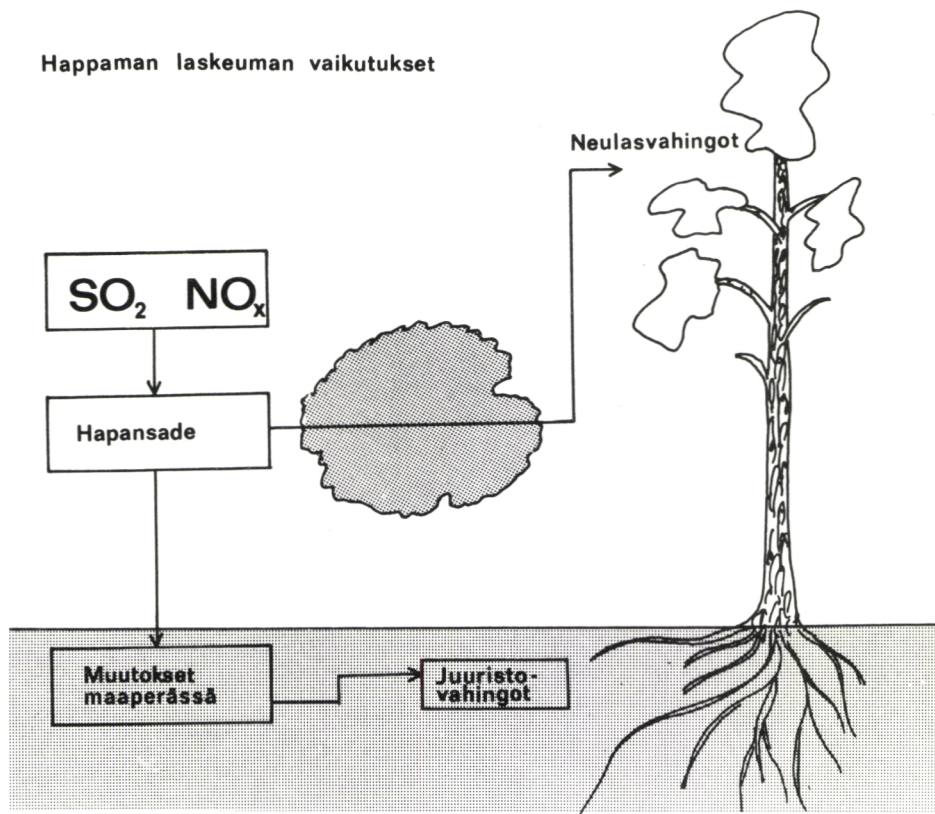




Happaman laskeuman vaikutukset



Markku Korhonen

ESITULOKSIA SKÖLDVIKIN ALUEEN METSIEN
KASVUTUTKIMUKSESTA VUOSINA 1974—1983

Summary
RESULTS OF RESEARCH CONCERNING THE GROWTH
OF FOREST IN SKÖLDVIK AREA IN 1974—1983

Helsinki 1984

ESITULOKSIA SKÖLDVIKIN ALUEEN METSIEN
KASVUTUTKIMUKSESTA VUOSINA 1974-1983

Results of research concerning the growth
of forest in Sköldvik area in 1974-1983

Markku Korhonen

SISÄLLYS

ESIPUHE	3
1. JOHDANTO	5
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	8
3. TUTKIMUSALUE	14
3.1. Maaperä ja vallitsevat tuulet	14
3.2. Ilman laatu tutkimusalueella	16
4. TUTKIMUKSEN TULOKSET	19
4.1. Koealametsiköiden rakenne ja kuutiokasvu	19
4.2. Koealametsiköiden puiden paksuuskasvu vuosina 1964-1979	26
4.2.1. Paksuuskasvun koealakohtainen tarkastelu	29
4.2.1.1. Mänty	30
4.2.1.2. Kuusi	35
4.3. Paksuuskasvuun vaikuttavia tekijöitä	37
5. TULOSTEN TARKASTELU	46
KIRJALLISUUS	51
SUMMARY	58
LIITTEET	

KORHONEN, M. 1984. Esituloksia Sköldvikin alueen metsien kasvututkimuksesta vuosina 1974-1983. Results of research concerning the growth of forest in Sköldvik area in 1974-1983. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 153.

Tutkimuksessa tarkastellaan metsän kasvua vuosina 1964-1979 Porvoon Sköldvikin teollisuusalueella ja sen ympäristössä. Alueen ilman epäpuhtauksista koostuvan ympäristökuormituksen aiheuttavat pääasiassa öljynjalostus- ja petrokemianteollisuus.

Tutkimuksen aineisto koostui 35 koealalla suoritetuista puiden kasvumittauksista, Neste Oy:n ilman rikkidioksidin mittausten sekä läheisen sääaseman ilmastotiedoista. Puuston kenttämittaukset käsiteltiin Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosastolla laaditulla kuutioimishjelmalla. Aineiston tilastollinen käsittely suoritettiin SPSSX-tilastomatematisella ohjelmistolla.

Rakenteeltaan ja kuutiokasvultaan koealametsiköt vastasivat keskimäärin Etelä-Suomen vastaavia metsiköitä. Metsätyypeittäin ja kehitysluokittain tarkasteltuna sekä männyn että kuusen sädekasvu noudatti tarkasteluajanjaksolla eteläisen Suomen kehitystä. Aineiston koealakohtaisessa tarkastelussa kuusen sädekasvussa oli havaittavissa taantumista jalostamon pohjoispuolella, vallitsevien tuulten alapuolella. Regressiomallit tukivat havaintoja. Tulosten mukaan havaittava kasvun väheneminen alkoi 1970-luvun puolenvälin jälkeen, jolloin alueen vanhimmat laitokset olivat toimineet noin 10 vuotta.

The study deals with the growth of forests in 1964-1979 in the industrial area of Sköldvik, Porvoo, and its immediate surroundings. Oil refinery and petrochemical industries are mainly responsible for the air pollution load in the area.

The material involved growth measurements of trees on 35 sample plots, measurements of sulphur dioxide in the air by Neste Oy and weather reports by the nearby meteorological station. The calculations were made with a programme designed at the Department of Peatland Forestry of the Finnish Forest Research Institute. The statistical treatment of the material was carried out by using SPSSX-statistical-mathematical software.

If studying the structure and volume increment, the sample stands did not differ from average stands in south Finland. The radial growth of both pine and spruce in different site types and developmental classes corresponded to the development in south Finland in general during the study period. When each sample plot was separately studied, a decline in radial growth of spruce north of the refinery, in stands exposed to the prevailing winds, was seen. Regression models supported the observations. The results show that the decline in growth had started after the mid-1970s, by which time the oldest industries had been active for about 10 years.

ESIPUHE

Teolliseen toimintaan liittyvä ympäristön tilan seuranta on vasta viime vuosina noussut julkisen vallan valvonnan kohteeksi. Teollisuuden oma mielenkiinto ja harkinta toiminnan kehittämisen eri vaiheissa on ollut varsin yrittäjäkohtaista. Hyvin harvoin ympäristövaikutuksiin on todella pyritty paneutumaan jo tuotantoyksikön perustamisvaiheessa.

Öljynjalostusteollisuus on yleismaailmallisesti katsottu voimakkaasti ympäristöään saastuttavana. Suomessa tilanne on kuitenkin pyritty ennakoimaan Neste Oy:n toimesta jo mahdollisimman varhaisessa vaiheessa sen suurimman tuotantoyksikön ympäristössä Porvoon lähellä. Ilman ja veden laadun tarkkailun lisäksi alueella on seurattu laitoksen toiminnan vaikutusta alueen puustoon ja muuhun metsäkasvillisuuteen jo vuodesta 1974 saakka. Neste Oy:n puolelta aloitteen tekijänä on ollut ympäristönsuojelun johtaja, dipl. ins. Airi Laiho.

Tämä tutkimus on seurantaprojektin ensimmäinen osajulkaisu, jossa tarkastellaan Sköldvikin alueen metsien kasvua kautena 1974-1983. Metsäntutkimuslaitoksen keräämien, puuston määrää ja kasvua koskevien tietojen lisäksi, tutkimuksessa on käytetty Ilmatieteen laitoksen ko. alueelta keräämää säätä ja ilman laatua koskevaa tilastotietoa sekä Neste Oy:n omaa ilman laadun seurantamateriaalia.

Haluan esittää parhaat kiitokseni kaikille seurantaprojektiin osallistuneille organisaatioille ja henkilöille

joustavasta ja tehokkaasta yhteistyöstä projektin toteutuksen kaikissa tähänastisissa vaiheissa.

Joensuussa, maaliskuun 22. p:nä, 1984

Markku Korhonen

1. JOHDANTO

Ilman saastuminen on ollut teollistuneiden maiden ongelmana jo ainakin viimeiset sata vuotta. Ensimmäiset kasvuvaurioita koskevat tutkimukset julkaistiin Euroopassa jo 1800-luvun lopussa (esim. Schröder & Reuss 1893) ja Yhdysvalloissa hiukan myöhemmin (esim. Haywood 1905). Haitat koettiin osaksi tiedon puutteesta johtuen pääasiassa paikallisina.

Ilmansaasteiden globaalinen luonne tuli esille 1960- ja 1970-lukujen vaihteessa (esim. Scurfield 1960 sekä Mudd & Kozlowski 1975). Keski-Euroopan rikkipäästöt yhdistettiin jokien ja järvien happamoitumiseen Skandinaviassa. Tätä kaukokulkeutumisilmiötä on tutkittu pohjoismaisena yhteistyönä NORDFORSK:in ja OECD:n LRTAP-projektin puitteissa (Estlander 1982)..

Ilman laatututkimukset aloitettiin Suomessa 1960-luvun puolivälissä. Nykyisin Ilmatieteen laitoksella on mittausasemien verkosto, joka on luotu neljänä verkkona tutkimusohjelmien ja asetettujen tavoitteiden toteuttamiseksi (Leinonen & Lättilä 1982). Ensimmäiset kasvuvauriot raportoitiin jo 1960-luvulla (Kangas 1965). Varsinaisesti ilman epäpuhtauksien vaikutuksia metsäekosysteemissä alettiin tutkia Suomessa 1970-luvun alussa. Alueellisia vaikutuksia selvitettiin yksittäisillä ilman epäpuhtauksista kärsivillä paikkakunnilla (esim. Havas 1971, Korpelainen 1979 ja Suomen Akatemia/Ympäristöntutkimuksen jaosto 1983).

Laajin tutkimuskokonaisuus on Suomen Akatemian rahoittama Oulun yliopistossa ja Kuopion korkeakoulussa suoritettu tutkimus, johon liittyy myös useita paikallisia selvityksiä (Huttunen ym. 1980).

Ilman epäpuhtauksien vaikutukset voidaan jakaa välittömiin ja välillisiin. Korkeat ilman epäpuhtauksien pitoisuudet aiheuttavat akuutteja välittömiä vaikutuksia, jotka ilmenevät mm. havupuille tunnusomaisina neulasvaurioina. Kroonisen eli pitkäaikaisen vaurion syntyminen voi vaatia kuukausien ja jopa vuosien altistusta alhaisissa ilmansaasteepitoisuuksissa. Vaikutukset tapahtuvat mm. neulasten ja lehtien soluaineenvaihdunnassa, joka johtaa vähenevään yhteyttämiin (Keller 1977 ja McLaughlin ym. 1982) ja samalla altistumiseen ympäristövaikutuksille ja taudeille (esim. Kärenlampi & Huttunen 1980).

Ilman epäpuhtaudet vaikuttavat välillisesti kasveihin myös maaperän kautta. Ilman epäpuhtauksien sisältämät rikki- ja typpiyhdisteet lannoittavat aluksi maaperän, jolloin puiden kasvu tilapäisesti voi kiihtyä (esim. Tamm & Wiklander 1980). Abrahamsenin (1980) mukaan tämä ilmiö on sekundaarinen, koska seuraavassa vaiheessa kasveille syntyy huuhtoutumisen seurauksena magnesiumin, kalkin, fosforin ym. ravinteiden puute. Kolmantena vaiheena voidaan erottaa raskasmetallien liukoisuuden kasvu (Takatalo 1982). Kolmannessa vaiheessa vapautuu myös runsaasti alumiinia, jonka haittavaikutuksia ovat korostaneet mm. Ulrich ym. 1980.

Ilman epäpuhtauksien esiintymistä ja niiden vaikutusta Porvoon alueella on käsitelty useissa tutkimuksissa, joista Lättilä (1981) on tehnyt yhteenvedon. Tutkimuksista voidaan mainita Nylands Svenska Lantbrukssällskapin (1972) tutkimus eri alkuaineiden pitoisuuksista maaperässä, viljakasveissa ja havupuissa. Laajemmin neulasten rikkipitoisuutta on tutkittu Porvoon alueella suomalaisen Man and Biosphere-ohjelman puitteissa osana koko Uudenmaan lääniä kattavaa ilman saasteiden vaikutusprojektia (Huttunen ym. 1981). Huttunen (1980) käsitteli myös rikkiyhdisteiden vaikutuksia metsäympäristössä Porvoon seudulla osana viittä teollisuuspaikkakuntaa koskevaa seurantatutkimusta. Neste Oy:n (esim. 1979 ja 1980) rikkimittausten lisäksi ilman laatua ovat käsitelleet Porvoon maalaiskunnan ilmatutkimus (Insinööri-toimisto Maa ja Vesi 1979) ja Kartastenpään ym. (1973) Sköldvikin teollisuusilmastotutkimus. Sköldvikin alueen metsän kasvua ovat tarkastelleet lisäksi myös Huikari (1975, 1980), Huttunen (1980) sekä Heikkinen & Tikkanen (1981).

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan Sköldvikin öljynjalostamon ympäristön metsien kasvua. Työn tarkoituksena on selvittää, ovatko jalostusprosessin päästöt vaikuttaneet lähialueen metsien kasvuun. Koko Ilmansaastumisongelman kannalta tarkasteluajanjakso on lyhyt ja tutkimusalue rajattu. Tämän vuoksi tuloksia on tarkasteltava alueellisesti ja ajallisesti rajattuna.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

Puun kasvu on monimutkainen, useiden tekijöiden säätelemä tapahtuma. Metsikön sisäisistä tekijöistä kasvuun vaikuttavat mm. puiden geneettiset ominaisuudet, ikä ja siementuotanto. Tärkeimmät ulkoiset tekijät ovat maaperä, ilmasto ja puun asema metsikössä. Eniten em. tekijöistä puiden kasvuun vaikuttavat ilmastolliset tekijät ovat kasvukauden lämpötila, sademäärä ja auringon säteily. Aikaisempien kasvukausien vaikutus on havaittavissa myös myöhemmässä kasvussa (Laitakari 1920 ja Mikola 1950).

Pyrittäessä selvittämään esim. ilman epäpuhtauksien vaikutusta metsän kasvuun em. tekijöiden vaikutus tulisi pystyä poistamaan. Puun iän ja sään vaikutukset voidaan osittain poistaa laskennallisoin keinoin edellyttäen, että em. tekijöistä on riittävän tarkat tiedot. Jotta puuston kasvusta saadaan riittävän luotettava kuva, havainnot on tehtävä metsikön koko puustoa koskevinä. Tällöin tutkittavalle alalle on rajattava kasvupaikan laadun, puuston rakenteen ym. muiden ulkoisten tekijöiden suhteen mahdollisimman homogeeniset, 0,1 - 0,25 ha:n koealat. Lisäksi vertailuhavaintoja on tehtävä riittävästi vastaavanlaisilta alueilta, jolloin kohonneita ilman epäpuhtauksien pitoisuuksia ei esiinny.

Tutkimuksen puuston kasvua koskeva aineisto on peräisin vuonna 1974 perustetuilta 0,04 ha:n koealoilta (Huikari 1975), joiden sijainti on esitetty kartassa 1. Kaikkien 35 koealan puustosta kairattiin vuosina 1974 ja 1979 paksuuskasvunäytteet, jotka otettiin koepuista yhdeltä suunnalta

eteensattuneelta puolelta. Sädekasvut mitattiin vuosilustomikroskoopilla 0,01 mm:n tarkkuudella. Jäljempänä tekstissä säde- ja paksuuskasvua käytetään synonyymeinä. Kuutiokasvu-koeloilta (20 kpl) koepuista mitattiin lisäksi seuraavat tunnuksat: läpimitat 1.3m ja 6(3.5)m korkeudelta (D 1.3 ja D 3.5/6), kuoren paksuus, pituus ja 15 viimeisen vuoden pituuskasvu kolmelta viiden vuoden jaksolta. Koemetsiköiden kuutiomäärät ja -kasvu laskettiin Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosastolla laaditun kuutioimisohjelman perusteella. Koealojen maastotarkistus suoritettiin syksyllä 1983 (Tiihonen 1983b). Lisäksi osalla koealoista suoritettiin tarkistusmittauksia keväällä 1984 (Tiihonen 1984).

