla jatkuvaa, vaan mittauksia on tehty yksittäisinä vuosina. Ilman rikkidioksidipitoisuuden mittauksia on tehty lähinnä tämän tutkimuksen ydinaluetta vastaavalla alueella. Rikkidioksidin vuosipitoisuutta on mitattu neljällä mittausasemalla, jotka ryhmittyvät tuotantolaitosten välittömään (alle 1 km) lähiympäristöön ja 2-5 km:n etäisyydellä tuotantolaitoksista olevalle alueelle (Hasenson 1985). Em. alueiden rikkidioksidin vuosipitoisuudet on esitetty kuvissa 1 ja 2.



Kuva 1. Ilman rikkidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvot Sköldvikin tuotantolaitosten lähiympäristössä mittausasemilla N-S ja N10



Kuva 2. Ilman rikkidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvot 2-5 km:n etäisyydellä Sköldvikin teollisuusalueesta mittausasemilla N12 ja N14

Tarkasteltaessa vuorokausipitoisuuksista laskettuja rikkidioksidin vuosikeskiarvoja, on muistettava, että ne antavat yleiskuvan tutkimusalueen ilman laadusta. Em. arvoissa eivät ilmene mm. lyhytaikaispitoisuuksien vaihtelu, joka voi olla hyvinkin suurta. Joka tapauksessa voidaan todeta, että suurimmillaan ilman rikkidioksidipitoisuudet olivat 1970-luvun jälkipuoliskolla. Korkeat rikkidioksidimäärät johtuivat rakentamis- ja korjaustöistä sekä poikkeuksellisista käyttöhäiriöistä (Sisäasiainministeriö 1980 ja Hasenson 1985). Em. lukujen perusteella tutkimuksen ydinalueella 1970-luvulla ylitettiin useana vuotena Valtioneuvoston metsätalousalueiden ilman laatua koskeva tavoitteellinen 25 ug/m^3 :n ohjearvo. Vuosikeskiarvojen perusteella ilmanlaatu on parantunut tutkimuksen ydinalueella vuodesta 1980 lähtien. Lisäalueisiin kohdistuvan rikkidioksidikuormituksen voitiin olettaa olevan ydinaluetta pienempi, koska mittauksen mukaan (Neste Oy 1983) savukaasut laimenivat hyvin tehokkaasti 10 km:n etäisyydellä.

Porvoon seudun ilman laatua on seurattu myös bioindikaattoreilla. Ensimmäinen laaja männyn neulasanalyysiin perustuva rikkiyhdisteiden leviämiskartoitus tehtiin Porvoon seudulla talvella 1980-1981 (Huttunen ym. 1981). Neulasten rikkipitoisuuskartoitus uusittiin vuonna 1986 samalla koealaverkolla (Huttunen 1987). Em. koealaverkon 69:stä koealasta 35 oli tämän tutkimuksen ydinalueella tai lisäalueilla. Taulukossa 1 on esitetty em. koealojen perusteella lasketut aluekohtaiset keskimääräiset neulasten rikkipitoisuudet.

Taulukko 1. Männyn neulasten rikkipitoisuudet ydin- ja lisäalueilla Huttusen ym. (1981) ja Huttusen (1987) tutkimusten mukaan

Alue	Neulasnäytteiden keskimääräinen rikkipitoisuus (ppm)				Koealojen lukumäärä
	1979	1980	1984	1985	
Ydinalue	1732	1549	1308	1217	22
Porvoon Lisäalue 1	1494	1328	1052	1009	2
Porvoon Lisäalue 2	1506	1348	1147	1115	6
Porvoon Lisäalue 3	1493	1329	1039	981	5
Porvoon lisäalueet yhteensä	1499	1337	1091	1047	13

Ydinalueella neulasten rikkipitoisuus oli kaikkina vuosina tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin lisäalueilla. Tämä tukee rikkidioksimittausten yhteydessä esitettyä oletusta, että ydinalueella rikkikuormitus oli suurempi kuin lisäalueilla. Vuosikymmenen vaihteessa koko Porvoon seudulla neulasten rikkipitoisuus oli kuitenkin selvästi suurempi kuin tausta-arvona (esim. Huttunen ja Karhu 1984) pidetty 900 ppm:n arvo. Rikkidioksimittausten osoittama ilman laadun paraneminen näkyi myös vuonna 1986 kerätyissä neulasnäytteiden rikkipitoisuuksissa, jotka olivat kaikilla alueilla tilastollisesti merkitsevästi pienemmät kuin viisi vuotta aikaisemmin. Ydinalueella neulasten rikkipitoisuus oli vielä selvästi normaalia korkeammalla tasolla, mutta lisäalueilla pitoisuudet lähenivät normaalitasoa.

4.0 TUTKIMUKSEN TULOKSET

4.1 Tutkimusalueen metsien ja koealametsiköiden rakenne

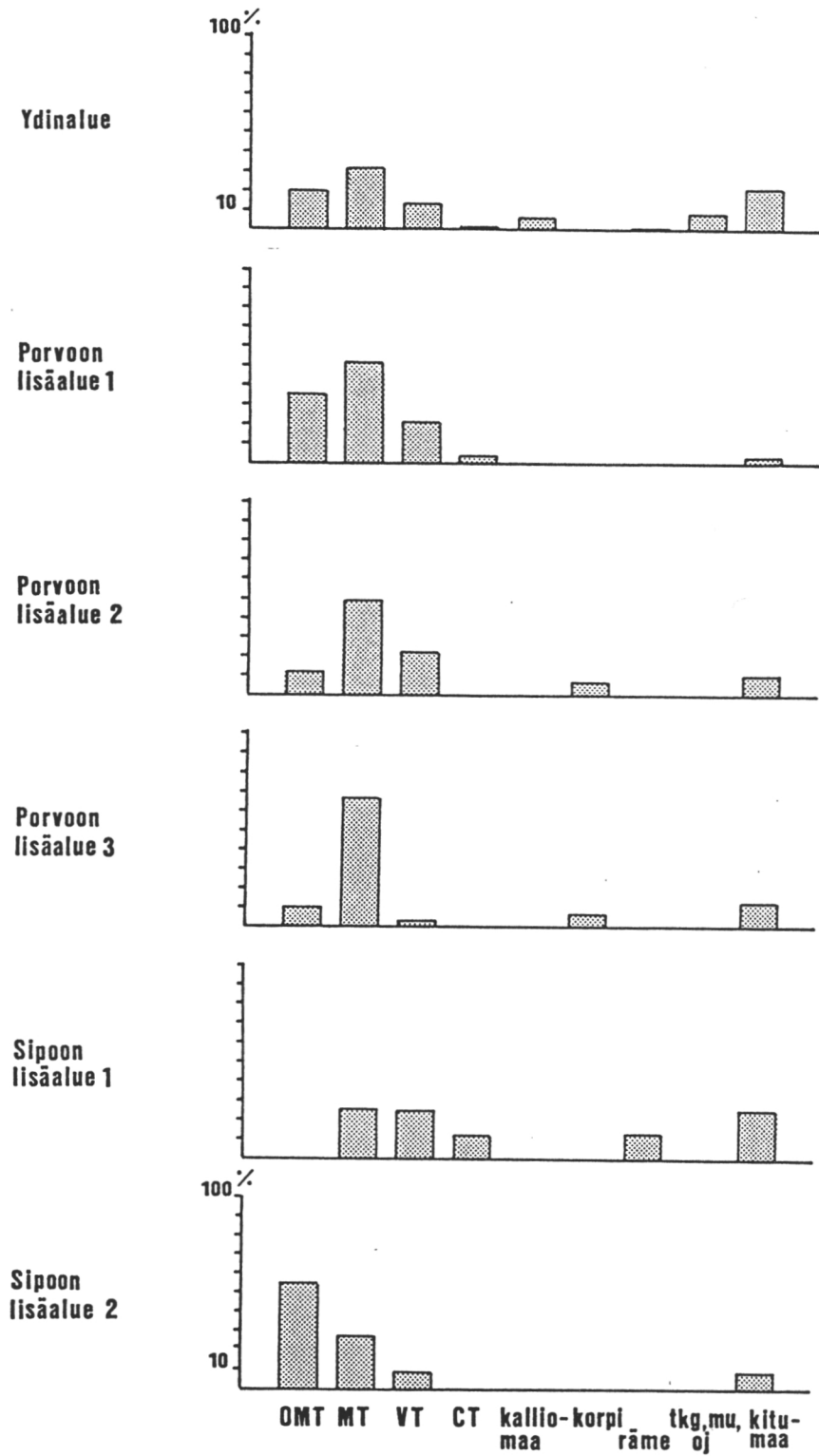
Tutkimusalueen metsät ovat kuusivaltaisia. Linja-arvioinnissa noin puolella metsämaan metsiköistä vallitsevana puulajina oli kuusi. Lisäalueilla kuusivaltaisia metsiköitä oli enemmän kuin ydinalueella (taulukko 2).