Puulajien lisäksi koemetsiköistä oli tiedossa maaperän ravinnetasoa indikoiva metsätyyppi ja ikää indikoiva kehitysluokka. Riittävän luokittaisen havaintomäärän saamiseksi suotyypit yhdistettiin vastaavan ravinnetason metsätyyppeihin (Huikari ym. 1964, Eurola & Kaakinen 1978). Tällöin isovarpuiset rämeet yhdistettiin CT-metsätyyppiin, kangas- ja pallosararämeet VT-metsätyyppiin sekä heinä- ja ruohokorvet ja lehtomaiset turvekankaat OMT-metsätyyppiin. Pääosa mäntyvaltaisista metsiköistä oli VT- ja CT-tyyppien metsiköitä (taulukko 1). Koepuustoina olevat kuusi- ja koivuvaltaiset metsiköt olivat MT- ja OMT-tyyppiä. ClT-tyypin osalta on todettava, että nykyluokituksen mukaan se katsotaan kuuluvaksi lähinnä kalliomaaksi rannikkoseudulla. Kalliomaat ovat kitumaita tai niitä läheneviä kasvupaikkoja. Koealoja voidaan pitää puuston suhteen riittävän monipuolisina ja aluetta edustavina.

Tutkimuksessa erotetut kehitysluokat (khl.) ovat seuraavat:

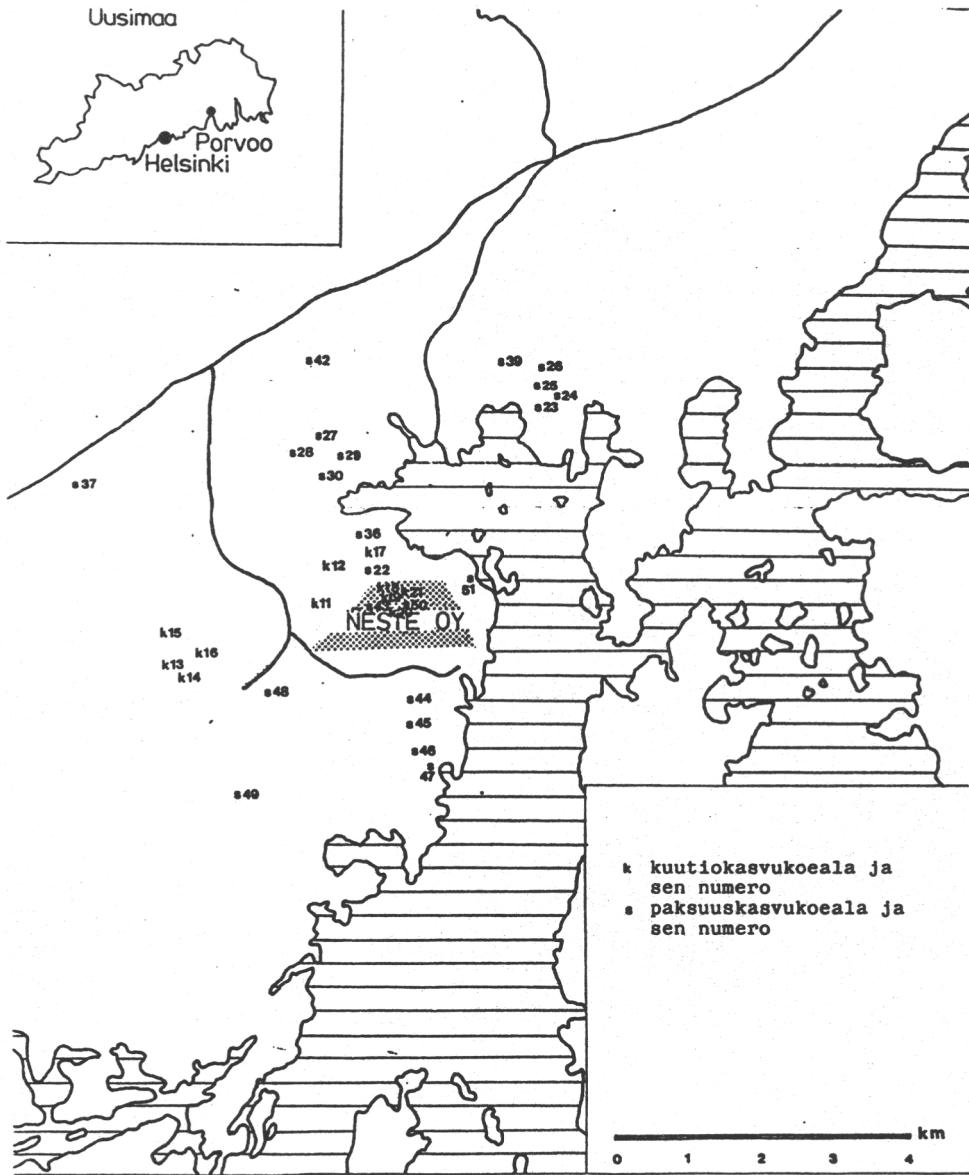
0. Aukeat alat
1. Taimisto
2. Nuoret kasvatusmetsiköt
3. Varttuneet kasvatusmetsiköt
4. Uudistuskypsät metsiköt
5. Suojuspuumetsiköt
6. Vajaatuottoiset metsiköt

Kehitysluokat (khl.) ilmaistaan taulukossa 1 ed. luettelossa mainituilla järjestysluvuilla.

Puulaji ja kehitysluokat

Metsätyyppi	Kehitysluokka								
	Mänty			Kuusi			Koivu		
	2	3	4	2	3	4	2	3	4
OMT		5	17	16	6	41	4	33	
MT	18	7		32	21	16	3		
VT	47	40	71						
CT		27	67						
ClT		10	10						
Yhteensä	65	89	165	48	27	57	7	33	

Taulukko 1. Koepuiden lukumäärät eri metsätyyppin ja kehitysluokan koealoilla.



Kartta 1. Koealojen sijainti

Kaikki koealat sijaitsivat suhteellisen lähellä jalostamoaa. Kaukaisimmat kohteet olivat 4 km:n päässä. Pääosa koealoista sijaitsi jalostamon suhteen vallitsevien tuulten alapuolella, joten ne olivat alttiina ympäristöön pääseville ilman epäpuhtauksille. Vuonna 1974 perustettu koealaverkosto ei sisältänyt vertailukoealoja. Alueen puuston kasvua verrattiin valtakunnan metsien 7. inventoinnin tuloksiin (VMI), Etelä-Suomea koskeviin kasvuindekseihin (Tiihonen 1979, 1983a) sekä kasvu- ja tuottotaulukoiden tuloksiin (Koivisto 1959).

Ilman rikkidioksidia on mitattu Sköldvikin alueella vuodesta 1970 lähtien. Ruotsalainen Institutet för vatten- och luftvård Ab (IVL) suoritti mittaukset, jonka jälkeen Neste Oy:n ympäristönsuojeluosasto on hoitanut rikkidioksidin tarkkailun itsenäisesti. Rikinmittausasemat, joita oli aluksi 3 kpl, sijoitettiin Ilmatieteen laitoksen (1972) laskeumamallin mukaisille suurimpien lyhytaikaispitoisuuksien alueille. Mittauksissa käytettiin liekkifotometriaan ja johtokykyyn perustuvia analysaattoreita sekä keräysanalyysimenetelmää. Mittausasemien paikat vaihtelivat ja mittausasemia tuli lisää tutkimusajankohtana siten, että vuonna 1979 mittausasemia oli kuusi kappaletta. Ilman rikkidioksidin mittauksista voitiin käyttää neljän aseman osittain yhdistettyjä tuloksia, joiden ajallinen kattavuus oli 9 vuotta. Mittaustuloksista käytettiin pääasiassa vuosikeskiarvoa muuttuneiden mittauspisteiden, mittausmenetelmien ja mitausten suorittajien vuoksi. Käytettyjen mittausasemien sijainti tutkimusalueella on esitetty kartassa 2. Tarkasteltaessa kasvukoealojen (kartta 1) ja ilmanrikkidioksidin

mittausasemien (kartta 2) sijaintia, voidaan todeta, että pääosa kasvukoealoista oli laskeumamallin suurimmilla rikki-dioksidipitoisuusalueilla.

Neulasten rikkipitoisuuksien osalta tutkimuksessa oli käytettävissä Neste Oy:n ympäristönsuojeluosaston männynneulasten rikkipitoisuusmittausten keskiarvot vuosilta 1971 - 1979. Rikkipitoisuus mitattiin 2 - 4 metrin korkeudella olevista toisen vuosikerran neulasista. Pestyt ja kuivatut näytteet analysoitiin gravimetrisesti. Tutkimuksessa käytettyjen neulasnäytteiden keräyspisteet on esitetty kartassa 2.

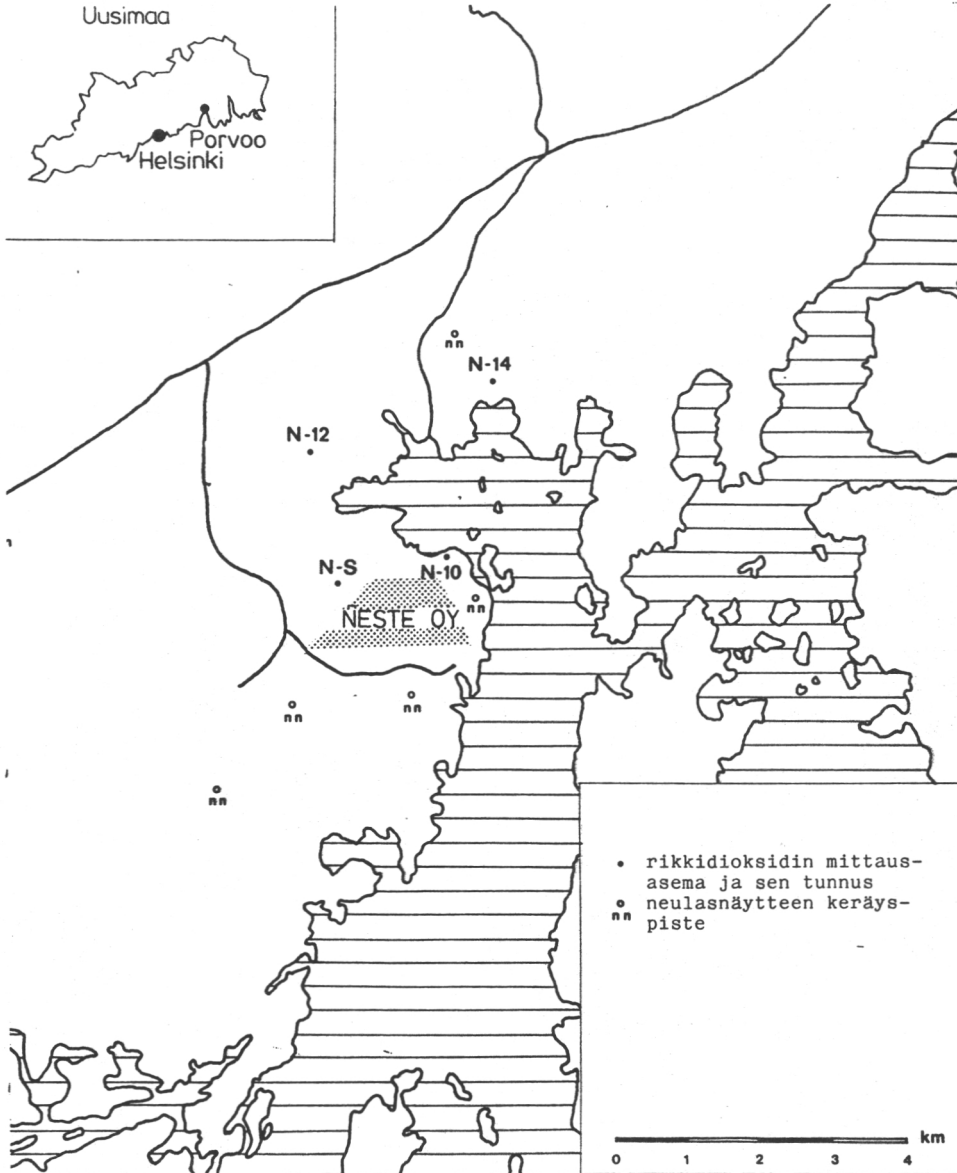
Puuston kasvuun vaikuttavista ympäristötekijöistä tutkimuksen käytössä oli Porvoo Linnanmäen sääaseman ilmastomittaukset (Ilmatieteen laitos 1964-1979). Em. mittauksista laskettiin touko- elokuun sademäärän (mm), keskilämpötilan ($^{\circ}\text{C}$) ja auringon säteilyä indikoiva aurinkoisten päivien lukumäärän vuotuiset keskiarvot.

Tutkimuksen aineiston muodostivat puuston kasvu-, ilman ja neulasten rikki- sekä ilmastomittaukset. Aineiston tilastollinen käsittely suoritettiin SPSSX-kirjasto-ohjelmilla. Puuston kasvuerojen selvittämisessä käytettiin t-testiä ja varianssianalyysiä. Ilman rikkidioksidin ja ilmastotekijöiden vaikutusta puuston kasvuun tutkittiin regressioanalyysillä.

3. TUTKIMUSALUE

3.1. Maaperä ja vallitsevat tuulet

Tutkimusalue sijaitsee Porvoon maalaiskunnan Sköldvikin alueella n. 12 km:n etäisyydellä Porvoon kaupungista lounaaseen (kartta 1). Tutkimusalueen, samoin kuin koko rannikkokaistan kallioperä muodostuu pääasiassa graniitista, granodioriitista ja kvartsista. Maa-aineskerrokset ovat ohuita, mistä on osoituksena alueen lukuisat kalliopaljastumat. Kasvien ravinnetalouden kannalta alueen maannokset ovat karuja ja huonosti puskuroituina herkkiä maaperän happamoitumisen aiheuttamalle huuhtoutumiselle. Tutkimusalueen maaperän happamuutta on käsitelty Nylands Svenska Lantbrukssällskapin (1973) ja Huttusen (1980) tutkimuksissa. Huttusen (1980) tutkimuksen Kulloon ja Sköldvikin koealat sijaittivat tämän tutkimuksen kasvukoealojen lähellä. Vuosina 1975 - 1979 Kulloon koealalla (CT-tyyppi) mitattu humuksen pH:n keskiarvo (n. 4) oli tarkasteltujen viiden teollisuuspaikkakunnan alhaisin. Erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, mutta Huttusen (1980) mukaan on syytä olettaa, että suhteellisen alhaisiin pH-lukuihin vaikuttaa ilman rikkikuormitus. Huttunen (1980) havaitsi myös Kulloon sekä Kullbackan koealoilla karikkeen johtokyvyn osoittaneen tiettyä ravinteiden köyhtymistä. Nylands Svenska Lantbrukssällskapin (1973) tutkimuksen tulosten perusteella ei voi tehdä maaperän happamoitumisen suhteen johtopäätöksiä näytteiden vähäisen määrän vuoksi. Sen sijaan em. tutkimuksen mukaan rikin pitoisuudet maassa olivat Porvoon alueella selvästi korkeampia Liljendahliin verrattuna.



Kartta 2. Ilman rikkidioksidin mittausasemien ja neulas-
näytteiden keräyspisteiden sijainti

Tutkimusalueen maaperä on kiistatta happamoitumiselle altista, mutta nykyisten tietojen puitteissa on mahdotonta sanoa, missä määrin happamoitumista on tapahtunut.

Meteorologiset tekijät ja alueen topografia vaikuttavat ilman epäpuhtauksien leviämiseen. Tutkimusalueen korkeuserot ovat suhteellisen pieniä, joten merenlahdet kanavoivat entien tuulia.

Tutkimusalueella mitataan Neste Oy:n palokunnan tornissa tuulen suuntaa ja nopeutta. Jalostamosta katsoen etelä- ja länsituulet ovat vallitsevia. Esimerkiksi vuonna 1982 68 % tuulen suunnista oli välillä $135 - 315^{\circ}$ (Neste Oy 1983a).

3.2. Ilman laatu tutkimusalueella

Koko Sköldvikin teollisuusalueen vuosittaiset rikki päästöt ovat 45 000 tonnia (Huttunen 1982). Estlander (1982) on arvioinut koko Uudenmaan läänin vuoden 1977 kokonaispäästöiksi (SO_2) 133 000 tonnia. Edellä esitetyt luvut ovat suuntaa-antavia arvioita ja niiden suora vertailu ei ole mahdollista, jos Huttusen (1982) arvion yhteydessä ei ole määritelty päästöjen rikkiyhdistettä (S, SO_2). Neste Oy:n Porvoon tuotantolaitosten rikki päästöt nousivat vuoden 1966 19 000 tonnista vuoden 1979 23 000 tonniin (Hasenson 1983) käyttöönotettujen rikinpoistolaitteiden vuoksi. Pääosan jalostamon rikki päästöistä aiheuttaa jalostamokaa-sun ja raskaan polttoöljyn polttoainekäyttö. Palamisprosessissa syntyvien typpioksidien kokonaispäästöt ovat

4 200 tonnia vuodessa laitoksen toimiessa täydellä kapasiteetilla. Öljyn varastoinnin, lastauksen ja purkauksen yhteydessä syntyviä hiilivetypäästöjä arvioidaan olevan samaa suuruusluokkaa kuin em. typpioksidipäästöjen (Neste Oy 1983b). Prosessikuvauksen ja siinä syntyvien päästöjen tarkemman esittelyn suhteen viitataan sisäasiainministeriön (1980) ja Kartastenpään ym. (1973) julkaisuihin.

Jalostamon ympäristössä mitattujen rikkidioksidipitoisuuksien talvi-, kesä- ja vuosikeskiarvot vuosina 1970 - 1980 on esitetty taulukossa 2. Vuosikeskiarvojen kehityksessä oli havaittavissa kasvua koko 1970-luvun. Neste Oy:n lisäksi Sköldvikin ilmanlaatuä ovat tutkineet Työterveyslaitos (Kartastenpää ym. 1973) ja Porvoon maalaiskunta (Insinööritoimisto Maa ja Vesi 1979). Molempien tutkimusten tulokset vastasivat Lättilän (1981) mukaan Neste Oy:n mittauksia. Rikkidioksidipitoisuudet käytännössä selvästi alittivat Lääkintöhallituksen ohjearvot. Lyhytaikaispitoisuuksien satunnaiset ylitykset johtuivat lähinnä jalostamon käyttöhäiriöistä. Neste Oy:n (1983a) mukaan mittaustulokset osoittivat selvästi, että Neste Oy:n savukaasut laimenivat hyvin tehokkaasti jo 10 km etäisyydellä, ja savukaasujen sisältämä rikkidioksidi vain lievästi kohotti vallitsevaa taustapitoisuutta. Neste Oy:n (1983a) mittaustuloksien ja tuulianalyysin mukaan pääkaupunkiseudun ja Porvoon kaupungin vaikutus oli havaittavissa lievänä ns. taustasemilla (myös Lättilä 1981).

Huttunen ym. (1891) tutki rikkijyhdisteiden leviämistä männyn neulasten rikkipitoisuuksien avulla. Porvoon maalaiskunnasta noin 90 % kuului tutkimusajankohtana (talvi 1980 - 81) selvän rikkikuormituksen piiriin. Suurimman rikkikuormituksen alue ulottui 3 - 8 km levyisenä vyöhykkeenä Sköldvik - Svartbäckin alueelta Porvoon kaupunkiin.

Ilman SO₂-pitoisuus g/m³

	talvi				kesä				koko vuosi			
	N-S	N-10	N-12	N-14	N-S	N-10	N-12	N-14	N-S	N-10	N-12	N-14
1970 - 71	-	-	11	-	8	-	-	-	(7)	-	-	-
1971 - 72	17	-	-	-	14	-	-	-	16	-	-	-
1972 - 73	14	-	-	-	14	-	-	-	(16)	-	(14)	-
1973 - 74	-	-	24	-	-	-	16	-	-	-	17	-
1974 - 75	-	-	19	-	-	-	17	-	-	-	16	-
1975 - 76	-	63	25	-	-	35	13	-	-	43	22	-
1976 - 77	-	100	38	-	-	120	13	22	-	110	22	-
1977 - 78	-	67	22	34	-	35	9	20	-	57	17	26
1978 - 79	-	85	38	34	-	71	19	30	-	68	30	33
1979 - 80	-	53	-	33	-	45	19	27	-	48	20	30
1980	-	(44)	(22)	(33)	-	45	19	27	-	48	20	30

Taulukko 2. Ilman rikkidioksidin talvi-, kesä- ja vuosikeskiarvot vuorokausiasemilla vuosina 1970 - 1980 (Neste Oy 1981)

Em. tietojen pohjalta voidaan todeta, että vuonna 1974 perustetut kasvukoealat sijaitsivat mittausten perusteella alueilla, joissa rikkidioksidin pitoisuudet olivat suurimpia ja jalostamon mahdollisen välittömän vaikutuksen voitiin katsoa sitten olleen myös suuri.

4. TUTKIMUKSEN TULOKSET

4.1. Koealametsiköiden rakenne ja kuutiokasvu

Koealametsiköiden rakennetta voitiin tarkastella kuutiokoealoilta mitattujen puustotunnusten avulla. Vertailuaineistona käytettiin Koiviston (1959) kokoamia kasvu- ja tuottotaulukoita. Etelä-Suomen toistuvien harvennuksien käsiteltyjä metsiköitä koskevat tiedot perustuvat Nyyssösen (1954 ja 1957), Vuokilan (1956 ja 1957), Koiviston (1957) ja Mäkisen (1958) tutkimuksiin. Suomen eteläpuoliskon täystiheiden luonnonmetsiköisen kehityssarjat ovat peräisin Ilvessalon (1920) tutkimuksesta. Koemetsiköitä verrattiin Etelä-Suomen ja Suomen eteläpuoliskon tietoihin. Taulukoiden lukuja esiteltäessä käytetään jäljempänä em. lähdekirjallisuudesta pelkästään viittausta Koivisto (1959).

Koska kasvu- ja tuottotaulukoiden luvut ovat keskiarvoja suuresta aineistosta, ne eivät sellaisenaan voi kuvata minkään yksityisen metsikön kehitystä. Taulukot ovat tarkoitettu ta-
saikäisille, luontaisesti syntyneille kovien metsämaiden

metsiköille, joiden kuutiomäärästä sekapuuston osuus on alle 20 %. Tämän kriteerin perusteella vertailusta jouduttiin jättämään pois seitsemän koealaa. Vertailussa tarvittavana metsikön ikänä käytettiin koealojen puiden rinnankorkeuskeskiikää, joka oli laskettu kullekin koealalle kuuden puun otoksen perusteella. Tähän lisättiin vielä seitsemän vuotta, jotta käytetyt keski-iat vastasivat lähinnä koealametsiköiden biologista ikää.

Taulukoissa 3 ja 4 esitetyt koealojen puuston rakennetta kuvaavat tunnuksat ja kuutiokasvut kuvaavat tilannetta viimeisen 5-vuotisjakson lopussa. Aikaisempien 5-vuotisjaksojen vertailu ei ollut mahdollista, koska mm. koealakohtaisten poistumatietojen puuttuminen olisi vaikeuttanut tulosten laskentaa.

Runkoluvun suhteen mäntyvaltaiset koealametsiköt vastasivat kasvu- ja tuottotaulukoiden toistuvien harvennuksien käsiteltäviä männiköitä. Karuilla kasvualoilla koepuiden pituudet olivat vertailumänniköitä lyhyempiä. Erot tasaantuivat rehevimmillä metsätyypeillä. CT-tyypin männyt olivat keskimäärin 2,4 metriä vertailupuita lyhyempiä. VT-tyypillä ero oli enää 1,8 m ja MT-tyypillä eroja ei ollut käytännössä (taulukko 3). Koealametsiköiden ja vertailumänniköiden keskiläpimitat olivat samaa suuruusluokkaa kaikilla metsätyypeillä.

Koealametsiköiden rakenne muistutti pitkälle pohjapinta-alan, kuutiomäärän ja vuotuisen kuutiokasvun suhteen vertailuaineistoa. Em. tunnuksiin vaikuttaa runkoluku, joka vaihteli suu-

rimmillaan 30 % kasvu- ja tuottotaulukoiden vastaavista arvoista. Pituuskasvussa havaittu trendi ilmeni myös kuutiomäärissä ja -kasvussa. CT-tyypin kuutiomäärät olivat keskimäärin 25 m^3 vertailuaineiston arvoja pienempiä. VT-tyypin koealoilla kuutiomäärät ja -kasvu vastasivat keskimäärin taulukkoarvoja kun otetaan huomioon runkoluvun vaihtelu. MT-tyyppiä edustaneella yhdellä koealalla kuutiomäärä oli taulukkoarvoa hieman suurempi, mutta kuutiokasvu oli kuitenkin runsaat kolme m^3 :ä pienempi.

Kuusivaltaiset koemetsiköt vastasivat lähinnä kasvu- ja tuottotaulukoiden toistuvasti harvennettuja kuusikoita huolimatta

Koeala ja vertailukohte	Metsä-tyyppi	Ikä	Keskipituus (m)	Keskiläpimitta (cm)	Runkoluku kpl/ha	Pohjapinta-ala kuori-neen m^2/ha	Kuutiomäärä kuoretta	Vuotuinen kuutiokasvu kuoretta m^3/ha
koeala 20	MT	40	14.5	15.3	1549	22.7	144	6.4
Koivisto	MT	40	14.0	15.0	1625	23.9	139	10.0
koeala 21	VT	35	8.9	10.7	1574	11.0	44	4.6
Koivisto	VT	35	10.0	10.3	2275	18.9	81	7.5
koeala 11	VT	75	16.8	23.4	649	26.6	178	6.8
Koivisto	VT	75	19.5	22.5	785	23.0	187	5.4
koeala 27	VT	90	20.2	27.1	774	32.7	254	4.7
Koivisto	VT	90	21.9	25.9	550	23.0	205	4.3
koeala 14	CT	110	15.3	20.9	599	20.3	124	2.8
Koivisto	CT	110	17.8	22.0	570	18.8	143	3.2
koeala 16	CT	75	10.6	15.4	1824	20.2	93	2.9
Koivisto	CT	75	12.8	15.4	1290	18.3	91	3.9

Taulukko 3. Mäntyvaltaisten koealojen puuston rakenne ja kuutiokasvu verrattuna Koiviston (1959) kasvu- ja tuottotaulukoiden vastaaviin tuloksiin.

suuremmista kuutiomääristä. Kuusien keskipituus ja -läpimitta olivat kokonaisuutena tarkastellen samaa suuruusluokkaa kuin vertailuaineistolla. Runkoluvun erot olivat pienemmät kuin männyllä (taulukko 4). Kaikkien koealametsiköiden kuutiomäärät olivat vertailuaineistoa suuremmat: Kokonaisuutena tarkastellen kuutiokasvu oli samaa suuruusluokkaa vertailuaineiston kanssa.

OMT-tyypillä kuutiokasvu oli nuorissa kasvatusmetsissä vertailuaineistoa suurempi. Ero tasaantui seuraavassa kehitysluokassa ja uudistuskypsien metsien kuutiokasvu jäi kasvu- ja tuottotaulukon arvoa pienemmäksi.

Koivuvaltaisten koealojen vertailussa käytettiin tarkemman lajimäärityksen puuttuessa rauduskoivun tietoja (taulukko 4). Molempien koivuvaltaisten koealojen keskipituus ja -läpimitta vastasivat vertailuaineiston arvoja. Vaikka koealojen runkoluku oli keskimäärin 70 % taulukkoarvoja suurempi, koealat muistuttivat rakenteensa suhteen enemmän toistuvasti harvennettuja kuin täystiheitä koivikkoja. Verrattaessa koealametsiköiden kuutiokasvua taulukkoarvoihin erot olivat pieniä.

Toisena kuutiokasvun vertailuaineistona käytettiin valtakunnan metsien 7. inventoinnin (VMI7) tietoja, jotka tulostettiin Helsingin piirimetsälautakunnan alueelta. Vertailu suoritettiin suhteellisena kasvuna so. kasvusadanneksina kehitysluokittain ja puulajeittain. Sköldvikin aineiston osalta vertailussa käytettyihin kehitysluokkiin vaadittiin vähintään

K U U S I

Koeala ja vertailukohde	Metsätyyppi	Ikä	Keskipituus (m)	Keskiläpimitta (cm)	Runkoluku kpl/ha	Pohjapinta-ala kuori-neen m ² /ha	Kuutio määrä kuoretta	Vuotuinen kuutiokasvu kuoretta m ³ /t
koeala 22	OMT	35	11.8	13.2	2549	23.5	126	15.6
Koivisto	OMT	35	11.0	11.2	3040	20.3	94	11.0
koeala 25	OMT	65	20.0	22.9	899	33.0	284	9.4
Koivisto	OMT	65	20.9	22.7	900	26.8	238	9.7
koeala 18	OMT	80	23.0	33.3	574	43.1	405	6.5
Koivisto	OMT	80	23.3	26.2	630	28.5	285	8.3
koeala 12	MT	60	16.0	19.3	774	23.0	173	8.4
koeala 15	MT	60	16.4	22.1	1499	35.5	249	7.7
Koivisto	MT	60	17.0	17.4	1470	24.7	177	9.2
K O I V U								
koeala 26	OMT	40	18.3	16.1	1424	23.3	174	7.3
Koivisto	OMT	40	17.9	16.1	845	15.5	119	7.7
koeala 19	OMT	55	20.1	20.3	999	28.9	271	7.7
Koivisto	OMT	55	21.6	20.6	580	17.1	180	6.3

Taulukko 4. Kuusi- ja koivuvaltaisten koealojen rakenne ja kuutiokasvu verrattuna Koiviston (1959) kasvu- ja tuottotaulukoiden vastaaviin tuloksiin.

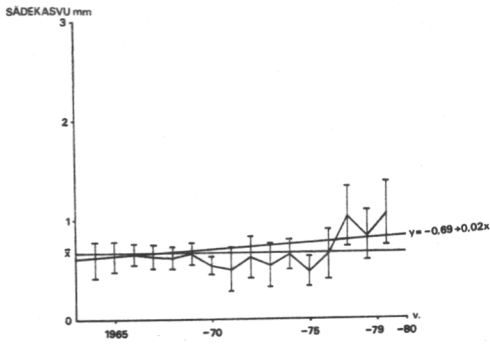
20 koepuuta, koska pienemmillä puumäärillä satunnaisvaihtelun vaikutus oli liian suuri.

KEHITYSLUOKKA	MÄNTY		KUUSI	
	Sköldvik	VMI7	Sköldvik	VMI7
KASVUSADANNES				
2 Nuoret kasvatus-				
metsät	5,85	6,36	-	-
3 Varttuneet				
kasvatusmetsät	3,58	3,00	3,83	3,65
4 Uudistuskypsät				
metsät	2,05	2,14	2,31	2,47

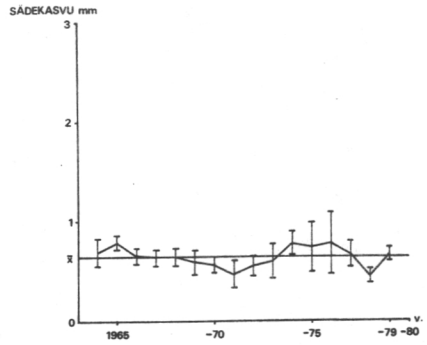
Taulukko 5. Männyn ja kuusen kasvusadannekset kehitysluokittain Sköldvikin ja Helsingin piirimetsälautakunnan (VMI7) alueilla.

Suurimmat kasvusadanneksien erot olivat 2. ja 3. kehitysluokan männiköissä. Erot olivat saman suuntaisia kuin kasvu- ja tuottotaulukoiden lukujen perusteella suoritettussa vertailussa. Kuusella erot olivat suhteellisen pienet ja ne noudattivat myös karkeasti kasvu- ja tuottotaulukkovertailun tuloksia.

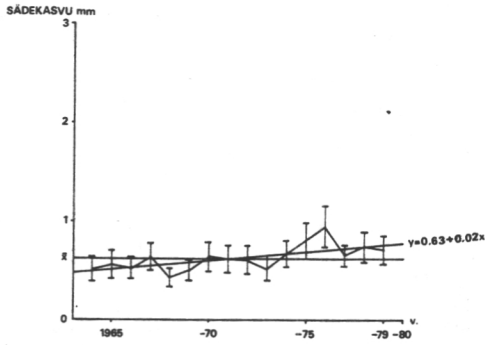
Sköldvikin koealat sijaitsivat kokonaisuudessaan rannikko-kaistalla, jossa puuston kasvuolosuhteet ovat lähinnä ravinne- ja vesitaloudesta johtuen niukemmat kuin koko Etelä-Suomessa keskimäärin. Tämä ilmeni selvästi männyn karuilla kasvualustoilla (CT-tyyppi), joissa puusto oli lyhyempää ja siten kuutiomäärältään ja -kasvultaan pienempää kuin Etelä-Suomessa keskimäärin. Rehevimmillä metsämailla tätä eroa ei ollut havaittavissa. Mänty- ja kuusimetsiköt vastasivat paremmin kasvu- ja tuottotaulukoiden harvennusastetta kuin koivumet-



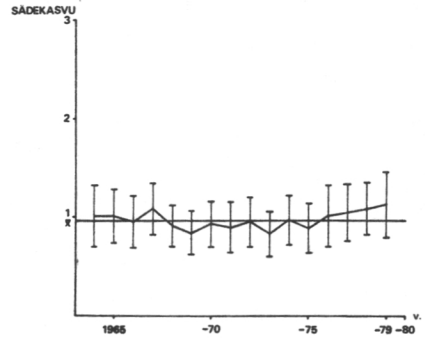
C1T 3



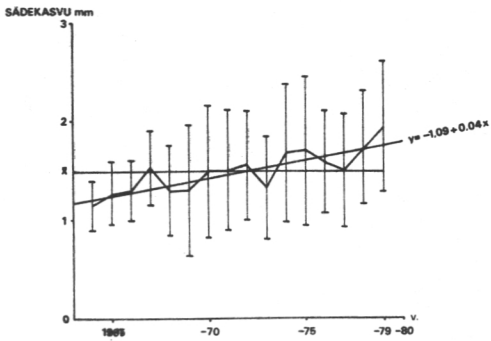
C1T 4



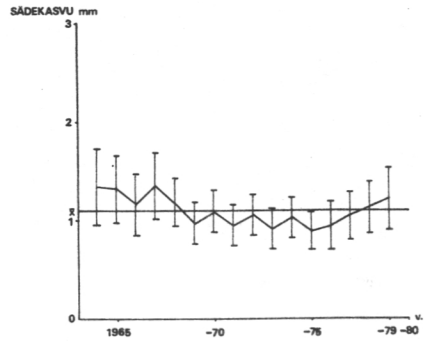
CT 3



CT 4



VT 3



VT 4

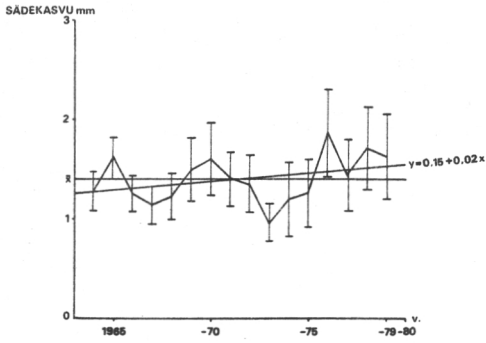
Kuva 1. Männyn keskimääräiset paksuuskasvut (sädekasvu ja keskijhajonnat) metsätyypeittäin 3. ja 4. kehitysluokan koemetsiköissä vuosina 1964 - 1979

siköt, joissa oli havaittavissa myöhästyneiden hakkuiden aiheuttamat kasvutappiot sekä kuutiomäärissä että -kasvussa. Kokonaisuutena voidaan todeta, että koealametsiköiden rakenne läheni huomattavassa määrin kasvu- ja tuottotaulukoiden Etelä-Suomea koskevia arvoja. On muistettava, että vertailun tarkkuus on parhaimmillaan suuntaa-antava ja tällöin poikkeamien täytyy olla erittäin selviä ryhdyttäessä tekemään pitemmälle meneviä johtopäätöksiä.