Taulukko 2. Tutkimusalueen metsämaan metsiköt vallitsevan puulajin mukaan (Tiihonen & Virtanen 1987)

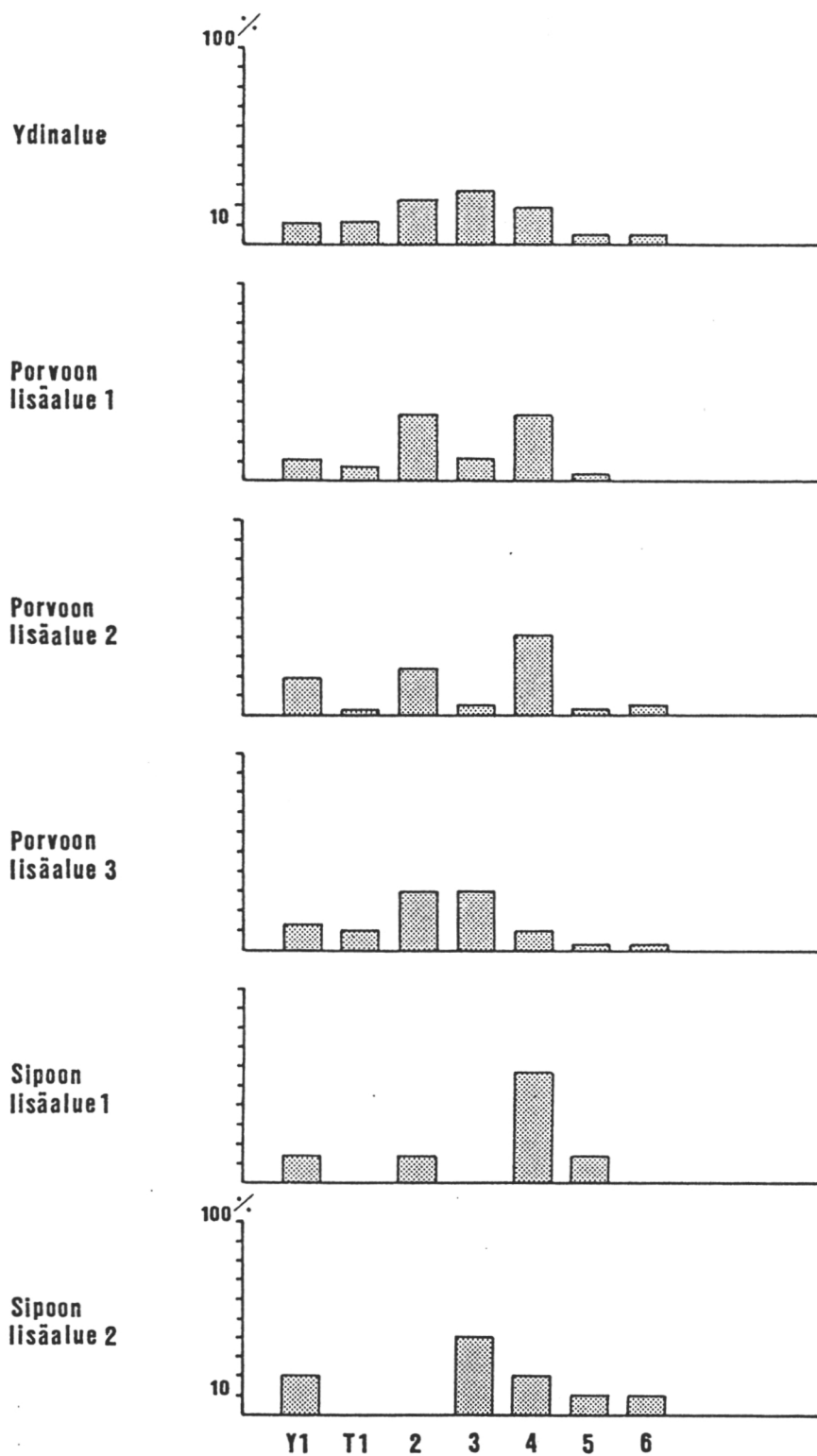
Alue	Aukeat alat	Vallitseva puulaji		
		Mänty	Kuusi	Lehtip.
		% metsämaan alasta		
Ydinalue	1	46	45	8
Porvoon lisäalueet	2	36	58	4
Sipoon lisäalueet	3	39	50	8

Koepuista (yht. 892) oli kuusia 47 %, mäntyjä 42 % ja lehtipuita 11 %. Koepuiden puulajisuhteet vastasivat suhteellisen hyvin linja-arvioinnin tuloksia, koska koepuista yli puolet oli ydinalueelta.

Tutkimusalueelle ovat tyypillisiä hyväkasvuiset, osittain rehevätkin metsämaat. Tämän vuoksi 60 % koealoista kuului OMT- ja MT-tyypin metsiköihin. Rannikolla oli yleisesti kitumaihin luokiteltavia kalliomaita. Kitumaiden osuus oli linja-arvioinnin mukaan 7 % koko maapinta-alasta.



Kuva 3. Koalojen metsätyyppien osuudet osa-alueittain



Y1 Aukeat alat.

T1 Taimisto

T2 Nuori kasvatusmetsikkö

T3 Varttunut kasvatusmetsikkö

T4 Uudistuskypsä metsikkö

T5 Siemen- ja suojuspuuala

T6 Vajaatuottoinen metsikkö

Kuva 4. Koealojen kehitysluokkien osuudet osa-alueittain

Kitumaita oli eniten ydinalueella, jonka koealoista 15 % kuului niihin. Pääosa eri osa-alueiden koealoista sijaitsi OMT- ja MT-tyypin metsiköissä (kuva 3). Rannikolla sijainneella Sipoon lisäalueella 1 koealat olivat muita alueita karummilla kasvualustoilla, mutta tällä osa-alueella oli vain 8 koealaa.

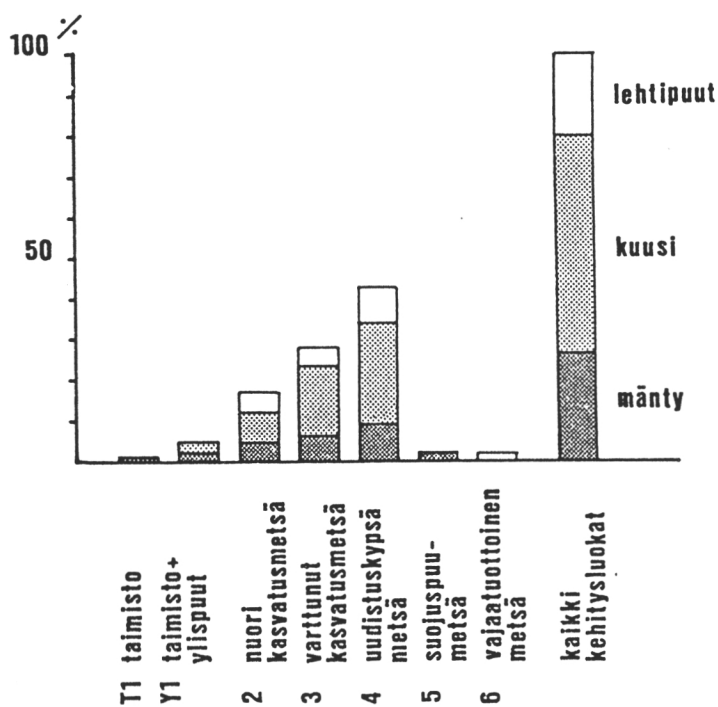
Tutkimusalueen metsämaan pinta-alasta kaksi kolmasosaa kuului nuoriin ja varttuneisiin kasvatusmetsiköihin sekä uudistuskypsiin metsiköihin (taulukko 3). Ydinalueella myös koealojen kehitysluokkien osuudet vastasivat kehitysluokkien pinta-alajakaumaa. Suurimmat poikkeamat koealojen kehitysluokkaosuuksien ja kehitysluokkien pinta-alaosuuksien välillä olivat Sipoon lisäalueilla, joissa koealojen lukumäärä oli pienin (kuva 4).

Taulukko 3. Kehitysluokkien pinta-alaosuudet metsämaalla (Tiihonen & Virtanen 1987)

Kehitysluokka	Ydinalue	Porvoon mlk % metsämaan alasta	Sipoon kunta
Y1 Aukeat alat	2	2	3
T1 Taimisto	21	22	21
2 Nuori kasvatusmetsikkö	21	19	12
3 Varttunut kasvatusmetsikkö	24	29	26
4 Uudistuskypsä metsikkö	20	18	25
5 Siemen- ja suojuspuuala	6	6	6
6 Vajaatuottoinen metsikkö	6	6	6

Tutkimusalueella on paljon runsaspuustoisia metsiköitä. Ydinalueella metsämaan keskikuutiomääräksi saatiin $125 \text{ m}^3/\text{ha}$, Porvoon mlk:n lisäalueilla $150 \text{ m}^3/\text{ha}$ ja Sipoon lisäalueilla $135 \text{ m}^3/\text{ha}$. Kitumaiden keskikuutiomäärä oli koko tutkimusalueella $50 \text{ m}^3/\text{ha}$. Lisättäessä kuutiomäärä tutkimusalueen puuston tarkasteluun, varttuneiden kasvatusmetsiköiden ja uudistuskypsien metsiköiden, lähinnä kuusikoiden merkitys korostui entisestään. Kuvassa 5 on esitetty koepuiden suhteelliset kuutiomäärät puula-