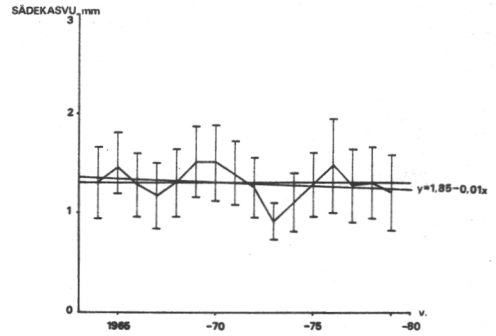
4.2. Koealametsiköiden puiden paksuuskasvu vuosina 1964 - 1979

Ajallisessa puuston kasvun tarkastelussa tulisi voida ottaa huomioon iän vaikutus. Liitteessä 1 on havainnollistettu iän vaikutusta 166 männyn ja 157 kuusen sädekasvuun 60 vuoden ajanjaksolla. Liitteen 1 kuvat perustuvat valtakunnan metsien 6. inventoinnin tuloksiin ja koskevat maan eteläpuoliskoja. Liitteen 1 kuvioista on havaittavissa iän merkittävä asema puun kasvukehityksessä. Iän vaikutus on erityisen voimakas nuorissa metsissä.

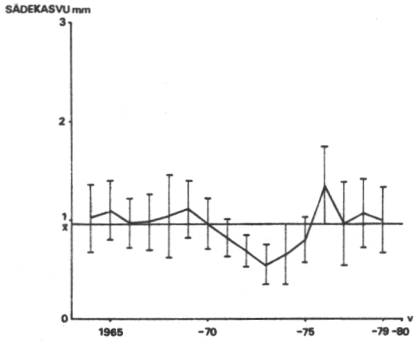
Kuvassa 1 on esitetty 3. ja 4. kehitysluokkaan kuuluneiden mäntyjen keskimääräiset vuosittaiset paksuuskasvut ja keskihajonnat ClT-, CT- ja VT-tyypin koealoilla. Kuvassa on esitetty tarkasteluajanjakson keskiarvon lisäksi vuosittaisten keskiarvojen perusteella lasketut kasvuyhtälöt ($y=a+bx$),



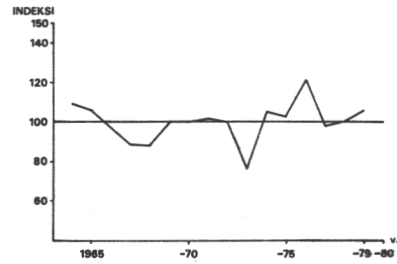
MT 2



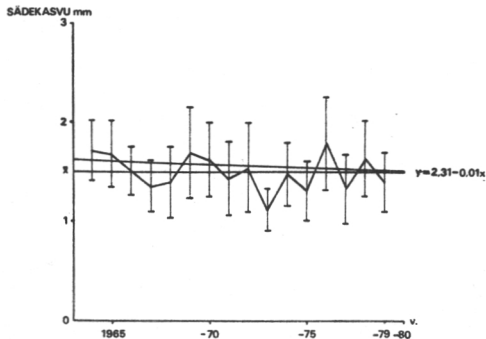
OMT 4



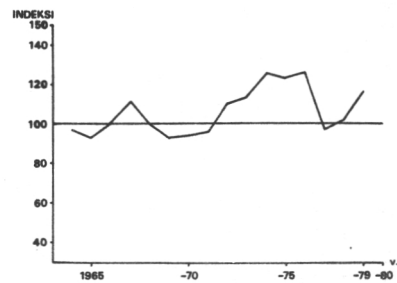
MT 3



Kuusen kasvuindeksit



MT 4



Männyn kasvuindeksit

Kuva 2. Kuusen keskimääräiset paksuuskasvut (sädekasvu) metsätyypeittäin ja kehitysluokittain vuosina 1964-1979 sekä kuusen ja männyn vastaavan ajanjakson kasvuindeksit Suomen eteläisimmässä osassa Tiihosen (1983a) mukaan

jos niiden kulmakertoimet (b) poikkesivat nolasta.

Paksuuskasvun kehitys oli yhdenmukaista saman kehitysluokan metsiköissä. Paksuuskasvun taso korreloi maaperän ravinteisuuden kanssa. Uudistuskypsissä mäntymetsiköissä (4. khl.) kasvun tasaantuminen tuli ilmi selvästi. Kaikilla kolmella metsätyypillä 4. kehitysluokan mäntyjen paksuuskasvu pysyi koko tarkasteluajanjakson huomioon ottaen keskimäärin samana ($b=0$). Paksuuskasvun keskihajonnat olivat pienet huomioon ottaen käytetyn, suhteellisen väljän ikäluokituksen. Sama ilmiö oli havaittavissa myös varttuneisiin kasvatusmetsiin kuuluneilla koealoilla (3. khl.) lukuunottamatta VT-tyyppiä, jossa koeala 44:n ilmeisesti lannoituksesta johtunut poikkeuksellisen suuri paksuuskasvu lisäsi keskihajontaa. Kaikilla metsätyypeillä kolmannen kehitysluokan mäntyjen paksuuskasvu lisääntyi keskimäärin tarkasteluajanjaksolla.

Kuvassa 2 on esitetty Tiihosen (1983a) julkaisemat Suomen eteläisimmän osan mäntyjen kasvuindeksit, joiden mukaan 1970-luvun loppupuoli muodosti vuotta 1977 lukuunottamatta keskimääräistä paremman yhtenäisen kasvukauden. Kaikilla koealoilla männyn paksuuskasvun vuosittainen vaihtelu ei ollut yhtä suurta kuin eteläisessä Suomessa. Osalla koealoista mäntypuuston paksuuskasvu oli myös keskimääräistä parempaa 1970-luvun lopulla. Indekseissä selvästi erottuvat vuoden 1967 keskimääräistä parempi ja vuoden 1977 keskimääräistä huonompi paksuuskasvu oli havaittavissa myös useimmilla männyn metsätyypillä ja kehitysluokkakombinaatioilla.

Lisääntyvän iän paksuuskasvua vähentävä vaikutus (vrt. liite 1) tuli selvimmän esille MT-tyypin kuusikoissa (kuva 2). Nuorissa kasvatusmetsissä (2. khl.) paksuuskasvu oli nousevaa ($b=0,02$). Varttuneissa kasvatusmetsissä (4. khl.) paksuuskasvu alkoi lievästi vähentyä ($b=0,01$). OMT-tyypin kuusikoissa kasvu väheni vastaavalla tavalla. Mäntyihin verrattuna kuusien vuotuisten paksuuskasvujen keskihajonnat ja vuotuiset kasvun vaihtelut olivat suuremmat. Keskimääräistä parempia kuusen kasvu-kausia olivat 1960-luvun alku, vuosikymmenien vaihde ja 1970-luvun loppu. Paksuuskasvun huonoin vuosi oli 1973 ja paras 1976. Kuusien paksuuskasvu noudatti paremmin Tiihosen (1983a) indeksejä kuin mäntyjen kehitys. Erityisen hyvin kuusen kasvu noudatti indeksejä vuosina 1973 ja 1977 (kuva 2).

Kokonaisuudessaan voidaan todeta, että metsätyyppi- ja kehitysluokkayhdistelmin tarkasteltuna kuusen ja männyn paksuuskasvun kehitys noudatti tarkasteluajanjaksolla Suomen eteläisen osan yleistä kehitystä, tosin kuusi mäntyä selvästi paremmin.

4.2.1. Paksuuskasvun koelakohtainen tarkastelu

Koelakohtaisessa tarkastelussa koepuiden paksuuskasvut yhdistettiin kolmeksi jaksoksi, jotka samalla indikoivat jalostamon tuotannon tasoa. Ensimmäisellä, vuodet 1964 - 1968 käsittävällä jaksolla jalostamo käytti raakaöljyä keskimäärin 1,16 MT vuodessa. Jakson kahtena ensimmäisenä vuotena jalostamo ei vielä toiminut. Vuosina 1968 - 1974 raakaöljyä käytettiin keskimäärin 5,78 MT/v. Viimeisellä jaksolla, vuo-

sina 1975 - 1979, raakaöljyä käytettiin keskimäärin 8,34 MT/v. Rikinpoistolaitteiden rakentamisesta ym. parannustoimenpiteistä huolimatta raakaöljyn kulutuksen voidaan otaksua indikoivan karkeasti myös jalostamon aiheuttamaa ympäristökuormitusta.

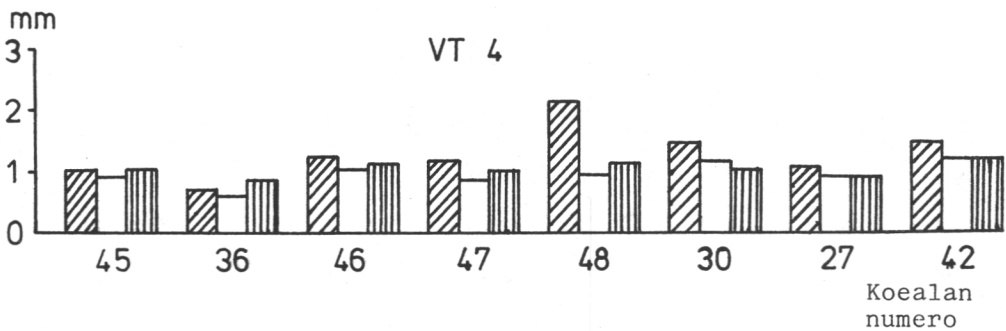
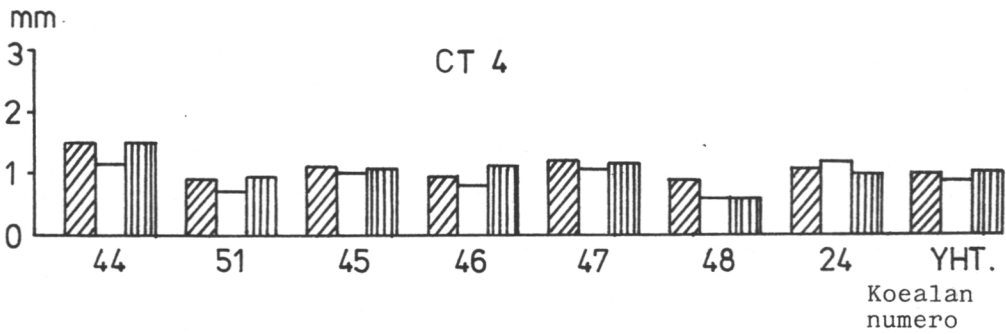
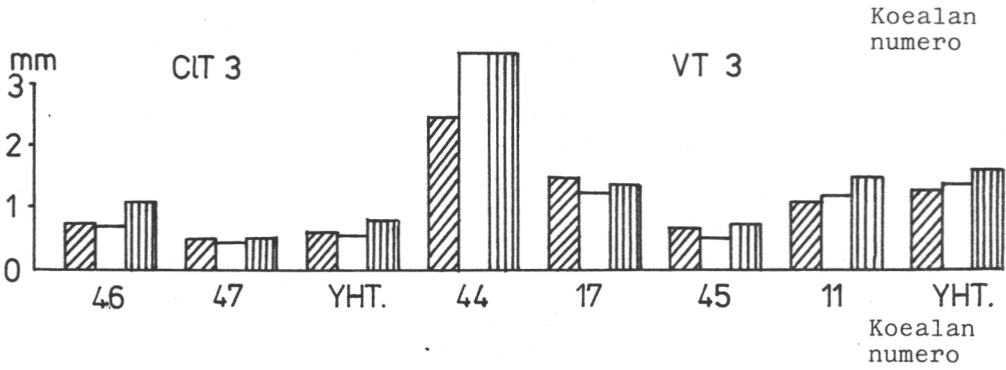
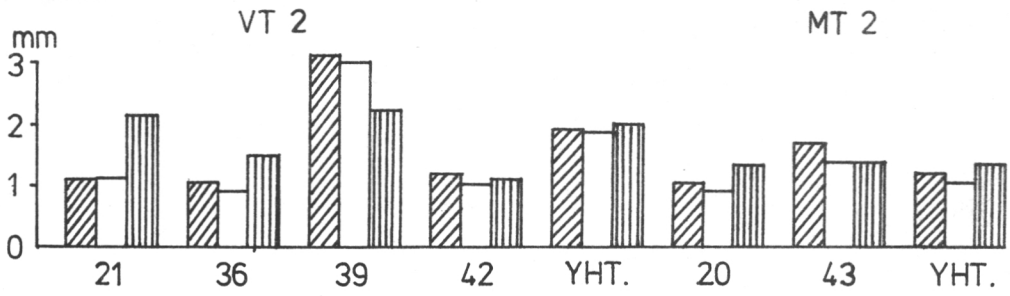
Koealojen paksuuskasvun väliset erot testattiin varianssianalyysillä kasvujaksoittain. Koealakohtaisten kasvujaksojen poikkeavuus testattiin t-testillä. Kuvassa 3 ja 4 on esitetty puulajeittain ne metsätyyppi- ja kehitysluokkakombinaatiot, joissa koealojen paksuuskasvu poikkesi tilastollisesti merkittävästi. Koealakohtaisten kasvutietojen lisäksi kuvissa on esitetty viimeisenä kunkin metsätyyppi- ja kehitysluokkakombinaation yhdistetyt kasvutiedot vastaavalla tavalla kolmena jaksona. Koealat on esitetty järjestysasteikolla jalostamolta olevan etäisyyden mukaan siten, että lähimpänä jalostamoa sijainnut koeala on x-akselilla äärimmäisenä vasemmalla.

4.2.1.1. Mänty

Nuorten kasvatusmetsien (2. kh1.) männyillä koealakohtaiset paksuuskasvut poikkesivat toisistaan VT-tyypillä kaikkina kolmena jaksona. Ero johtui vuosina 1964 - 68 ja 1969 - 74 koeala 39:n tason poikkeuksellisen korkeasta kasvun tasosta. Viimeisellä jaksolla koeala 21 saavutti koeala 39:n tason, mutta koealoilla 36 ja 42 paksuuskasvu jäi em. koealojen tuloja heikommaksi. Koko tarkasteluajanjaksolla jalostamon välittömässä läheisyydessä sijainneilla koealoilla 21 ja 36

SÄDEKASVU

31



▨ v. 1964-68 □ v. 1969-74 ▤ v. 1975-79

Kuva 3. Mäntyjen jaksoittainen paksuuskasvu (sädekasvu) Skölävik'in koaloilla

kasvu parani, kun taas kauempana sijainneilla koealoilla 39 ja 42 kasvu taantui.

MT-tyypillä nuorten kasvatusmetsien männyillä koealakohtaiset paksuuskasvut poikkesivat kahdella ensimmäisellä jaksolla. Lähtötasosta aiheutunut ero tasaantui 1970-luvun lopussa. Molemmat koealat, 20 ja 43, sijaitsivat aivan jalostamon lähellä.

Kolmannen kehitysluokan ClT-tyypin männyillä koealojen 46 ja 47 paksuuskasvun ero oli tilastollisesti merkitsevä kahdella viimeisellä jaksolla. Lähtötasosta aiheutunut ero voimistui 1970-luvulla, kun koealalla 46 kasvu parani verrattuna koealaan 47. Koealat sijaitsivat vierekkäin 200 m:n päässä toisistaan. VT-tyypillä erot olivat merkitseviä kaikilla jaksoilla ja sen aiheutti koeala 44:n muihin koealoihin verrattuna kaksinkertainen kasvun taso. Kummallakaan metsätyypillä paksuuskasvun kehitys ei noudattanut etäisyyden tms. tekijän suhteen johdonmukaista trendiä.

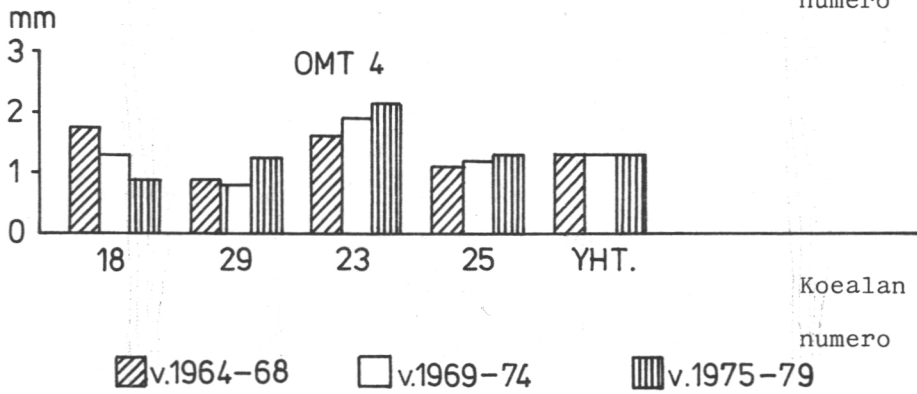
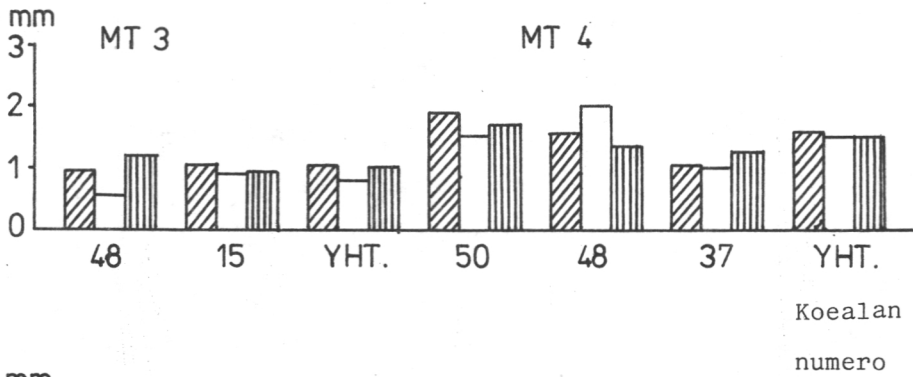
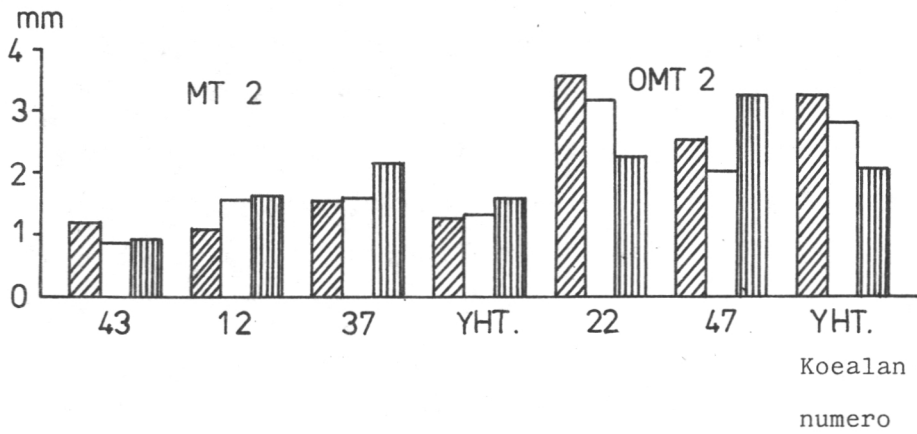
Uudistuskypsissä (4. khl.) mäntymetsissä paksuuskasvujen erot olivat merkitseviä CT- ja VT-tyypeillä. Ensiksi mainitulla erot olivat erittäin merkitseviä ($p < 0.001$) ensimmäisellä kasvujaksolla, mutta ne tasoittuivat viimeisellä jaksolla ($p = 0.05$). Eniten vallinneesta kasvun tasosta poikkesivat koealat 44 ja 48. Kasvukehitys oli koealaa 48 lukuunottamatta samanlainen ko. metsikköryhmän koealoilla. VT-tyypin koealojen kasvu poikkesi kahdella ensimmäisellä jaksolla.

CT-tyyppiä rehevämmästä kasvualasta johtuen VT-tyypin koealojen lähtötasoerot olivat suuremmat. Puuston vanhetessa erot tasaantuivat 1970-luvun lopulla vastaavalla tavalla kuin CT-tyypin koealoilla. Kasvun hidastuminen oli samanlaista molemmilla metsätyypeillä. Uudistuskypsien mäntymetsiköiden kasvueroissa ei havaittu jaksottaisessa tarkastelussa selvää trendiä.

Yksittäisten puiden kasvukehityksestä on esitetty esimerkkinä liitteissä 2 ja 3 koealoilla 21 ja 30 kasvaneiden 20 männyn paksuuskasvu vuosina 1964 - 1979. Molemmat koealat olivat VT-tyyppiä. Nuoria kasvatusmetsiä edustaneella koealalla 21 yksittäisten puiden kasvukehitys oli pitkälle samanlainen. Kaikilla puilla oli havaittavissa suotuisa kasvujakso 1970-luvun puolivälissä. Uudistuskypsässä koealametsikössä 30 puiden kasvukehitys oli huomattavasti tasaisempaa eikä yksittäisten puiden välillä ollut suuria eroja. Mäntyjen samankaltaisesta kehityksestä oli osoituksena metsätyyppi- ja kehitysluokkayhdistelmien pienet keskihajonnat (kuva 1).

Em. tarkastelun pohjalta voidaan todeta, ettei jalostamalla ollut kasvaneista tuotantomääristä huolimatta välittömästi mäntyjen kasvua alentavaa vaikutusta, joka olisi tullut esille käytetyssä jaksottaisessa tarkastelussa. Paksuuskasvun tasoerot olivat suuremmat rehevillä mailla kasvaneilla nuorilla männyillä, jotka olivat vielä kiihtyvän kasvun vaiheessa. Iän vaikutus ilmeni kasvuerojen tasaantumisenä ja kasvun lievenä hidastumisena, mikä on tyypillistä vanhoille puille.

SÄDEKASVU



Kuva 4. Kuusien jaksoittainen paksuuskasvu (sädekasvu) Sköldvik'in koealoilla

Vaikka paksuuskasvu aleni useimmilla koealoilla kahden ensimmäisen jakson välillä, muutosta ei voida yksiselitteisesti pitää kasvaneen ympäristörasituksen aiheuttamana, koska paksuuskasvu lisääntyi viimeisellä jaksolla osalla koealoista jopa lähtötasoon verrattuna kasvaneesta tuotannosta huolimatta.

4.2.1.2. Kuusi

Nuorissa kasvatusmetsissä (2. khl.) kuusen koealoittaisen paksuuskasvun erot olivat merkitseviä MT- ja OMT-tyypeillä (kuva 4). MT-tyypin koealojen paksuuskasvun lähtötasot eivät poikenneet toisistaan merkittävästi. 1970-luvun kahdella viimeisellä kasvujaksolla erot tulivat tilastollisesti merkitseviksi. Tarkastelun lähtötasoon verrattuna paksuuskasvu väheni välittömästi jalostamon pohjoispuolella sijainneella koealalla 43. Kauempana, jalostamon luoteispuolella sijainneen koealan 12 ja Porvoon tien vieressä olleen koeala 37 kasvu parani koko tarkasteluajanjakson ajan. Vastaava etäisyyden vaikutus oli havaittavissa myös OMT-tyypin koealoilla. Jalostamon pohjoispuoleisen koealan 22 kasvun lähtötaso oli tilastollisesti suurempi kuin etelänpuoleisen koealan 47. Koko tarkasteluajanjakson aikana suuremman rikkidioksidikuormituksen alaisella koealalla 22 paksuuskasvu väheni voimakkaasti, kun vastaavasti kauempana sijainneella koealalla 47 paksuuskasvu parani viimeisellä jaksolla lähtötasoon verrattuna. Varttuneissa MT-tyypin kasvatusmetsissä (3. khl.) koealojen 48 ja 15 paksuuskasvut eivät poikenneet toisistaan.

Ainoa tilastollisesti merkitsevä ero oli vuosien 1969 - 1974 muita jaksoja pienempi kasvu koealalla 48. Koealojen etäisyys jalostamolta oli käytännössä sama. Varttuneissa kasvatusmetsissä (3. khl.) kuusen paksuuskasvussa oli koealojen välisiä, tilastollisesti merkitseviä eroja MT- ja OMT-tyypillä. MT-tyypillä koealoittaiset paksuuskasvut poikkesivat merkittävästi vuosina 1964 - 68, jolloin jalostamon lähimmän pohjoispuoleisen koealan 50 kasvu oli suurin. Kauimmaisena sijainneen koealan 37 kasvukehitys oli koko tarkastelujaksolla nouseva. Vaikka koeala 50 kasvu väheni kahden ensimmäisen jakson välillä, etäisyyden vaikutus ei ollut yhtä selvä kuin nuorissa kasvatusmetsissä, koska myös koealalla 48 kasvu väheni lähtötasoon verrattuna. Sen sijaan OMT-tyypin koealoilla etäisyyden vaikutus oli selvä. Välittömästi jalostamon pohjoispuolella sijainneen koeala 18 kasvu väheni voimakkaasti lähtötasosta, kun vastaavasti kauempana olleilla koealoilla 29, 23 ja 25 paksuuskasvu parani.

Esimerkit yksittäisten kuusien paksuuskasvun selvityksestä ovat koealoilta 18, 22, 43, 37 ja 25 (liitteet 4, 5, 6, 7 ja 8). Jokaiselta koealalta on esitetty 10 valtapuuston yleisimpiin läpimittaluokkiin kuuluvien puiden sädekasvun kehitys vuosina 1964 - 1979. Kuten kuvista 1 ja 2 on havaittavissa, kuusen paksuuskasvun keskihajonnat ovat selvästi suuremmat kuin männynllä. Yhdenkään koealan kaikilla esimerkkipuilla kehitys ei ollut täysin samansuuntaista. Saman koealan puilla on havaittavissa jopa päinvastaisia kasvutrendejä. Eniten yhdenmukaisuutta on löydettävissä koealojen 18 ja 22 esimerkkipuiden kehityksestä.

Kuusien paksuuskasvun kehitys oli taantuvaa vallitsevien tuul-
ten alapuolella ja välittömästi jalostamorakennusten pohjois-
puolella sijainneilla koealoilla otettaessa huomioon koko
tarkasteluajanjakso. Kasvun hidastuminen oli selvin koealoilla
18 ja 22. Kasvun vähenemistä tapahtuu iän lisääntyessä varsin-
kin vanhoissa metsissä. Koska kauempana sijainneilla koealoil-
la paksuuskasvu parani, jalostamon sekä alueen muiden teolli-
suuslaitosten toiminta näyttää pienentäneen teollisuuden tont-
tialueen kuusien paksuuskasvua.

4.3. Paksuuskasvuun vaikuttavia tekijöitä

Regressioanalyysi soveltuu menetelmällisesti puiden kasvun ja
siihen vaikuttavien tekijöiden suhteiden selvittämiseen.
Menetelmällä voidaan eritellä yksittäisten kasvutekijöiden
vaikutus vakioimalla muut mallissa olevat selittävät muuttu-
jat. Menetelmää on yleisesti käytetty kasvututkimuksissa ilman
epäpuhtauksien vaikutusten selvittämiseen (esim. Westman 1974,
Phillips ym. 1977 ja Overrein 1980). Koska metsän kasvu on
useiden eri tekijöiden summa, todellista kasvutapahtumaa jou-
dutaan mallien puitteissa pakostakin yksinkertaistamaan puut-
teellisten tietojen vuoksi. Sundbergin (1974) mukaan kasvuyhtä-
löissä tulisi olla muuttujina tiedot puiden iästä, koosta,
puita ympäröivästä alueesta, maaperästä ja paikallisilmastos-
ta. Useimmissa tapauksissa em. tietojen saanti on mahdotonta.
Regressiomalleissa tavallisimmin käytettyjä ulkoisia kasvu-
tekijöitä ovat olleet lämpötila ja sademäärä (esim. Phillips
ym. 1977 ja Overrein 1980).

Selvitettäessä ilman epäpuhtauksien vaikutuksia metsän kasvuun epäpuhtauksia indikoivina muuttujina on käytetty mm. ilman rikkidioksidipitoisuutta, etäisyyttä emissiolähteestä, puiden kuoren pH:ta sekä emissiolähteen tuotantomääriä. Yksiselitteisin tilanne on, jos epäpuhtauksien määrät voidaan mitata absoluuttisina pitoisuuksina riittävän tarkasti. Tällöin esim. pitoisuuksien vuosikeskiarvot eivät kuvaa täysin todellista tilannetta, koska ne eivät vaikuta keskiarvoina, vaan vuodenajoittaiset vaihtelut ja siten myös vuorovaihtukset ilmasto- ja maaperätekiöiden kanssa ovat oleelliset (Kärenlampi & Huttunen 1980). Tämän lisäksi korkeat, akuutteja vaikutuksia aiheuttavat lyhytaikaispitoisuudet tulisi voida ottaa huomioon.

Tarkasteltavan aineiston osalta regressioanalyysiin soveltuvat kasvu- ja säätiedot oli käytettävissä vuosilta 1964 - 1979. Pisin analysoitu ajanjakso, jossa rikkidioksidipitoisuutta käytettiin selittävänä muuttujana, käsitti vuodet 1970 - 1979, koska mittaustulokset oli saatavissa ko. aikaväliltä (taulukko 1). 1970-luvun ajanjakson tarkastelua häytti epätäydelliset vuosittaiset mittausjaksot ja mittausasemien paikkojen vaihtelu.

Analyyseissa käytettiin rikkidioksidin vuosikeskiarvoja, koska tarkempien tietojen käyttö olisi olennaisesti entisestään lyhentänyt tarkastelujaksoa. Vuosikeskiarvot laskettiin kuukaiskeskiarvoista. Jos mittaukset eivät kattaneet koko vuotta keskiarvona pidettiin mitattujen kuukausipitoisuuksien keskiarvoa. Vuosikeskiarvoa tarkennettiin analy-

seissa vuosittaisilla rikkidioksidin maksimipitoisuudella, jona käytettiin kuukausien vuorokausimaksimipitoisuuksien keskiarvoa. Tärkeimpien lyhytaikaispitoisuuksien käyttö olisi ollut mahdollista vain 1970-luvun loppupuoliskolla.

Rikkidioksiditiedot perustuivat neljän rikkimittausaseman tuloksiin (kartta 2). Asemien N-S ja N-10 mittaukset yhdistettiin yhdeksi aikasarjaksi, joka kuvasi tilannetta välittömästi jalostamon läheisyydessä olleilla koealoilla. Tästä huolimatta vuodet 1974 ja 1975 jouduttiin jättämään em. asemien osalta aikasarjasta pois puuttuvien tietojen vuoksi. Aseman N-14 aikasarjaa jatkettiin interpoloimalla puuttuvat tiedot muiden mittausasemien vuosien 1970 - 1982 mittausten perusteella.

Yksittäisten puiden ikätietojen ja tarkempien maaperätietojen puuttumisen vaikutusta pyrittiin minimoimaan ryhmittelemällä koealat puulajeittain luokkiin, joissa metsätyyppi ja kehitysluokka olivat samat.

Koepuiden paksuuskasvua (=y) tarkasteltiin regressiomallilla, jossa selittävinä muuttujina olivat kasvutietoja vastaavien vuosien rikkidioksidipitoisuudet (SO_2), rikkidioksidin maksimipitoisuudet (SO_{2max}), kasvukausien keskilämpötila (T) ja -sademäärä (R) sekä aurinkoisten päivien lukumäärä (A). Paksuuskasvun kannalta varsinainen kasvukausi päättyy heinäkuun lopulla, mutta koska puut käyttävät loppukesän juuriston kasvuun ja seuraavan kasvukauden valmisteluun, ko. ajanjakson käyttö kasvukautena oli perusteltua.

puulaji, metsätyyppi ja kehitysluokka:

Kuusi OMT 2

Kuusi OMT 4

regressiomalli:

$$y = 4.1397 - 0.0076 \cdot SO_2 - 0.2500 \cdot T \\ + 0.0023 \cdot R + 0.2021 \cdot A$$

$$y = 2.9509 - 0.0067 \cdot SO_2 - 0.1476 \cdot T \\ + 0.0097 \cdot R + 0.0015 \cdot A$$

mallin selvitysaste:

0.10

0.06

mallin merkitsevyys (F-arvo):

7.1^{xxx}

6.0^{xxx}

havaintojen lukumäärä:

344

382

selittävät muuttujat ja

T riskitaso

T riskitaso 40

niiden merkitsevyys:

SO₂ -1.9 0.062 (merkitsevyys)

-3.3 0.001^{xxx} (merkitsevyys)

T -4.5 0.000^{xxx}

-3.1 0.002^{xx}

R 3.6 0.000^{xxx}

1.6 0.100

A 2.9 0.004^{xx}

2.4 0.015^x

Em. muuttujilla kasvuyhtälö sai seuraavan muodon:

$$y = a + b_1 SO_2 + b_2 T + b_3 R + b_4 A + b_5 SO_{2max}$$

Regressiomallin ollessa tilastollisesti vähintään merkitsevä ($p < 0.05$) em. muuttujat selittävät puuston paksuuskasvusta 3-10 %. Koska SO_{2max} korreloi voimakkaasti SO_2 :n kanssa, lopullisissa malleissa. Asetelmassa on esitetty toisen ja neljännen kehitysluokkien OMT-kuusikoiden kasvumallit.