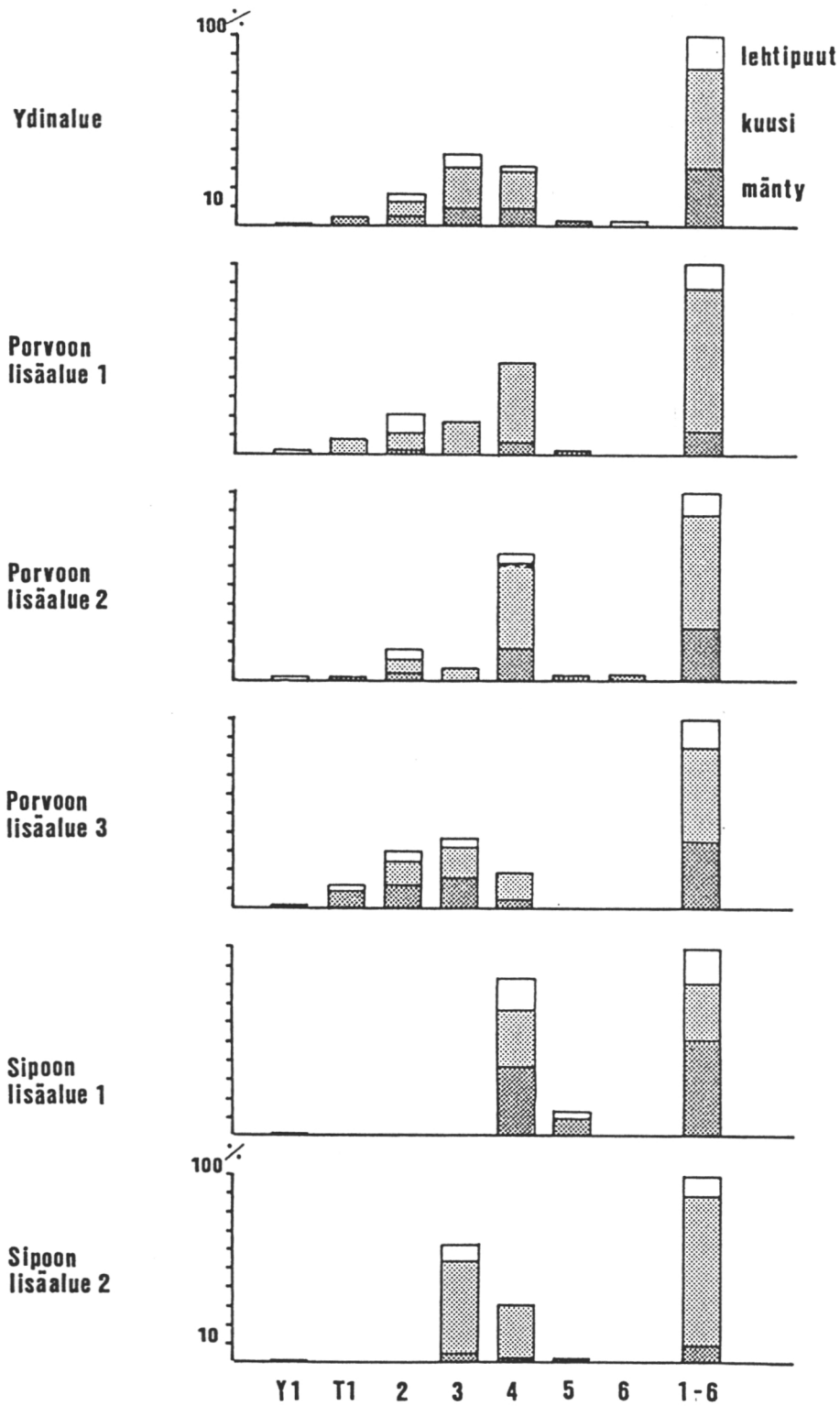
jeittain ja kehitysluokittain. Yli 70 % koepuiden kuutiomäärästä oli varttuneissa kasvatusmetsiköissä ja uudistuskypsissä metsiköissä. Pelkästään em. kehitysluokkien kuusikoissa oli yli 40 % kaikkien koealojen kokonaiskuutiomäärästä. Tarkasteltaessa koealojen kehitysluokittaisia kuutiomääriä osa-alueittain, erot olivat varttuneiden kasvatusmetsiköiden ja uudistuskypsien metsiköiden keskinäisissä suhteissa (kuva 6).



Kuva 5. Koealojen kehitysluokittaiset kuutiomäärät metsämaalla

4.2 Kuutiokasvu

Seuraavassa kappaleessa esitetyt tulokset on referoitu Tiihosen & Virtasen (1987) loppuraportista. Kuutiokasvu ja -prosentit laskettiin viimeiselle viisivuotisjaksolle eli



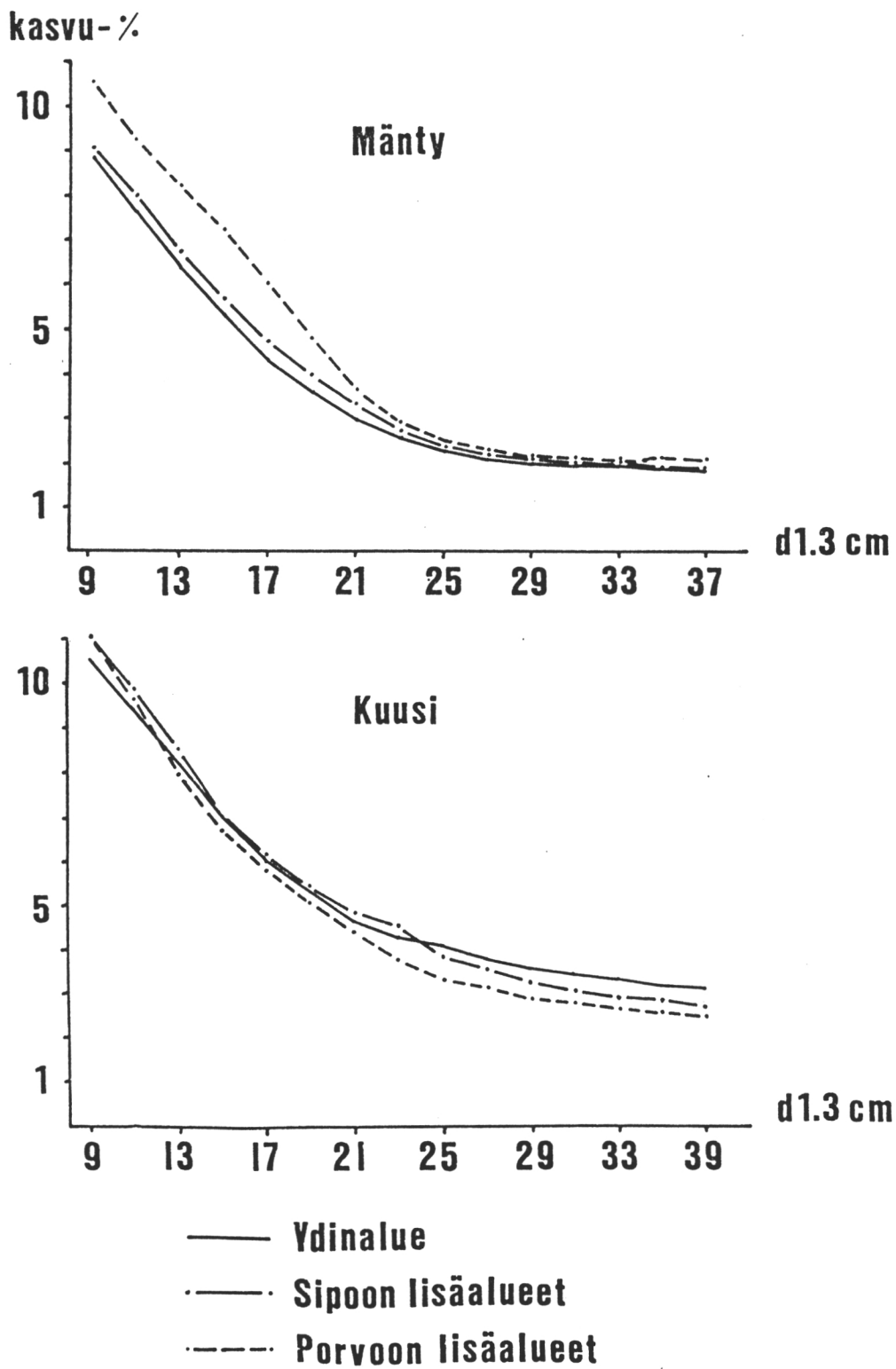
Kuva 6. Koealojen kehitysluokittaiset kuutiomäärät metsämaalla osa-alueittain

vuosille 1980-1984. Metsämaan puuston keskikasvu oli ydinalueella 5,9 m³/ha, 6,3 m³/ha Porvoon mlk:n lisäalueilla ja 5,0 m³/ha Sipoon lisäalueilla. Kasvu oli kaikilla osa-alueilla selvästi suurempi kuin Helsingin piirimetsälautakunnan alueella vuosina 1977-1978 tehdyn 7. inventoinnin mukaan. Kitumailta kasvu oli kaikilla alueilla keskimäärin 2,0 m³/ha.

Metsiköiden kuutiomääristä ja -kasvuista laskettiin kuutiokasvuprosentit, jotka on esitetty taulukossa 4 kehitysluokittain ja kuusen osalta puulajeittain. Tuloksia verrattiin Helsingin piirimetsälautakunnan 7. inventoinnin mukaisiin lukuihin. Vertailussa on huomattava, että taimisto a tarkoitti tässä tutkimuksessa taimistoa, jossa ei ollut ylispuita. Taimisto b puolestaan sisälsi niitä. Inventoinnissa taimisto a:lla tarkoitetaan pientä taimistoa ja taimisto b:lla varttunutta taimistoa. Lukupareja on siis tarkasteltava kokonaisuutena.