Kaikissa malleissa selittävien muuttujien vaikutukset paksuuskasvuun olivat yhdenmukaiset. Ilmastotekijöistä puiden kasvua rajoitti veden niukkuus. Lämpötilan nousu, jolla oli kasvua alentava vaikutus, aiheutti lisääntyneen haihtumisen kautta veden puutetta. Vastaavasti sademäärän kasvu lisäsi kasvua. Auringon säteilyn lisääntyminen edisti kasvua. Ilman rikkidioksidilla, joka oli tilastollisesti merkitsevä muuttuja ainoastaan 4. kehitysluokan OMT-tyypin kuusilla, oli kasvua alentava vaikutus. Vaikka selittävien muuttujien vaikutukset olivat johdonmukaiset, mallien käyttöä vaikeuttaa niiden alhaiset selitysasteet. OMT-tyypin kuusilla, oli kasvua alentava vaikutus. Vaikka selittävien muuttujien vaikutukset olivat johdonmukaiset, mallien käyttöä vaikeuttaa niiden alhaiset selitysasteet. OMT-tyypin varttuneissa kasvatusmetsissä rikkidioksidipitoisuus selitti yksinään vain 2 % kuusien paksuuskasvusta. Toisaalta tulokset olivat johdonmukaisia koaloittaisen paksuuskasvun tarkastelun kanssa sen suhteen, että rikkidioksidin vaikutus ilmeni tilastollisesti kasvua vähentävänä ainoastaan kuusilla, joiden kasvussa oli havaittavissa

	Mänty VT 4	Kuusi MT 2	Kuusi OMT 4
	selityssaste (R^2) yhtälö	selityssaste (R^2) yhtälö	selityssaste (R^2) yhtälö
1979	0.02	0.31 ^{xxx}	0.07
1978	0.03	0.42 ^{xxx}	0.21 ^{xx}
1977	0.00	0.37 ^{xxx}	0.14 ^x
1976	0.11 ^{xx}	0.26 ^{xxx}	0.12 ^x
1975	0.08 ^x	0.05	0.01
1974	0.05	0.29 ^{xxx}	0.05
1973	0.07 ^x	0.38 ^{xxx}	0.01
1972	0.03	0.07	0.01
1971	0.03	0.02	0.05
1970	0.05	0.04	0.06
1969	0.05	0.06	0.06
1968	0.01	0.14 ^x	0.00
1967	0.08 ^x	0.05	0.02
1966	0.03	0.04	0.02
1965	0.02	0.02	0.06
1964	0.01	0.05	0.12 ^x
			$y=1.815-0.179 \cdot x$

$x = p < 0.05$

$xx = p < 0.01$

$xxx = p < 0.001$

Taulukko 6 Etäisyys (x) männyn ja kuusen paksuuskasvua selittävänä muuttujana vuosina 1964 - 1979 ja sen selityssaste, tilastollinen merkitsevyys sekä regressioyhtälö

vähennemistä jalostamon lähellä.

Tätä ilmiötä selvitettiin myös regressioanalyysillä, jossa koepuiden kasvua selittävänä muuttujana oli koealojen suora etäisyys jalostamolta, joka mitattiin 0,1 km:n tarkkuudella peruskartalta. Vastaavalla tavalla etäisyyttä ilman epäpuh-
tauksien indikaattorina on käyttänyt mm. Westman (1974).

Vaikka epäpuhtauksien leviäminen on aina tapauskohtainen ilmiö, johon vaikuttavat mm. piippujen korkeus, alueen topografia ja ilmastolliset olosuhteet, pitoisuudet laimenevat karkeasti etäisyyden kasvaessa. Tämä on havaittavissa myös Sköldvikin alueella. Käytettäessä etäisyyttä metsän kasvua selittävänä muuttujana tarkasteluajanjakso voitiin ulottaa vuoteen 1964 saakka. Regressiomalleilla analysoitiin edellisistä malleista poiketen jokainen vuosi erikseen. Tällä menettelytavalla pystyttiin erittelemään ne vuodet, jolloin etäisyys oli tilastollisesti merkitsevä, metsän kasvua selittävä tekijä.

Aineisto käsiteltiin kuten edellä puulajeittain metsätyyppi- ja kehitysluokkakombinaatioina. Jokaiseen malliin edellytettiin vähintään 30 havaintoa. Tämän ja koealojen liian pienen etäisyysvaihtelun vuoksi analysoitavien osapopulaatioiden määrää jouduttiin karsimaan.

Mäntyjen paksuuskasvua etäisyys selitti tilastollisesti merkitsevästi VT-tyyppin uudistusyksissä metsissä. Ko. osapopulaatio koostui 67:stä kahdeksalla koealalla kasvaneista koepuista. Koealat olivat 1,1 - 3,8 km:n päässä jalostamolta.

Etäisyys selitti 7 - 11 % paksuuskasvusta lähinnä 1970-luvun puolivälissä (taulukko 6). Etäisyyden kasvaminen lisäsi puiden paksuuskasvua ts. jalostamon lähellä olleilla koealoilla paksuuskasvu jäi pienemmäksi kuin kauempana sijainneilla. Vaikka etäisyyden vaikutus oli johdonmukainen kaikkina vuosina, johtopäätösten tekoa rajoitti suhteellisen alhaiset selityksasteet.

Kuusien paksuuskasvua etäisyys selitti tilastollisesti merkitsevästi MT-tyypin nuorissa kasvatusmetsissä (2. khl.) ja OMT-tyypin uudistuskypsissä metsissä (4. khl.). Jälkimmäinen osapopulaatio koostui neljän koealan 41 puusta, jotka sijaitsivat 1,0 - 3,9 km:n etäisyydellä jalostamosta. Etäisyyden vaikutus ilmeni tilastollisesti merkitsevänä ensimmäisen kerran vuonna 1976, jonka jälkeen selityksaste kasvoi vuoteen 1978 saakka, jolloin etäisyys selitti 21 % puiden paksuuskasvusta (taulukko 6). Etäisyys vaikutti samalla tavalla kuin VT-tyypin mäntymetsissä; paksuuskasvu oli pienin jalostamon lähellä olleilla koealoilla ja etäisyyden kasvaminen lisäsi kasvua. Merkillepantavaa oli, että vuosina 1964 - 1967 etäisyyden vaikutus oli päinvastainen ts. jalostamon lähellä puut kasvoivat kauempana olleita paremmin. Toisin tämä käännteinen vaikutus oli tilastollisesti merkitsevä vain vuonna 1964.

Toisen kehitysluokan MT-tyypin kuuset (32 kpl) sijaitsivat neljällä koealalla, jotka olivat 0,7 - 4,9 km:n päässä jalostamolta. Etäisyyden vaikutus oli vastaava kuin edellä esitetyillä koealoilla. Jalostamon vaikutus ilmeni vuotta 1968

lukuunottamatta 1970-luvun alun jälkeen. Koska mallit olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä ($p < 0.001$) ja selitysas- te vaihteli 26 - 42 % kasvun alenemista ei voida selittää muilla tekijöillä kuin jalostamon vaikutuksella.

5. TULOSTEN TARKASTELU

Kokonaisuutena tarkastellen Sköldvikin koealametsiköiden kasvu noudatti Etelä-Suomen metsien kehitystä vuosina 1964 - 1979. Osalla koealoista mm. viivästyneiden hakkuiden voitiin otaksua hidastaneen metsiköiden kehitystä (Tiihonen 1983b). Metsätyypeittäin ja kehitysluokittain suoritettun tarkastelun mukaan kuusen paksuuskasvu noudatti mäntyä paremmin Suomen eteläisen osan kehitystä. Tämä aiheutui ainakin osittain rannikkoalueen kasvuolosuhteista. Koealametsiköiden 1970-luvun loppujakso poikkesi osittain vertailuaineistojen arvoista. Koska poikkeamissa ei ollut selvää trendiä, jalostamalla ei voida katsoa olleen sellaista vaikutusta, joka olisi näkynyt koealametsiköiden rakenteessa tai kuutiokasvussa. Tältä osin tulokset vastasivat Huikarin (1975, 1980) tutkimuksia. Tätä johtopäätöstä tuki myös paksuuskasvun yleinen tarkastelu.

Paksuuskasvun koealakohtaisessa jaksottaisessa tarkastelussa (kappale 4.2.1.) oli havaittavissa kuusien kasvun taantumista välittömästi jalostamon pohjoispuolella olleilla koealoilla. Samoilla kuusen metsätyyppi- ja kehitysluokkakombinaatioilla oli havaittavissa ilman rikkidioksidin lievä ja etäisyyden selvempi puuston kasvua alentava vaikutus. Koealakohtaisten tulosten näennäinen ristiriita verrattuna koko aineiston yleiseen tarkasteluun on tulkittava niin, että jalostamo ja alueen muut epäpuhtauslähteet aiheuttivat lähimetsiköiden paksuuskasvussa näkyvää vähenemistä vasta tarkasteluajanjakson loppupuolella. Koko aineistoon verrattuna nämä kasvutappiot olivat siksi pieniä, etteivät ne näkyneet laajemmassa tarkastelussa. Toisaalta vanhojen kuusikoiden kasvukehityksestä

suurin osa tapahtui häiriöttömissä olosuhteissa ennen jalostamon rakentamista. Näin ollen mahdollinen kasvua alentava vaikutus kohdistui niihin hidastuvan kasvun vaiheessa. Tämän vuoksi ilman epäpuhtauksien aiheuttamat häiriöt mm. fotosynteesissä ilmenivät niillä selvemmin alentuneena kasvuna kuin vanhemmilla puilla. Analysoidun aineiston perusteella voidaan todeta, että kasvua selvästi alentava vaikutus näkyi jalostamon pohjoispuolella, suhteellisen rajoitetulla alueella olleilla kuusimetsiköillä.

Keväällä 1984 (Tiihonen 1984) suoritetussa koealojen tarkastuksessa kaikilta niiltä koealoilta, joissa kasvunalenemistä oli havaittavissa, löytyi rikkidioksidin lisäksi muita kasvua hidastavia tekijöitä kuten esim. ylitiheyttä, lahovikoja sekä koealalla 43 viereisestä asutuksesta johtuvaa voimakasta kasvipeitteen kulutusta. Tämän tutkimuksen puitteissa on mahdollonta eritellä em. tekijöiden keskinäisiä suhteita, mutta Tiihosen (1984) mukaan huomattava osa kasvun alenemisesta on saattanut tapahtua muista syistä kuin jalostamon päästöistä.

Tarkasteltaessa ko. alueella tehtyjä ilman rikkidioksidimitauksia, rikkidioksidin pitoisuudet ylittivät kirjallisuudessa esitetyt havupuiden sietorajat 1970-luvun lopussa. Huttusen ja Paarlahden (1982) kokoamien tietojen mukaan männyn sietorajana pidetään 30 - 50 g/m³ rikkidioksidipitoisuutta vuosikeskiarvona ja kuusella 25 g/m³. Kuusen mäntyä heikompi rikkidioksidin sietokyky näkyi myös Sköldvikin alueella.

Havupuiden herkkyyden indikaattorina on käytetty usein neulasia, joista tavallisesti määritetty peroksidaasiaktiivisuus ja rikkipitoisuus (esim. Jokinen 1979 ja Huttunen ym. 1981). Vaikutuksia on kartoitettu myös arvioimalla neulasten kunto visuaalisesti (esim. Häkkinen ym. 1981). Ilman epäpuhtauksien vaikutukset näkyvät ensimmäisinä neulasissa. Neulasten kunnan ja kasvutappioiden välisestä suhteesta on esitetty arvioita (esim. Huttunen 1977). Stephanin (1971) mukaan neulasten sisältämien epäpuhtauksien määrällä kuitenkin ei voida suoraan mitata puiden kasvun vähenemistä. Neulasten sisältämän rikin ja ilman rikkidioksidipitoisuuden välille on Huttunen ym. (1980) mukaan kuitenkin saatavissa suuntaa-antavia keskimääräisiä suhteita. Huttunen ym. (1981) Porvoon maalaiskunnassa tekemän tutkimuksen mukaan Sköldvikin alueella neulasten rikkipitoisuus lisääntyi huomattavasti 1980. Jalostamon alueen männyissä havaittiin samassa tutkimuksessa selviä vaurioiden merkkejä. Tutkimuksessa käytetyssä, Neste Oy:n analysoimissa neulasnäytteissä ei havaittu rikkipitoisuuden tason nousua. Tulosten poikkeavuus johtui lähinnä erilaisista määrittämenetelmistä. Toisaalta neulasten rikkipitoisuuden ja paksuuskasvun välinen heikko korrelaatio saattoi johtua siitä, että näytteet oli kerätty samoilta alueilta, missä koeput sijaittivat. Neulasnäytteet eivät olleet välttämättä peräisin kasvukoealoilta.

Sköldvikin alueen metsän kasvua ovat Huikarin (1975, 1980) lisäksi tutkineet Heikkinen & Tikkanen (1981) ja Huttunen (1980, 1982). Heikkinen & Tikkanen (1981) havaitsivat kuusen kasvun taantumista jalostamon lähellä verrattuna Sipoon-korven kuusiin. Johtopäätökset tehtiin vain 18 koepuun perusteella

ja otoksen pieni koko näkyy satunnaisvaihteluna verrattaessa koepuiden kehitystä esim. Tiihosen indekseihin. Heikkisen & Tikkasen (1981) koepuut olivat samalta alueelta, jossa myös tämän tutkimuksen tulosten perusteella oli havaittavissa kuusen kasvun taantumista, joten tulokset vastasivat toisiaan. Huttunen (1980) havaitsi kuusen ja männyn paksuuskasvun vähenemistä verrattaessa vuosia 1975 - 1978 ja 1969 - 1974. Erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä (Huttunen 1982). Koealojen paksuuskasvun jaksottaisessa tarkastelussa käsitellyn aineiston kaksi viimeistä jaksoa vastasivat Huttunen (1980) vertailuvuosia. Tulosten vertailua hankaloitti se, ettei Huttusen (1980) koemetsiköistä ollut tarkkoja metsätyyppi- ja kehitysluokkatietoja. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella aineistoa kokonaisuutena tarkastellen vastaavaa kasvun vähenemistä ei ilmennyt (kuvat 1 ja 2). Koealoittaisessa tarkastelussa Huttusen (1980) havaitsema kasvun väheneminen näkyi männyllä kuudella koealalla kahdestakymmenestäseitsemästä ja kuusella kolmella koealalla kahdeksastatoista (kuvat 3 ja 4).

Sköldvikin ympäristön jatkoseuranta on perusteltua. Tällöin koealaverkkoa on laajennettava ja kasvututkimusten lisäksi resursseja on suunnattava myös epäsuorien indikaattorien, esim. neulasten ja maaperän tutkimiseen. Lopullisten johtopäätösten teko vaatii mahdollisimman monipuolista ympäristöseurantaa, koska vaikutusten havaitseminen pelkästään puuston kasvututkimusten perusteella on vaikeaa pelkästään puuston vuotuisen kasvun voimakkaan (30 %) luontaisen vaihtelun vuoksi. Jatkoseurannassa voidaan hyödyntää paremmin ilman

rikkidioksidin mittauksia, koska tällöin on käytettävissä yksityiskohtaisia tietoja aikaisempaa pidemmältä ajanjaksolta. Smith (1981) toteaaakin, että tähänastisten kasvututkimusten suurimpana puutteena on epätäydelliset ilman rikkidioksidi-tiedot, minkä vuoksi absoluuttisten pitoisuuksien ja kasvutappioiden välistä riippuvuutta ei ole pystytty täsmentämään.

Jatkotutkimuksissa maaperätietojen ja koepuiden tarkkojen ikätietojen avulla voitaisiin entistä paremmin vakioida luontaisen kasvun vaihtelun vaikutusta. Samalla saataisiin tietoja siitä, missä määrin jalostamon vaikutukset ovat suoria tai epäsuoria.