Taulukko 4. Metsämaan kuusen ja kaikkien puulajien kuutiokasvu prosentit tutkimuksen eri osa-alueilla ja Helsingin piirimetsälautakunnan alueella (Tiihonen & Virtanen 1987)

Kehitysluokka	Puulaji	Kuutiokasvuprosentti			
		Ydinalue	Porvoon mlk	Sipoon kunta	Helsingin pml
Taimisto a	Kuusi	9,8	12,2	14,0	6,3
	Kaikki	10,6	7,2	13,9	8,4
Taimisto b	Kuusi	6,2	4,3		12,3
	Kaikki	3,6	4,2		12,7
Nuori kasvatusmetsikkö	Kuusi	8,0	7,5		6,9
	Kaikki	6,8	7,2	3,9	6,5
Varttunut kasvatusmetsikkö	Kuusi	4,8	4,4	4,0	3,3
	Kaikki	4,5	4,0	3,0	3,3
Uudistuskypsä metsikkö	Kuusi	4,0	3,5	2,9	2,5
	Kaikki	3,6	3,2		2,4
Vajaatuottoinen metsikkö	Kuusi	4,8	2,9		2,8
	Kaikki	6,8	2,5		3,4
Metsämaa yhteensä	Kuusi	4,8	4,4	3,7	3,7
	Kaikki	4,6	4,3	3,6	3,9



Kuva 7. Männyn ja kuusen läpimittaluokittaiset keskimääräiset kuutio-
 kasvuprosentit eri osa-alueilla (Tiihonen & Virtanen 1987)

Kuutiokasvuprosenttien perusteella puuston kasvu oli yhdenmukaista eri osa-alueilla. Ydinalueen kasvuprosentit olivat keskimäärin hieman suuremmat kuin vastaavat lisäalueiden tulokset. Koko tutkimusalueen kasvuprosentit olivat puolestaan hieman suuremmat kuin vastaavat koko Helsingin piirimetsälautakunnan tulokset.

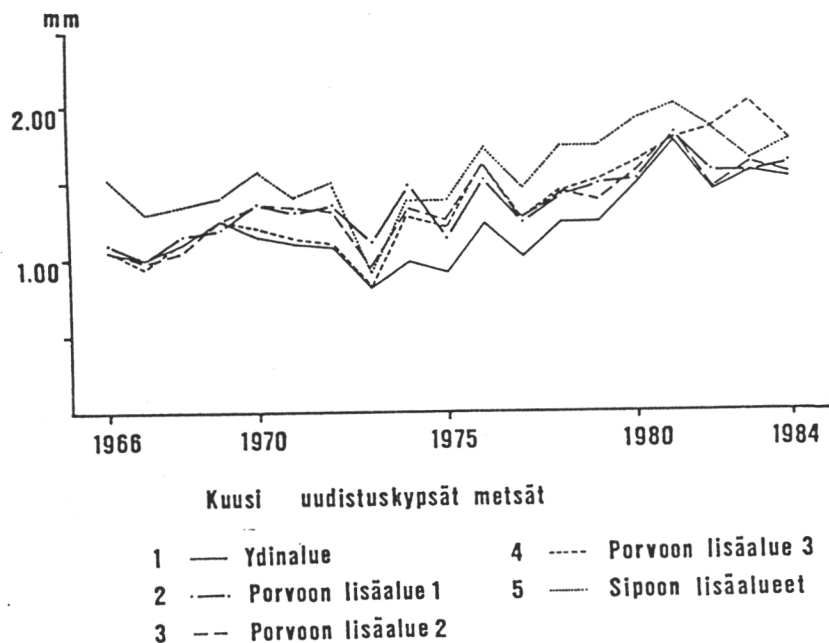
Puulajittaisessa ja läpimittaluokittaisessa tarkastelussa (kuva 7) Porvoon maalaiskunnassa männyn kuutiokasvuprosenttien havaittiin olleen pienissä läpimittaluokissa ydinalueen ja Sipoon kunnan tuloksia suurempia. Kuusella taas ydinalueen kuutiokasvuprosentit olivat suurissa läpimittaluokissa keskimäärin Porvoon maalaiskunnan tuloksia suuremmat. Sipoon kunnan alueen kuusen kuutiokasvuprosentit lähenivät ydinalueen tuloksia. Em. tulosten perusteella Tiihonen & Virtanen (1987) totesivat, ettei voitu yleistää otaksumaa, jonka mukaan kuutiokasvuprosentit olisivat olleet pienimmät päästölähteen lähellä.

4.3 Sädekasvun kehitys puulajeittain 1966-1984

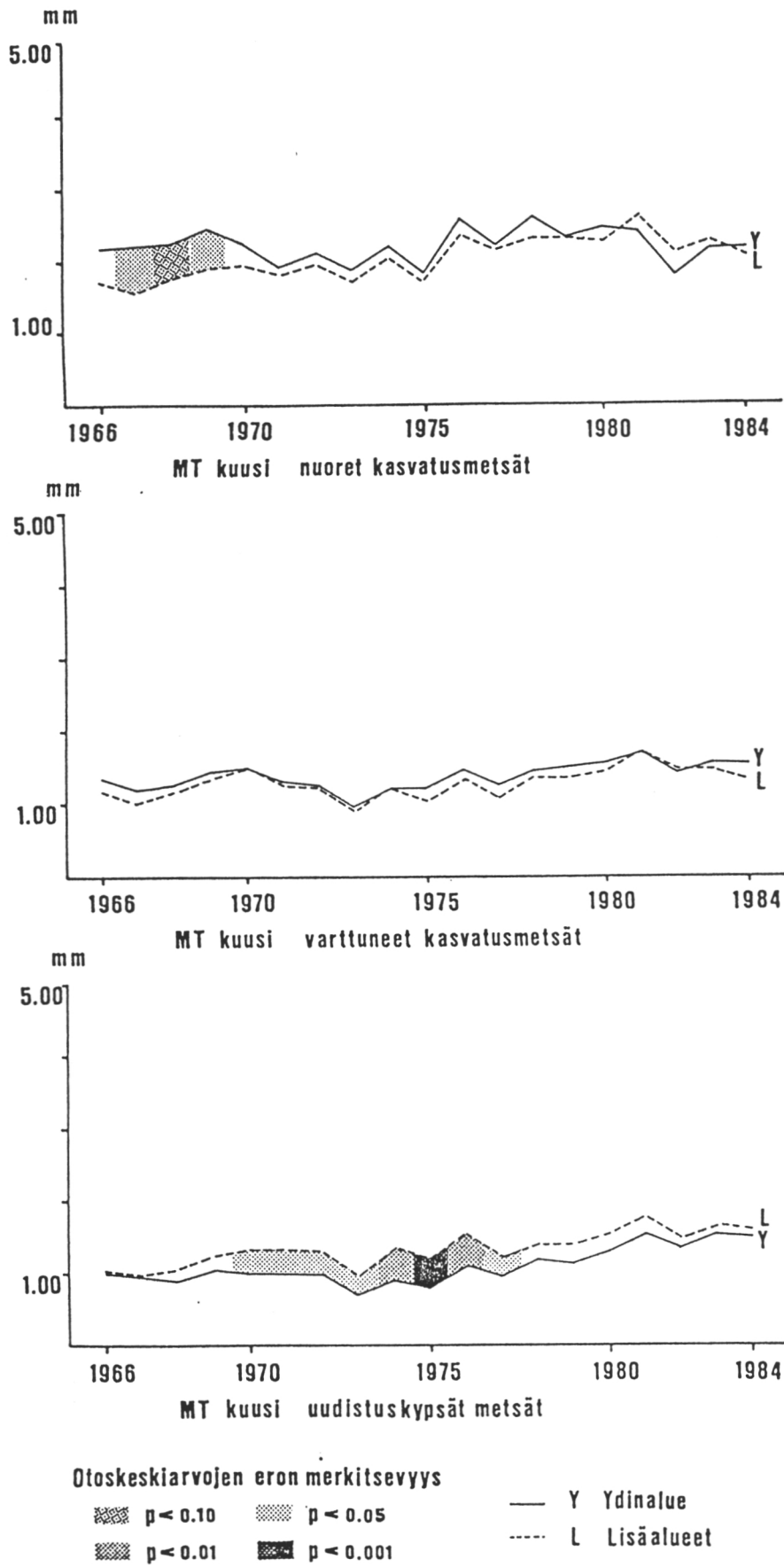
Sädekasvun kehitystä tarkasteltiin puulajeittain kehitysluokkien, metsätyyppien sekä osa-alueiden mukaan. Aluekohtainen tarkastelu tehtiin yksittäisten alueiden mukaan tai ydinalueen ja yhdistettyjen lisäalueiden välillä. Jälkimmäinen jaottelu oli perusteltu otettaessa huomioon osa-alueille kohdistunut rikkidioksidikuormitus (kappale 3.)