KIRJALLISUUSVIITTEET

- ABRAHAMSEN, G. 1980. Acid precipitation, plant nutrients and forests growth. In: Drabløis, D. & A. Tollan (eds.) Ecological effects of acid precipitation, p. 58-63, SNSF-project
- ESTLANDER, A. 1982. Happamoitumisen kannalta tärkeät ilmapäästöt. Luonnon Tutkija 86, N:o 1. s. 23-26
- EUROLA, S. & E. KAAKINEN, 1978. Suotyypipiipas, WSOY, Porvoo 87 s.
- HASENSEN, B. 1983. Neste Oy:n rikkipäästöt vuosina 1966-1979. Kirjallinen tiedonanto 18.10.1983
- HAVAS, P. J. 1971. Injury to pines in vicinity of a chemical processing plant in northern Finland. Acta Forestalia Fennica 121, s. 1-21
- HAYWOOD, J. K. 1905. Injury to vegetation and animal life by smelter wastes, U.S. Department of Agriculture, Bureau of Chemistry, Bulletin N:o 89, 1-23
- HEIKKINEN, O. & M. TIKKANEN, 1981. Ilman saasteiden vaikutus havupuiden kasvuun, esimerkkinä Sköldvik'in öljynjalostamon ympäristö. Terra vol. 93, N:o 4, s. 133-144
- HUIKARI, O. 1975. Puiden ja muun metsäkasvillisuuden menestyminen teollisuusalueilla. Öljyposti 1975, N:o 3, s. 4-8
- HUIKARI, O. 1980. Nesteen laitosten ympäristömetsien kasvat tutkimus. Öljyposti 1980, N:o 2, s. 22-23
- HUIKARI, O., MUOTIALA, S. & M. WÄRE, 1964. Ojitusopas, toinen painos. Kirjayhtymä 1964. Helsinki

- HUIKARI, O. & K. PAARLAHTI, 1967. Results of Field Experiment on the Ecology of Pine, Spruce and Birch. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 64.1
- HUTTUNEN, S. 1977. Havupuut ja ilman saastuminen. Suomen Luonto, 4-5/77, s. 264-269
- HUTTUNEN, S. 1980. Uppföljningsundersökning om luftföroreningarnas inverkan på skogar i närheten av endel industriorter åren 1975-1979. Utkast till rapport. Svenskpråkig förkortad version. Centralskogs nämnden Skogskultur. 27 s.
- HUTTUNEN, S., LAINE, K., PAKONEN, T., KARHU, M., TÖRMÄLEHTO, H., KÄREN-LAMPI, L. & S. SOIKKELI, 1980. Ilman epäpuhtauksien leviäminen ja vaikutukset metsäympäristössä. Suomen Akatemian tutkimusprojektin "Ilman saasteiden vaikutukset terrestisessä ekosysteemissä" loppuraportti 1980-06-30. Oulun Yliopiston kasvitieteen laitoksen monisteita N:o 12
- HUTTUNEN, S., KARHU, M. & S. SKOG, 1981. Ilman kautta kulkeutuvien rikkiyhdisteiden leviäminen metsäympäristössä Porvoon seudulla. Porvoon mlk. Ympäristönsuojelulautakunta tiedottaa 2/81. Moniste
- HUTTUNEN, S. 1982. Rikkiyhdisteiden leviäminen ja vaikutukset Uudenmaan läänissä. Luonnon Tutkija 86, s. 39-42
- HUTTUNEN, S. & K. PAARLAHTI, 1982. Ilman epäpuhtauksien vaikutuksesta metsän kasvuun. IVO-ympäristötutkimukset MMP-82-7
- HÄKKINEN, A., SULKAVA, R. & J. JOKINEN, 1981. Ilmansaasteet uhka terveydelle ja ympäristölle. Tammi, Helsinki. 174 s.
- ILMATIETEEN LAITOS, 1964-1979. Ilmastohavainnot 1964-1979. Suomen meteorologinen vuosikirja. Niteet 64-79 osa 1a

- ILMATIETEEN LAITOS, 1972. Ilmatieteen laitoksen selvitys SO₂ leviämisestä Neste Oy:n Porvoon tuotantolaitoksesta ja suositus kolmen jatkuvatoimisen rekisteröivän SO₂-mittausaseman sijoituspaikoiksi. Moniste. 14 s.
- INSINÖÖRITOIMIMISTO MAA JA VESI, 1979. Ilmatutkimus 1977. Porvoon mkl. Ympäristönsuojelulautakunta. Moniste 15.11.1979
- ILVESSALO, Y. 1920. Tutkimuksia metsätyyppien taksotoorisesta merkityksestä nojautuen etupäässä kotimaiseen kasvutaulujen laatimistyöhön. Acta Forestalia Fennica 15
- ILVESSALO, Y. 1937. Perä-Pohjolan luonnonnormaalien metsiköiden kasvu ja kehitys. Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen julkaisuja. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 24
- JOKINEN, J. 1979. Ilman epäpuhtauksien vaikutusraportti. Ilman epäpuhtauksien vaikutukset Espoossa, metsävaikutusselvitys. v. 1978. Espoon ympäristönsuojelulautakunta. Julkaisu 1/79
- KANGAS, Y. 1965. Havaintoja ilman sisältämien epäpuhtauksien vaikutuksesta metsän kasvuun. Metsäntutkimuslaitos, Konekirjoite
- KARTASTENPÄÄ, R., LAAMANEN, A. & Y. RANTANEN, 1973. Raakaöljyn puhdistuksen ja öljynjalostuksen ilmansuojelunäkökohtia Sköldvik'in teollisuustutkimuksen valossa. Työterveyslaitoksen julkaisuja N:o 82
- KELLER, T. 1977. The effect of long term low SO₂ concentrations upon photosynthesis of conifers. 4th International Clean Air Congress, s. 81-83
- KOIVISTO, P. 1957. Etelä-Suomen hoidettujen raudus- ja hieskoivikoiden kehityksestä. Konekirjoite

- KOIVISTO, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita.
Communications Instituti Forestalis Fenniae 51.8
- KORPELAINEN, H. 1979. MAB-ohjelmaan liittyvä metsäntutkimus Suomessa. Suomen MAB-toimikunta. Suomen Akatemia. Tiedotus 1
- KÄRENLAMPI, L. & S: HUTTUNEN. 1980. Ilman epäpuhtauksien vaikutukset kasveihin. Kuopion Luonnon Ystävien Yhdistys ry. Kuopio 1980. 73 s.
- LAITAKARI, E. 1920. Tutkimuksia sääolosuhteiden vaikutuksesta männyn pituus- ja paksuuskasvuun. Acta Forestalia Fennica 17
- LEINONEN, L. & H. LÄTTILÄ, 1982. Ilman epäpuhtaudet Suomen tausta-aseilla. Luonnon Tutkija 86, N:o 1, s. 27-32
- LÄTTILÄ, H. 1981. Ilman epäpuhtaudet Porvoon seudulla. Yhteenveto alueelta tehdyistä selvityksistä. Porvoon maalaiskunta, Ympäristönsuojelulautakunta tiedottaa 1/81
- McLAUGHLIN, S. B., McCONATHY, R. K., DUVICK, D. & L. K. MANN. 1982. Effects of Chronic Air Pollution Stress on Photosynthesis Carbon Allocation and Growth of White Pine Trees. Forest Science, Vol. 28, N:o 1 s. 60-70
- MIKOLA, P. 1950. Puiden kasvun vaihtelusta ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. Metsätieteellisen laitoksen julkaisuja. Communications Instituti Forestalis Fenniae 38
- MUDD, J. B. & T. T. KOZLOWSKI, (ed.) 1975. Responses of plant to air pollution. Academic Press. 383 s.
- MÄKINEN, V. 1958. Nuorten männiköiden kehityksestä ja harvennuksen aiheuttamista muutoksista niiden rakenteessa. Konekirjoite
- NESTE OY, 1979. Ilman rikkidioksidipitoisuuden mittaukset Neste Oy:n Porvoon tuotantolaitosten ympäristössä 1978. Vuosiraportti 20.2.1979. Moniste 15 s.

- NESTE OY, 1980. Ilman rikkidioksidipitoisuuden mittaukset
Neste Oy:n Porvoon tuotantolaitosten ympäristössä 1979.
Vuosiraportti. 27.2.1980. Moniste 8.
- NESTE OY, 1981. Ilman rikkidioksidipitoisuuden mittaukset
Neste Oy:n Porvoon tuotantolaitosten ympäristössä 1980.
Vuosiraportti. 25.2.1981
- NESTE OY, 1983a. Ilman rikkidioksidipitoisuuden mittaukset
Neste Oy:n Porvoon tuotantolaitosten ympäristössä 1982.
Vuosiraportti. 21.4.1982. Moniste. 15 s.
- NESTE OY, 1983b. Neste Oy:n julkaisematon aineisto
- NYLANDS SVENSKA LANTBRUKSSÄLLSKAP, 1973. Maan ja kasvu-
ton tutkimus Sköldvik-Svartbäck'in teollisuusalueen
ympäristössä 1972-73. Nylands svenska lantbrukssällskap.
N:o 172
- NYSSÖNEN, A. 1954. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden
rakenteesta ja kehityksestä. Acta Forestalia Fennica 60
- NYSSÖNEN, A. 1957. Männikön tuotoksesta ja kasvatuksesta.
Maataloudellinen Aikakauslehti
- OVERREIN, L., SEIP, H. M. & A. TOLLAN, 1980. Acid precipitation
- effects in forest and fish. Final report of the
SNSF-project 1972-1980
- PHILLIPS, S. O., SKELLY, J. M. & H. E. BURKHART, 1977.
Growth Fluctuation of Loblolly Pine Due to Periodic
Air Pollution Levels: Interaction of Rainfall and Age.
Phytopathology 67, s. 716-720
- REUSS, C. 1893. Rauch beschädigung in dem von Tiere-
Winckler'schen Forstreviere Myslavitz-Kattowitz.
J. Jäger und Sohn, Goslar

- SCHRÖDER, J. von & C. Reuss, 1883. Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch und die Oberharzer Hüttenrauchschäden. P. Parey, Berlin
- SCURFIELD, G. 1960. Air Pollution and tree growth. Forestry Abstracts, vol. 21, N:o 3, s. 339-347
- SISÄASIAINMINISTERIÖ, 1980. Öljynjalostamoiden ilmansuojeluselvitys. Sisäasiainministeriön ympäristönsuojeluosaston julkaisu C/1, N:o 3
- SMITH, W. H. 1981. Air Pollution and Forests. Interactions between Air Contaminants and Forest Ecosystems. Springer-Verlag, New-York
- STEPHAN, K. 1971. Chemische Nadeanalyse Schadstoffbestimmung. Mitteilungen der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Wien 92, 84-102
- SUOMEN AKATEMIA/YMPÄRISTÖNTUTKIMUKSEN JAOSTO, 1983. Ilman epäouhtauksien vaikutus metsäekosysteemeihin. Seminaariraportti. Suomen Akatemian julkaisuja 3/1983
- TAKATALO, S. 1982. Kirjallisuusselvitys maaperän ja vesistöjen happamoitumisesta. IVO-ympäristötutkimukset YMP-82-10
- TAMM, C. O. & G. WIKLANDER, 1980. Effects of artificial acidification with sulphuric acid on the growth in Scots pine forest. In: Drabløs, D. & Tollan, A. (eds.). Ecological impact of acid precipitation, p. 188-189, SNSF-project
- TIIHONEN, P. 1979. Kasvun vaihtelu valtakunnan metsien 6. inventoinnin aineiston perusteella. Folia Forestalia 407
- TIIHONEN, P. 1983a. Männyn ja kuusen kasvun vaihtelu Suomen eteläisimmässä osassa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella. Folia Forestalia 545

- TIIHONEN, P. 1983b. Sköldvik'in koealojen m,astohavainnot
20.9.1983
- TIIHONEN, P. 1984. Sköldvik'in koealojen maastohavainnot
ja tarkistusmittaukset 4.5.1984
- ULRICH, B., MAYER, R. & P. K. KHANNA, 1980. Chemical
changes duo to acid precipitation in a loessderived
soil in Central Europe. Soil Science 130, s. 193-199
- WESTMAN, L. 1974. Air Pollution Indications and Growth of
Spruce and Pine Near a Sulfite Plant. Ambio, vol. 111.
N:o 5, s. 189-193
- VUOKILA, Y. 1956. Etelä-Suomen hoidettujen kuusikoiden
kehityksestä. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja.
Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 48
- VUOKILA, Y. 1957. Hoidetun kuusikon puutavaran tuotoksesta.
Maataloudellinen Aikakauslehti

SUMMARY

Damage to vegetation by air impurities has already been reported for 100 years, but not until the 1970s did the problem take a critical turn in Central Europe. In West Germany, for example, 8 % of the forests have died or are about to die. This study is concerned with the growth of forests in the Sköldvik area, Porvoo, where oil refinery and petrochemical industries have been functioning since 1966. By Finnish standards the area is under a heavy pollution load caused by air impurities, as the area is not only under the influence of its own industrial emissions, but it also receives windborne effluents from further off. The annual sulphur dioxide emissions in the area have varied from 19,000 to 23,000 tons. The aim was to find out if the emissions from the refining process have directly affected the growth of forests.

The material was collected in 1974 from 35 0.04-ha sample plots. The radial growth of sample trees (500) on each sample plot was measured in 1964-1979. Stem diameters (D 1.3 and D 3.5/6), bark thickness, height and height growth in three five-year periods were measured on 20 sample plots. The forest site types indicating the nutritional level and development class indicating the age of stands were also known. The most distant sample plots were 4 km from the oil refinery. Moreover, the measurements of the air sulphur dioxide content made by Neste Oy in 1970-1979 were available as well as the weather reports by the nearby meteorological station.

The stand volume and volume increment on sample plots were calculated by using a programme designed at the Department of Peatland Forestry of the Finnish Forest Research Institute. The statistical analysis of the material was carried out with SPSSX-statistical-mathematical software at Joensuu University.

The structure, volume and radial growths of sample stands were analyzed by tree species in different combinations of forest site types and developmental classes in order to minimize the effect of the nutritional stage and age.

To investigate the structure and volume increment, growth and yield tables for south Finland collected by Koivisto (1959) and output data of the 7th National Forest Inventory from the Forestry Board District of Helsinki were used as control material. Considering the accuracy of the control, the structure and volume increment of sample stands corresponded on average to the situation in south Finland.

The investigation of the forest site types and developmental classes did not bring forth any deviations from the normal development of the radial growth of pine and spruce. Both tree species demonstrated clearly how the age affected decreasingly the radial growth (Figs. 1 and 2.). The results on the radial growth of both pine and spruce were consistent with the growth indices calculated for southern Finland.

The radial growth of pine and spruce was recorded on each sample plot in three five-year periods, which roughly

corresponded to the increase in the output of the refinery. The radial growth of pine (Fig. 3.) did not show such differences between sample plots or investigation periods as could be interpreted as having been caused by the refinery. However, decline in the radial growth of spruce was discernible near the refinery, on the sample plots exposed to the prevailing winds.

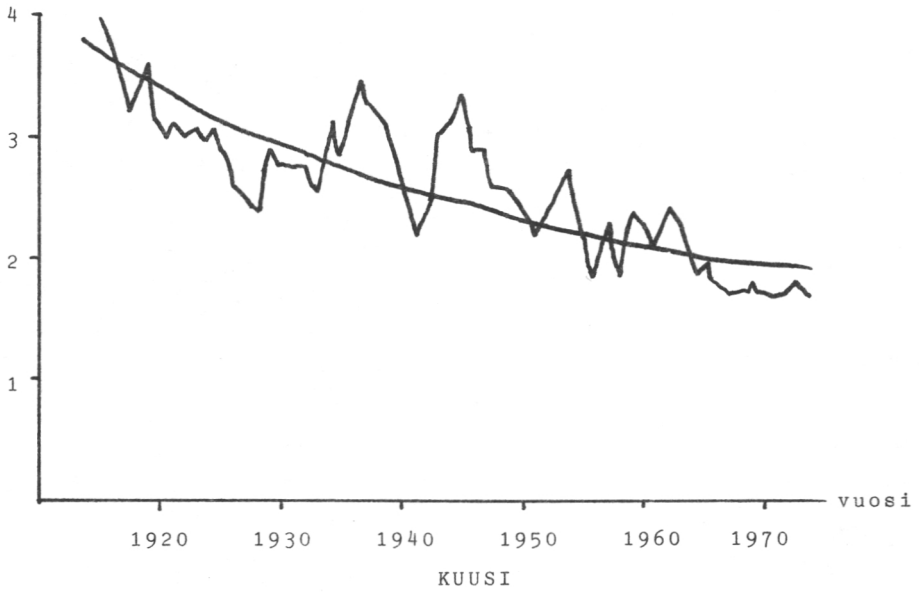
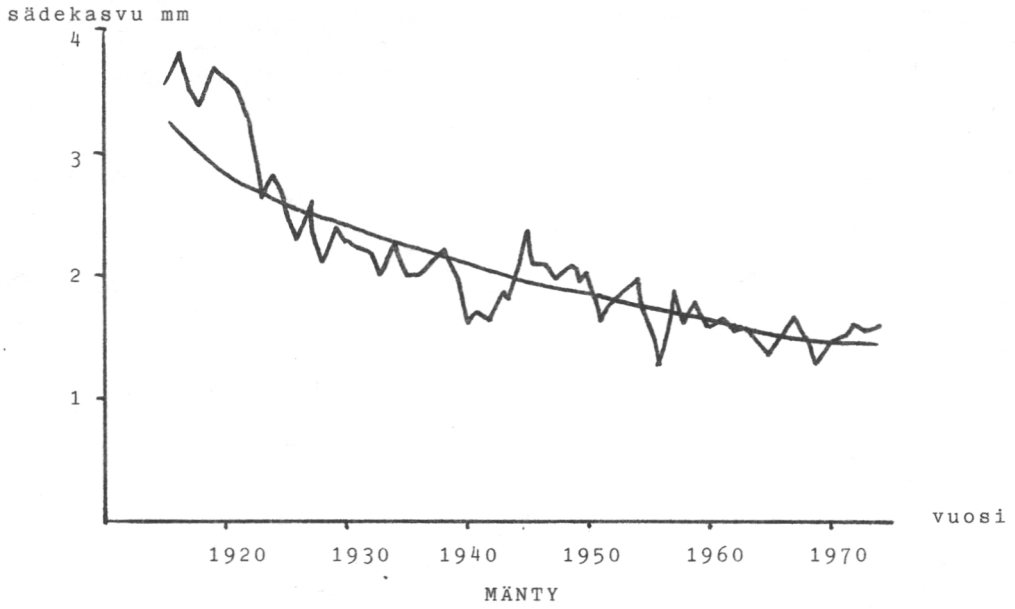
Regression models were used for analyzing the factors affecting the radial growth. Such factors were annual variation in the sulphur dioxide content of the air, the mean temperature, precipitation and radiation during the growing season. The sulphur dioxide content and lack of water influenced negatively the radial growth. The practicability of the regression models in question was lessened by their low coefficients of determination, which were due to too short and investigation period and inaccurate data. It is, however, noteworthy that these models were statistically significant only with spruce.