4.3.1 Kuusi -

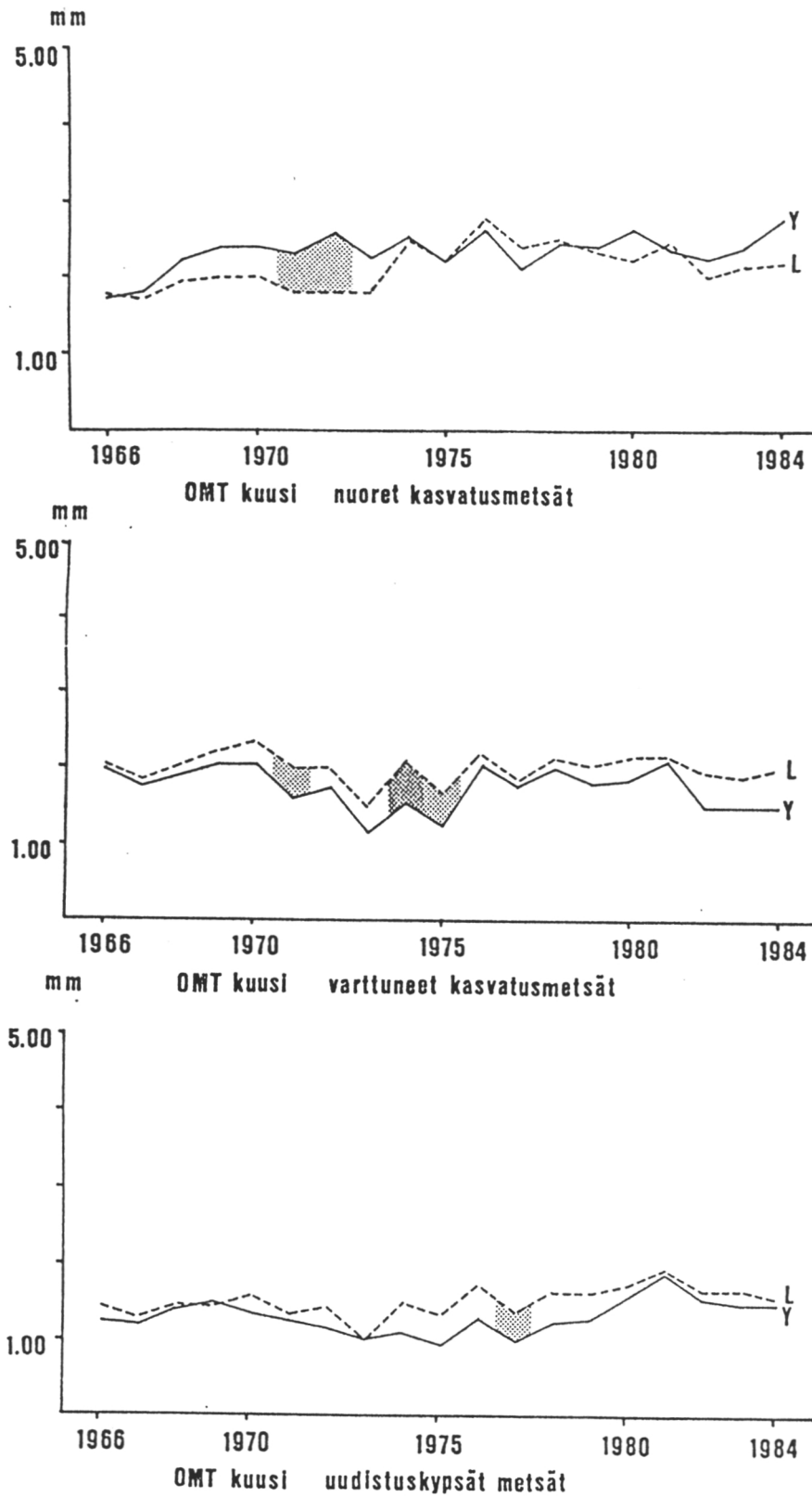
Kuusella sädekasvun kehitystä voitiin tarkastella kehitys-
luokittain eri alueiden välillä, koska metsätyyppijakaumat koos-
tuivat kaikilla alueilla pääasiassa OMT -ja MT-tyypeistä. Nuo-
rissa ja varttuneissa kasvatusmetsissä ei ollut havaittavissa
poikkeuksellista kasvukehitystä alueiden välillä. Sen sijaan uu-
distuskypsien metsien sädekasvussa alkoi tulla alueiden välille
eroja 1970-luvun alussa (kuva 8). Erot olivat tilastollisesti
merkitseviä vuosina 1974-1977. Ko. ajanjakson yhteinen piirre
oli se, että ydinalueen sädekasvu oli tuolloin lisäalueiden säde-
kasvua alemmalla tasolla. 1980-luvulle tultaessa erot alueiden
välillä käytännöllisesti katsoen hävisivät.



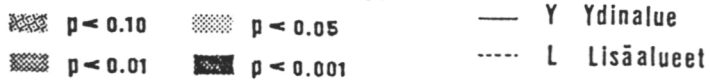
Kuva 8. Kuusen sädekasvu uudistuskypsissä metsissä alueittain



Kuva 9. MT-tyyppin kuusien sädekasvu ydinalueella ja yhdistetyillä lisäalueilla



Otoskeskiarvojen eron merkitsevyys



Kuva 10. OMT-tyypin kuusien sädekasvu ydinalueella ja yhdistetyillä lisäalueilla

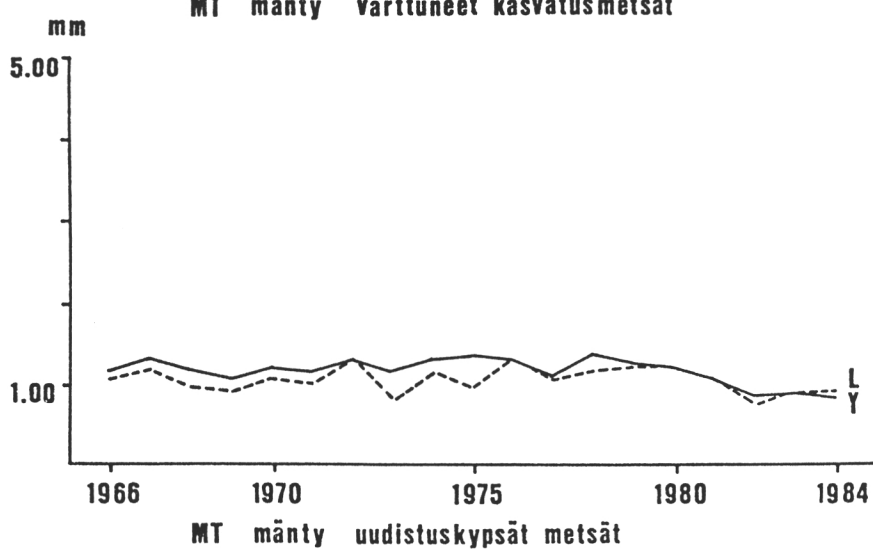
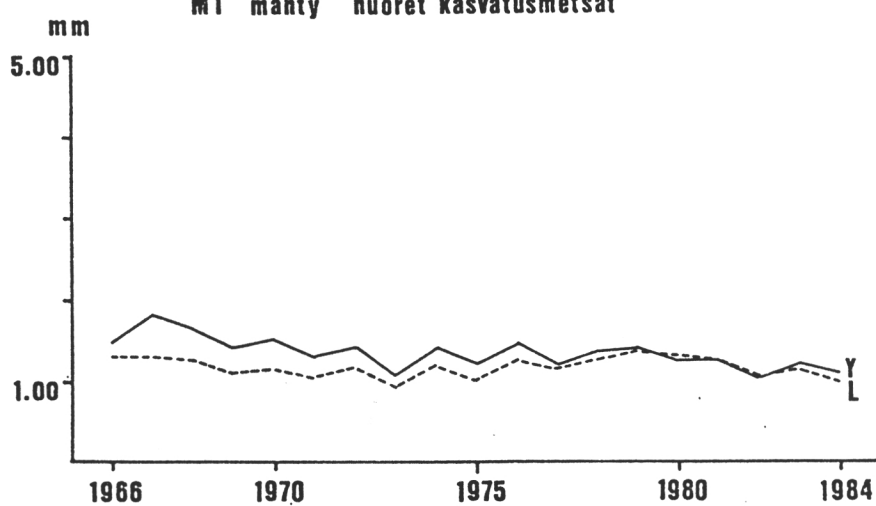
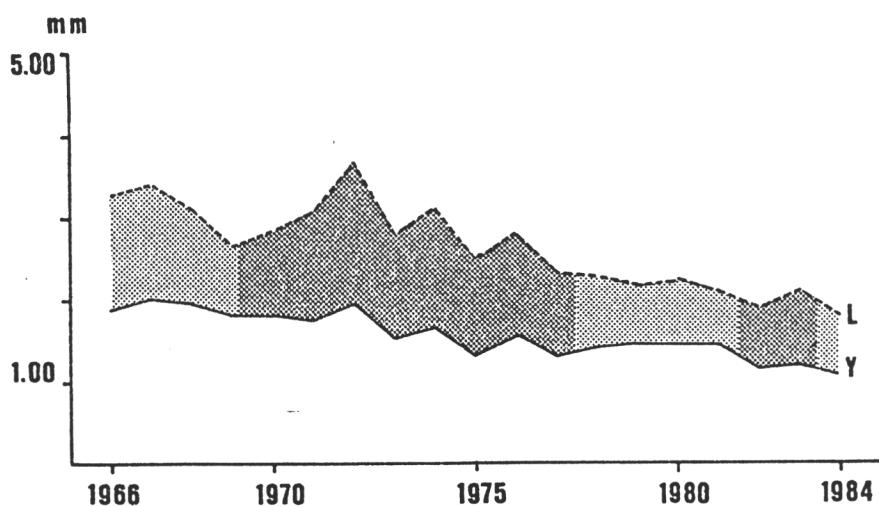
Pelkästään MT-tyyppin uudistuskypsien metsien kuusien sädekasvussa näkyi em. ydinalueen ja yhdistettyjen lisäalueiden välinen tasoero vieläkin selvempänä (kuva 9). Tällöin ydinalueen puuston sädekasvu oli lisäalueiden puuston sädekasvua tilastollisesti merkitsevästi pienempi vuosina 1970-1977. Vastaavan ikäisillä OMT-tyyppin kuusilla alueiden väliset erot olivat samantlaiset, mutta ydinalueella sädekasvu oli tilastollisesti lisäalueiden puuston sädekasvua pienempi vain vuonna 1977 (kuva 10).

Varttuneissa kasvatusmetsissä MT-tyyppin kuusilla ei ollut eroja alueiden välillä. Sen sijaan vastaavilla OMT-tyyppin kuusilla ydinalueen sädekasvu oli lisäalueiden sädekasvua tilastollisesti merkitsevästi pienempi vuosina 1971, 1974 ja 1975.

Sekä OMT- ja MT-tyyppin nuorissa kasvatusmetsissä kuusien sädekasvu oli lisäalueilla 1970-luvun vaihteessa tilastollisesti merkitsevästi pienempi kuin ydinalueella. Tätä jaksoa lukuunottamatta alueiden sädekasvut olivat käytännössä yhtä suuret.

4.3.2 Mänty -

Männyn sädekasvua voitiin tarkastella ydinalueen ja yhdistettyjen lisäalueiden välillä MT- ja VT-tyypeillä. MT-tyyppin nuoria kasvatusmetsiä ja VT-tyyppin uudistuskypsiä metsiä lukuunottamatta vertailuryhmien väliset erot olivat erittäin pieniä (kuvat 11 ja 12).

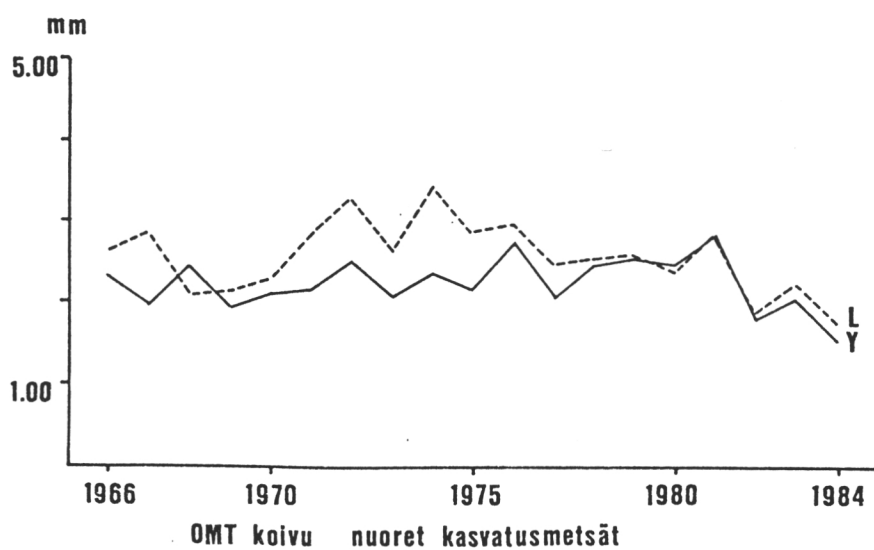
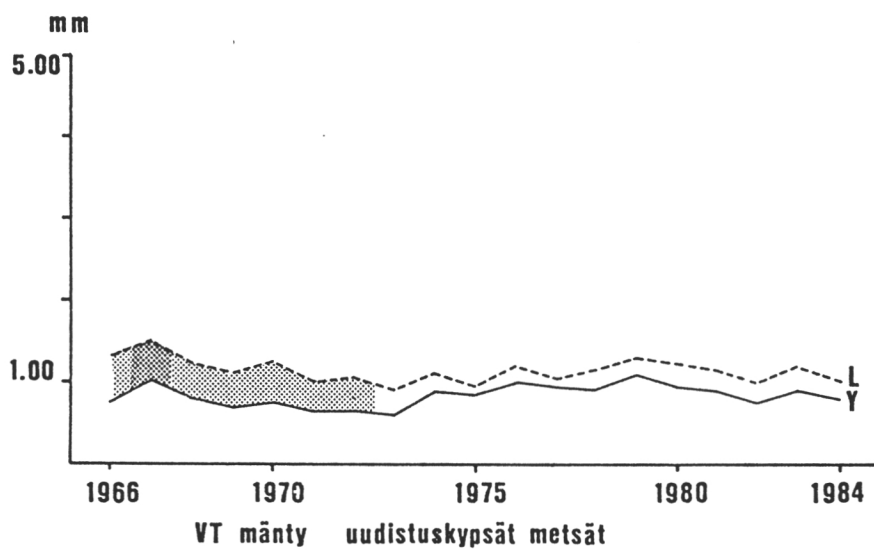


Otoskeskiarvojen eron merkitsevyys





$p < 0.10$ $p < 0.05$
 $p < 0.01$ $p < 0.001$

— Y Ydinalue
 - - - L Lisäalueet

Kuva 11. MT-tyypin mäntyjen sädekasvu ydinalueella ja yhdistetyillä lisäalueilla



Otoskeskiarvojen eron merkitsevyys

 $p < 0.10$	 $p < 0.05$	 Y Ydinalue
 $p < 0.01$	 $p < 0.001$	 L Lisäalueet

Kuva 12. VT-tyyppin mäntyjen ja OMT-tyyppin koivujen sädekasvu ydinalueella ja yhdistetyillä lisäalueilla

MT-tyyppin nuorissa kasvatusmetsissä mäntyjen sädekasvu oli lisäalueilla koko tarkasteluajanjakson tilastollisesti merkittävästi suurempi kuin ydinalueella. Alueiden välinen tasoero oli samansuuruinen koko ajan. VT-tyyppin uudistuskypsissä metsissä mäntyjen sädekasvu oli ydinalueella hiukan alemmalla tasolla verrattuna lisäalueisiin koko tarkastelujakson ajan. Ero oli tilastollisesti merkittävä vuosina 1966-1972.

4.3.3 Lehtipuut -

Lehtipuista koivun sädekasvun alueiden välinen vertailu oli mahdollista OMT-tyyppin nuorissa kasvatusmetsissä. Vertailuryhmät eivät poikenneet toisistaan tilastollisesti yhtenäkkään vuonna. Tosin koepuumäärät olivat molemmissa ryhmissä pienet. Ryhmien väliset erot olivat suurimmat vuosina 1971-1975 (kuva 12), jolloin myös kuusen sädekasvussa oli aluekohtaisia eroja.

4.4 Puustovauriot

Seuraavassa kappaleessa esitetyt tulokset on referoitu Tiihosen & Virtasen (1987) loppuraportista. Linja-arvioinnissa puustovauriot ryhmitettiin kappaleessa 2 esitetyn luokituksen mukaisesti. Tulosten analysoinnissa havaittiin, että päähuomio oli perusteltua keskittää neulasvaurioihin. Em. ryhmään sisällytettiin talven 1984-1985 pakkasten aiheuttamat neulasvauriot.

Taulukossa 5 on esitetty niiden metsämaan metsikkökuvioiden, joilla eri asteisia vaurioita esiintyi, prosenttiosuudet koko-

naispinta-alasta. Harsuuntumista esiintyi eniten ydinalueella, jossa yhdellä kolmasosalla metsämaan metsikkökuvioista oli neulasvaurioita. Neulasvaurioiden alueen osuus oli kaksinkertainen verrattuna lisäalueisiin.

Taulukko 5. Neulasvaurioiden esiintyminen metsämaalla osa-alueittain (Tiihonen & Virtanen 1987)

Vaurioaste	Ydinalue	Porvoon mlk	Sipoon kunta
	% metsämaan alasta		
Lievä	26	12	11
Runsas	10	1	1
Erittäin runsas	1	0	0
Ei vaurioita	63	87	88

Harsuuntumista havaittiin metsämaalla eniten männyllä, jonka osuus kokonaisvaurioalasta oli 65-70 %. Lehtipuilla harsuuntumista todettiin lähinnä ydinalueella, jolla harsuuntuneita lehtipuita oli kuudella prosentilla kokonaisalasta. Kuusen osuudeksi jäi siten 25-30 %.

Kitumaan metsiköiden harsuuntumisen tarkastelussa rajoitettiin ydinalueeseen. Kitumaalla harsuuntumista esiintyi selvästi enemmän kuin metsämaalla (taulukko 6). Harsuuntuminen keskittyi pääasiassa mäntyihin, koska tutkimusalueen kitumaat olivat mäntyvaltaisia.

Taulukko 6. Neulasvaurioiden esiintyminen ydinalueen kitumaalla (Tiihonen & Virtanen 1987)

Vaurioaste	% kitumaan alasta
Lievä	39
Runsas	11
Erittäin runsas	4
Ei vaurioita	46

Neulasvaurioita havaittiin tutkimusalueen kaikissa osissa. Kaikkein eniten niitä oli Sköldvikin tuotantolaitosten lähiympäristössä. Männyllä neulasvauriot olivat selvästi yleisempiä kuin kuusella. Vaurioiden maastotarkistukset osoittivat, että huomattava osa männyn neulasvaurioista oli ytimennävertäjän aiheuttamaa. Tämän lisäksi tehtiin havaintoja männynversoruosteen ja -syövän aiheuttamista tuhoista. Vanhoissa kuusikoissa havaittiin yleisesti maannouseman aiheuttamia tuhoja.

4.5 Bioindikaattoreiden ja kasvun riippuvuus

Kesällä 1986 mitatuilla 20:llä kasvukoealalla (Kuopion yliopisto) kuusen neulasten rikkipitoisuudet vaihtelevat huomattavasti. Ensimmäisen eli vuoden 1985 neulasten rikkipitoisuuden keskiarvo oli 1155 ppm (s=197) vaihteluvälin ollessa 920-1820 ppm. Toisen vuoden neulasten vastaavat arvot olivat 1214 ppm (s=211) ja 920-1910. 900 ppm:n tausta-arvoon verrattuna pitoisuudet olivat kohonneet suhteellisen paljon.

Taulukko 7. Koepuiden kuutiokasvuprosentti neulasten iän ja rikkipitoisuuden mukaan

Neulasten S-pitoisuus	Neulasten ikä	
	1 v. (1985)	2 v. (1984)
alle 1000 ppm	7.97 %	7.91 %
yli 1000 ppm	6.48 %	6.67 %

Koepuina olleiden kuusien ja rikkipitoisuuden suhdetta tarkasteltiin viimeisen viisivuotiskauden (1980-1985) kuutiokasvuprosentin avulla. Käytettäessä keskimääräisen kuutiokasvuprosentin luokitteluperusteena koepuiden neulasten rikkipitoisuuden 1000 ppm:n arvoa, runsasrikkisten koepuiden kasvu oli tilastollisesti alentunut (taulukko 7).

Taulukko 8. Kuutiokasvuprosentti neulasten iän ja rikkipitoisuuden mukaan

Neulasten S-pitoisuus	Neulasten ikä	
	1 v. (1985)	2 v. (1984)
alle 1000 ppm	7.95 %	7.91 %
1000-1200 ppm	5.97 %	6.60 %
yli 1200 ppm	7.26 %	6.70 %

Neulasten rikkipitoisuuden ja kuutiokasvuprosentin välinen suhde ei ollut yksiselitteinen (taulukko 8). Tuloksia arvioitaessa on kuitenkin muistettava, että neulasnäytteet kerättiin kesällä, jolloin niiden rikkipitoisuudet vaihtelevat huomattavasti esimerkiksi säätilan vaikutuksesta. Kuutiokasvuprosentin ja neulasten rikkipitoisuuden vertailu perustui vain 20 koalan aineistoon, joten pelkästään tästä aiheutuvan satunnaisvaihtelun vuoksi tuloksia voidaan pitää enintään suuntaa-antavina.

Koepuiden vuoden 1984 ja 1983 neulasvuosikertojen säilymisessä oli havaittavissa koealakohtaisia eroja. Neulasten määrä laskettiin näyteoksista, joista otettiin neulasnäytteet rikki- ja typpianalyysijä varten. Ko. vuosille laskettu suhdeluku, joka ilmaisi, kuinka monta prosenttia vuosikerran neulasista oli jäljellä, korreloi tilastollisesti merkittävästi kuutiokasvuprosentin kanssa:

1983	0.48 (p<0.05)
1984	0.48 (p<0.05)

Toisin sanoen, mitä enemmän neulasia oli jäljellä, sitä suurempi kuutiokasvuprosentti oli. Vuoden 1984 neulasten säilymisprosentti korreloi tilastollisesti suuntaa-antavasti myös etäisyyden kanssa (0.34). Toisaalta koealojen kuutiokasvuprosentin ja päästölähteestä olevan etäisyyden välillä ei ollut korrelaatiota (0.14).

5.0 TULOSTEN TARKASTELUA

Ilman epäpuhtaudet vaikuttavat usealla eri tavalla puihin. Vaurioita voidaan tarkastella solutasolta aina ekosysteemitasolle saakka. Tutkimuskohteen valintaan vaikuttaa tutkijan kiinnostuksen lisäksi mm. puun hyötykäyttö. Huomattava osa puuston ja ilman epäpuhtauksien vaikutusten tutkimuksesta on käsitellyt puiden kasvua, jota voidaan mitata mm. lehtien, pituuden, paksuuden, juurien ja kukintojen kasvuna. Puiden eri osat reagoivat eri nopeudella ja laajuudella ilman epäpuhtauksiin ts. kasvuparametreilla on herkkyyseroja, joissa voi olla huomattavaa lajikohtaista vaihtelua (esim. Kozlowski & Constantinidou 1986). Kasvututkimuksissa on siten rajoituttava tutkimuskohteen, päästöjen ja käytettävissä olevien resurssien kannalta olennaisiin kasvuparametreihin.

Koska tutkimus käsitteli Porvoon seudun metsiä, jotka ovat luonteeltaan normaaleja talousmetsiä, käytettävien kasvuparametrien tuli mitata metsien tuottavuutta. McLaughlin'in ym. (1983) mukaan ilman epäpuhtauksien vaikutusta metsän tuottavuuteen voidaan tutkia periaatteessa toistuvasti mitattavilla kiinteillä koealoilla ja analysoimalla sädekasvua tapahtuneiden muutosten selvittämiseksi. Tutkimusmenetelmänä käytetty yhdistetty linja- ja koeala-arviointi perustui kiinteisiin koealoihin ja niiltä kerättyihin sädekasvunäytteisiin. Kasvuparametreinä käytettiin siis kuutio- ja sädekasvua.

Ilman rikkidioksidipitoisuus ylitti 1970-luvulla mittausten mukaan ainakin ydinalueella 21-44 ug/m³:n rajan, mitä pidetään

havupuille vahingollisena (Smith 1981). Ydinalueella vanhojen kuusien sädekasvu taantui verrattuna lisäalueisiin juuri 1970-luvun puolivälissä, jolloin alueen rikkipitoisuudet olivat suurimmat. Ilman laadun parannuttua 1970-luvun lopussa myös ydinalueen kuusien sädekasvu palasi normaalille tasolle. Tulokset vastasivat käsitystä, että kuusi on mäntyä herkempi rikkidioksidille (Huttunen & Paarlahti 1982). Ilman epäpuhtauksien vaikutukset ilmenevät yleensä ensimmäisinä vanhoissa puissa, vaikka nuoret puut ovat yleensä herkempiä kuin vanhat (Kozlowski 1980). Tämän syynä voi olla vanhojen puiden latvusten ilmaa suodattava vaikutus, minkä vuoksi vanhemmat puut ovat alttiimpia ilman epäpuhtauksille kuin nuoret. Tässä tutkimuksessa sädekasvun aleneminen näkyi selvimmin vanhoissa kuusikoissa.

Aikaisemmassa Korhosen (1984) tutkimuksessa sädekasvun havaittiin alentuneen jalostamon lähellä olleilla koealoilla 1970-luvun lopulla. Kasvun väheneminen ei näkynyt yhtä selvänä kuin tässä tutkimuksessa. Tuloksia verrattaessa on muistettava, että Korhosen (1984) tutkimuksessa aineisto oli kerätty vajaata ydinaluetta vastaavalta alueelta, jonka sisällä olleita koealoja verrattiin keskenään. Samassa tutkimuksessa havaittu positiivinen etäisyyden jalostamolta ja sädekasvun välinen korrelaatio oli voimakkain 1970-luvun puolivälissä, jolloin myös ydinalueen varttuneiden kasvatusmetsien ja uudistuskypsien kuusien sädekasvu oli tilastollisesti pienempi kuin vastaavien lisäalueiden kuusien. Tulokset tukevat myös Huttusen (1980) havaitsemaa kuusen sädekasvun vähenemistä 1975-1978 Kulloossa, joka sijoittuu tämän tutkimuksen ydinalueelle. Huttusen (1980) tutkimuksen sädekasvun vertailumenetelmä erosi tämän tutkimuksen menetelmästä.

Ydinalueen vanhat kuusikot saavuttivat 1970-luvun lopussa lisäalueiden vastaavien metsiköiden kasvun tason. Kasvuerojen poistuminen osui ajankohtaan, jolloin tutkimusalueen rikkidioksidipitoisuus alkoi laskea. Samaa ilman laadun paranemista osoittivat myös neulasten rikkipitoisuudet.

Vaikka ydinalueen metsän kasvu oli normaalia tutkimusjakson lopussa, sen puustossa oli samaan aikaan selvästi enemmän neulasvaurioita kuin lisäalueiden puustoissa. Tulosten vertaamista valtakunnallisen Ilme-projektin tuloksiin (Jukola-Sulonen ym. 1987) hankaloittavat osittain erilaiset menetelmät. Ydinalueella neulasvaurioista kärsivien metsikkökuvioiden osuus metsämaanpinta-alasta oli joka tapauksessa selvästi suurempi kuin harsuuntuneiden metsikkökuvioiden osuus keskimäärin Etelä-Suomessa Ilme-projektin tulosten mukaan. Porvoon mlk:n ja Sipoon kunnan tulokset vastasivat paremmin Etelä-Suomen keskiarvoja. Ilme-projektissa harsuuntuneita puita havaittiin olevan keskimääräistä enemmän kalliolla ja hietikoilla. Tämä tukee tässä tutkimuksessa havaittuja kitumaan metsiköiden laaja-alaisia neulasvaurioita. Ilme-projektin tulosten mukaan männyt ja kuuset olivat harsuuntuneet samassa määrin Etelä-Suomessa. Porvoon seudulla sitä vastoin männyllä neulasvauriot olivat selvästi yleisempiä kuin kuusella. Ytimennävertäjän todettiin maastotarkistusten perusteella olleen merkittävänä syynä männyn neulasvaurioihin.

Neulasten rikkipitoisuuden ja kasvun välistä yhteyttä ei voitu kesällä 1986 mitattujen koealojen (20 kpl) perusteella yksiselitteisesti osoittaa. Bioindikaattoreista parhaiten kasvua selitti vuosikasvainten neulaskato, joka oli suurinta ko. sup-

pean aineiston perusteella suurinta jalostamon läheisyydessä. Neulaskato vähensi kuutiokasvuprosenttia. Salemaa ja Jukola-Sulonen (1987) ovat raportoineet vastaavasta harsuuntumisen ja tilavuuskasvun negatiivisesta korrelaatiosta.

1980-luvulla tutkimusalue muistutti metsiensä rakenteen ja kuutiokasvun puolesta Helsingin piirimetsälautakunnan aluetta. Alueelle ovat tyypillisiä rehevät metsämaat, joilta on löydettävissä terveitä, elinvoimaisia metsiköitä. Alueen puustoon kohdistuu eri tekijöiden aiheuttamaa stressiä, joka aiheutti ydinalueen vanhoissa kuusikoissa tilapäistä kasvun taantumista 1970-luvulla. Puuston neulasvaurioiden kannalta tilanne on ydinalueella ja erityisesti sen kitumailta muita alueita huonompi. Sköldvikin tuotantolaitosten ympäristön vanhat kuusikot ovat kaikista suurimmassa vaaravyöhykkeessä. Varsinkin ydinalueella on huolehdittava siitä, että metsänhoitotoimien viivästämisellä ei aiheuteta puustolle ylimääräistä stressiä ilman epäpuhtauksista aiheutuvan ympäristökuormituksen lisäksi.

KIRJALLISUUS

- Hasenson B. (1985). Ilman laatuun liittyvät tutkimukset Porvoon seudulla 1970-1984. Neste Oy/Ympäristönsuojelu. Raportti 29.3. 1985. 41 s.
- Heikkinen O. & Tikkanen M. (1981). Ilmansaasteiden vaikutus havupuiden kasvuun, esimerkkinä Sköldvikin öljynjalostamon ympäristö. Terra 93: 4, 133-144
- Huttunen S. (1980). Uppföljningsundersökning om luftföroreningarnas inverkan på skogar i närheten av endel industriorter åren 1975-1979. Svenskspåkig förkortat version. Centralskognämnden Skogkultur. 27 s.
- Huttunen S. (1987). Porvoon seudun metsät. Bioindikaattoritutkimus vuosina 1985-1986. Raportti Neste Oy:lle, Porvoon maalaiskunnalle ja Sipoon kunnalle. 66 s.
- Huttunen S., Karhu M. & Skog S. (1981). Ilman kautta kulkeutuvien rikkiyhdisteiden leviäminen metsäympäristössä Porvoon seudulla. Porvoon maalaiskunnan ympäristönsuojelulautakunta tiedottaa 2/81. 19 s.
- Huttunen S. & Paarlahti K. (1982). Ilman epäpuhtauksien vaikutuksesta metsän kasvuun. IVO-ympäristötutkimukset MMP-82-7. 42 s.
- Huttunen S. & Karhu M. (1984). Rikkiyhdisteiden leviäminen Hämeen läänin metsissä. Ympäristöministeriön ympäristön- ja luonnonsuojeluosaston julkaisu A:10. 89 s.
- Ilvessalo Y. (1981). Puiden kuutiomis- ja kasvunlaskentataulukot. Kirjayhtymä. Helsinki
- Jukola-Sulonen E-L., Mikkola K., Nevalainen S. & Yli-Kojola H. (1987). Havupuiden elinvoimaisuus Suomessa vuosina 1985-1986. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 256. 92 s.
- Kartastenpää R., Laamanen A. & Rantanen Y. (1973). Raakaöljyn puhdistuksen ja öljynjalostuksen ilmansuojelunäkökohtia Sköldvikin teollisuustutkimuksen valossa. Työterveyslaitoksen julkaisuja n:o 82. 81 s.
- Korhonen M. (1984). Esituloksia Sköldvikin alueen metsien kasvatuksesta vuosina 1974-1983. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 153. 69 s.
- Kozlowski T.T. (1980). Impacts of Air Pollution on Forest Ecosystems. BioScience Vol. 30, No. 2, 88-93
- Kozlowski T.T. & Constantinidou H. (1986). Environmental Pollution and Tree Growth. Part II. Factors Affecting Responses and Alleviation of Pollution Effects. Forestry Abstracts vol. 47 No. 2, s. 105-132

- McLaughlin S. B., Blasing T. J., Mann L. K. & Duvick D. N. (1983). Effects of Acid Rain and Gaseous Pollutants on Forest Productivity: A Regional Scale Approach. Journal of the Air Pollution Association Vol. 33, No. 11, s. 1042-1048
- Neste Oy (1983). Ilman rikkidioksidipitoisuuden mittaukset Neste Oy:n Porvoon tuotantolaitosten ympäristössä 1982. Vuosiraportti 21.4.1984. 15 s.
- Salemaa M. & Jukola-Sulonen E-L. (1987). Kuusen elinvoimaisuustun-
nusten vertailu Tuusulan testipuuaineistossa. Teoksessa: Anttila
P. & Kauppi P. (toim.). Happamoitumisprojektin tutkimusseminaari
21.-24.4.1987. Esitelmien lyhennelmät. Ympäristöministeriö,
Maa- ja metsätalousministeriö. 135 s.
- Sisäasiainministeriö (1980). Öljynjalostamoiden ilmansuojeluselvi-
tys. Sisäasiainministeriön ympäristönsuojeluosaston julkaisu C/1,
n:o 3. 103 s.
- Smith W. (1981). Air pollution and Forests. Interactions between
Air Contaminants and Forest Ecosystems. Springer-Verlag, New York.
379 s.
- Tiihonen P. & Virtanen J. (1987). Neste Oy:n Skäldvikin tuotanto-
laitosten ympäristön metsien kasvu v. 1970-84 ja puustovauriot
v.1985-86. Raportti Neste Oy:lle, Porvoon maalaiskunnalle ja Si-
psoon kunnalle. 21 s. + liitteet

SUMMARY

The Sköldvik industrial estate, situated between Porvoo and Helsinki, is a prominent source of air pollutants in Finland. The complex has an oil refinery, petrochemical, industrial chemical, polystyrene, PVC plastic and polythene plastic plants. The major pollutant in the area is sulphur dioxide, at emission levels of 11 - 27 tonnes/a during the past ten years. The present condition and growth development during the past 20 years of the forests surrounding the Sköldvik complex are examined in the study.

The study area, which is divided into six forest tracts, extends to a distance of 20 - 25 km from Sköldvik. The combined area of the forests in the study area is 32,800 ha. The study material was collected using line and sample plot surveys. The survey lines ran in a SW-NE direction, at a spacing of 500 m in the central tract, and 1500 m in the surrounding tracts. The study material was collected only from those sample plots which were situated on forest or underproductive forest land.

The main group, tree species dominance, development class, mean volume, recent silvicultural measures, possible stand damage (classified as needle damage, reduction in height growth, insect and fungus damage and the occurrence of green algae), were determined in the stand units bisected by the survey line. The degree of damage was estimated visually using three classes. The following characteristics were determined on each sample plot (area 300 m²): the number of trees by diameter class, parameters

needed for determining stem volume on 3-6 sample trees, a 20-year increment core taken from each sample tree and possible damage estimated. The total number of sample plots was 268. In addition, needle samples were taken for determining sulphur and nitrogen content, and the percentage needle loss in the four needle generations, from 20 sample plots situated at a distance of 0.5 - 6.5 km from the emission source.

The forests in the study are lush, dominated by Norway spruce, and a considerable proportion of the stands are classified as mature or ready for regeneration. The mean volume of the stands on forest land was 125 - 150 m³/ha. The mean volume growth during 1980 - 1984 in all tracts was clearly greater than that obtained in the 7th National Forest Inventory carried out in the area of the Helsinki Forestry Board District in 1977 - 1978. The volume growth percentages in the individual tracts did not differ significantly from each other.

The development of radial growth was examined according to tree species, development class, forest site type and individual tract, either separately by tract or through comparisons between the surrounding tracts and the central tract. The radial growth of spruces in stands ready for regeneration in the central tract was smaller, to a statistically significant degree, than that in the surrounding tracts during 1974 - 1977 (Fig. 8). A corresponding trend was evident for the period 1970 - 1977 when the radial growth of spruce in the central tract and the surrounding tracts was compared by development class and forest site type (Figs. 9 and 10).

No reduction in the radial growth of pine or hardwoods was detectable between the tracts. The reduction in growth observed in the central tract occurred at a time when emissions from the industrial complex were greater than normal owing to a construction programme and operating problems.

The most common type of forest damage was needle damage - a reduction in needle biomass and colour changes in the needles. The area of the stands affected by needle damage in the central tract was double that in the surrounding tracts, whose damage percentages corresponded to the mean values for southern Finland. It was not possible to demonstrate any direct connection between needle sulphur content and volume growth on the basis of the material from only 20 sample plots. On the other hand, the smaller the percentage needle loss, the larger was the volume growth. In addition, there was a negative correlation between needle loss and the distance between the sample plot and the emission source (-0.34).

The results show that the radial growth of spruce decreased in the central tract halfway through the 1970's, at a time when the sulphur dioxide emissions from the industrial complex were large. The differences in growth between the tracts evened out during the 1980's, there no longer being any statistically significant differences between radial and volume growth in the different tracts. The stand damage survey showed, however, that the environmental load imposed by air pollutants in the central tract is still greater than that in the surrounding areas.