The radial growth was also explained by the distance between the sample plots and the refinery. The effect of distance was similar in all the models. As distance grew, also the radial growth increased i.e. the radial growth of trees near the refinery was smaller than on sample plots further off. The effect of distance was more pronounced with spruce. The radial growth of spruce was explained by distance by 42 % at the greatest. The effect of distance was better seen in fast-growing young trees than in old trees whose growth was slowing

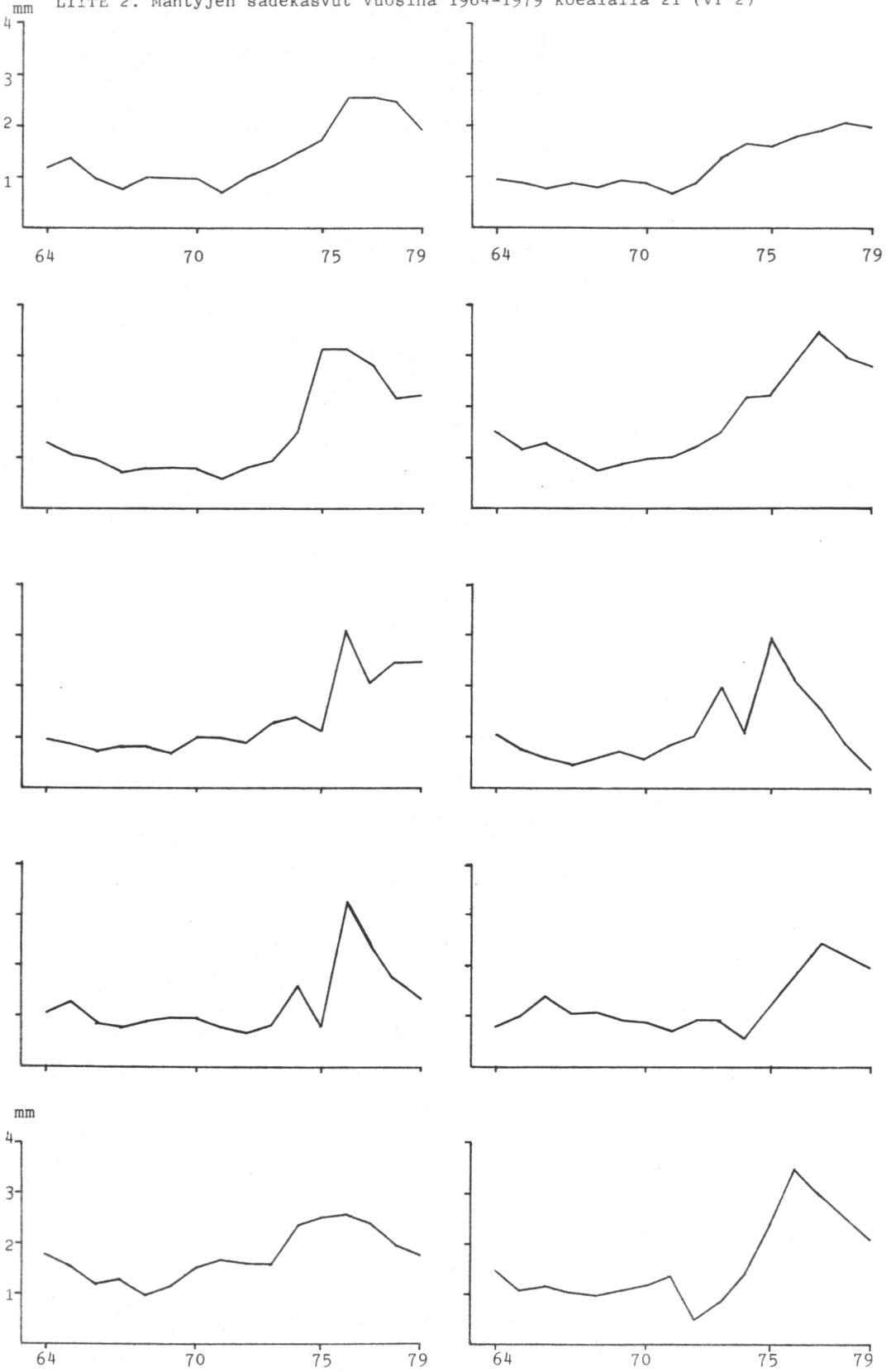
down. The statistically significant effect of distance started to become evident in the radial growth of sample stands in the mid-1970s, by which time the refinery had been functioning for about ten years.

Decline in the radial growth occurred on spruce-dominating sample plots north of the oil refinery. According to this investigation, growth losses were confined to a limited area; nevertheless, further research is needed for determining the real scope of influence.

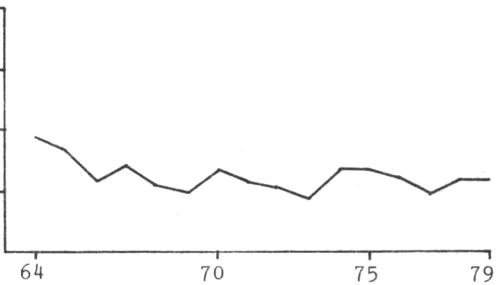
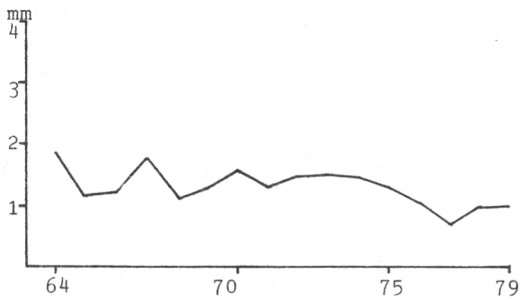
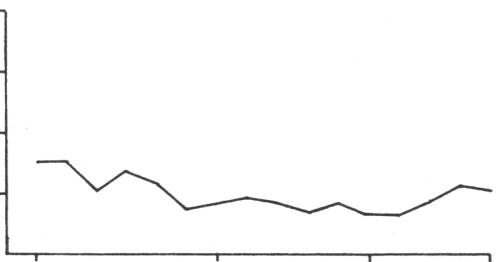
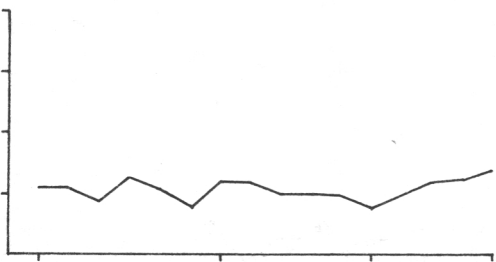
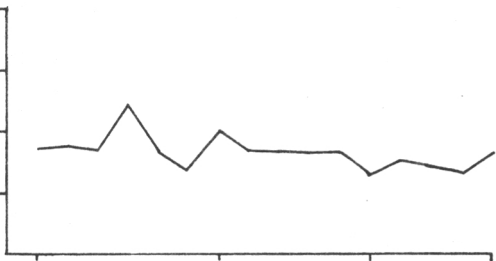
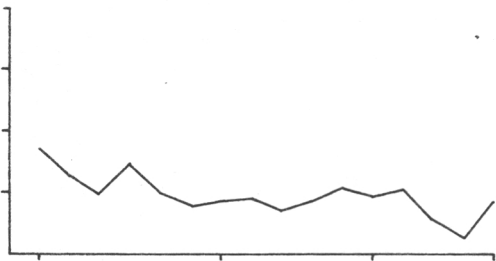
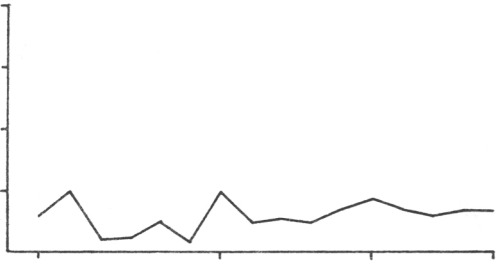
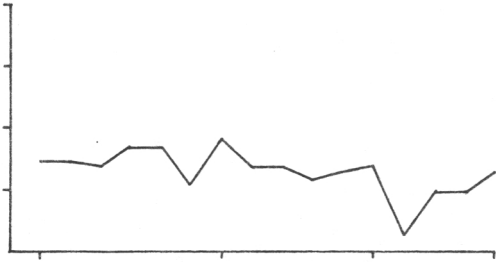
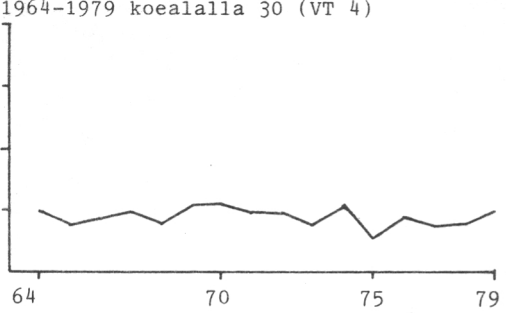
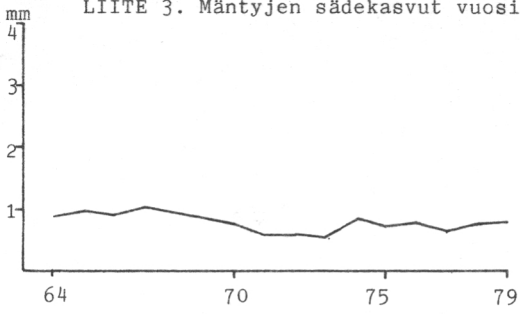
Esimerkki iän vaikutuksesta männyn ja kuusen sädekasvuun
maan eteläpuoliskolla



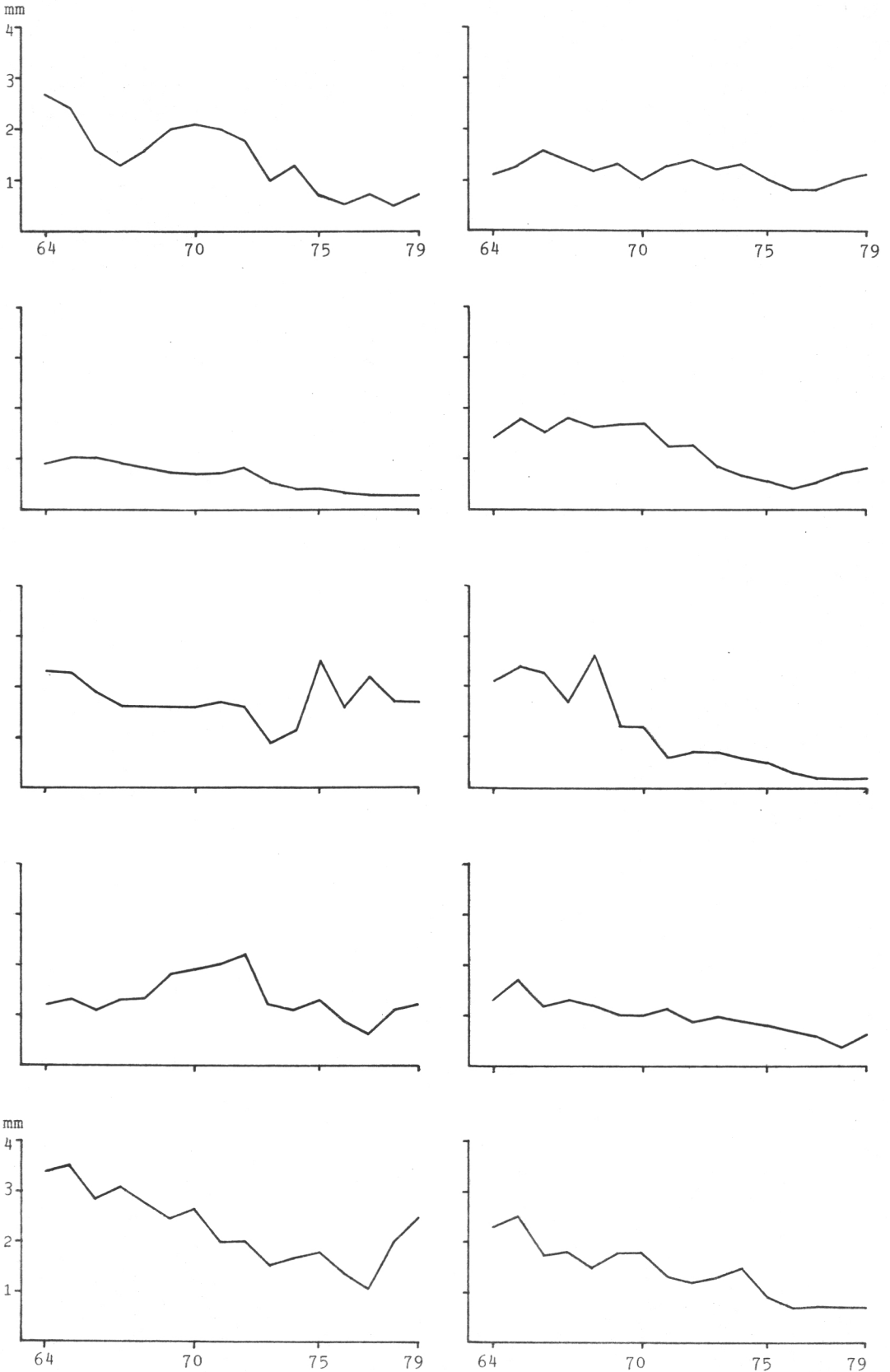
LIITE 2. Mäntyjen sädekasvut vuosina 1964-1979 koealalla 21 (VT 2)



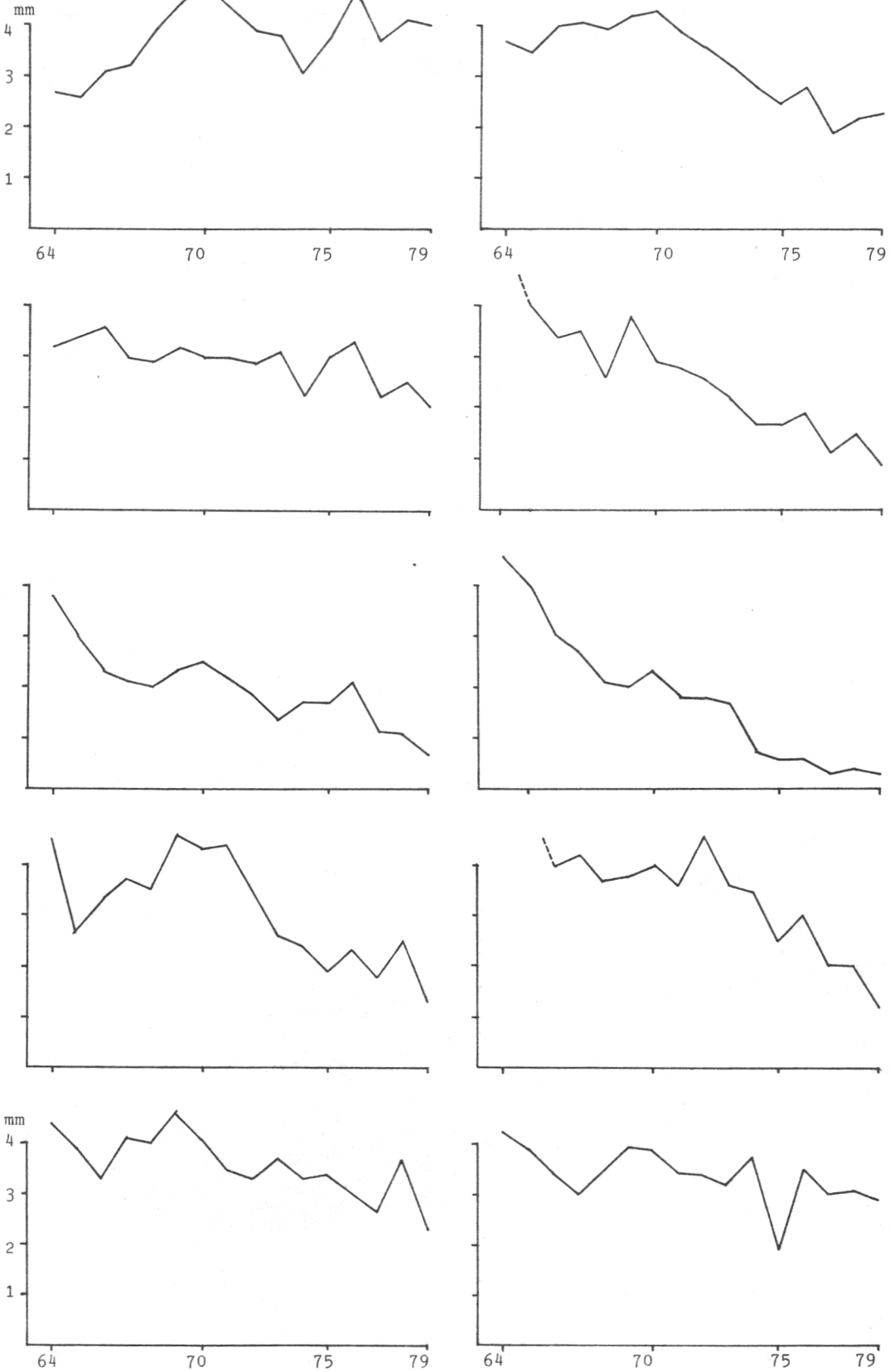
LIITE 3. Mäntyjen sädekasvut vuosina 1964-1979 koealalla 30 (VT 4)



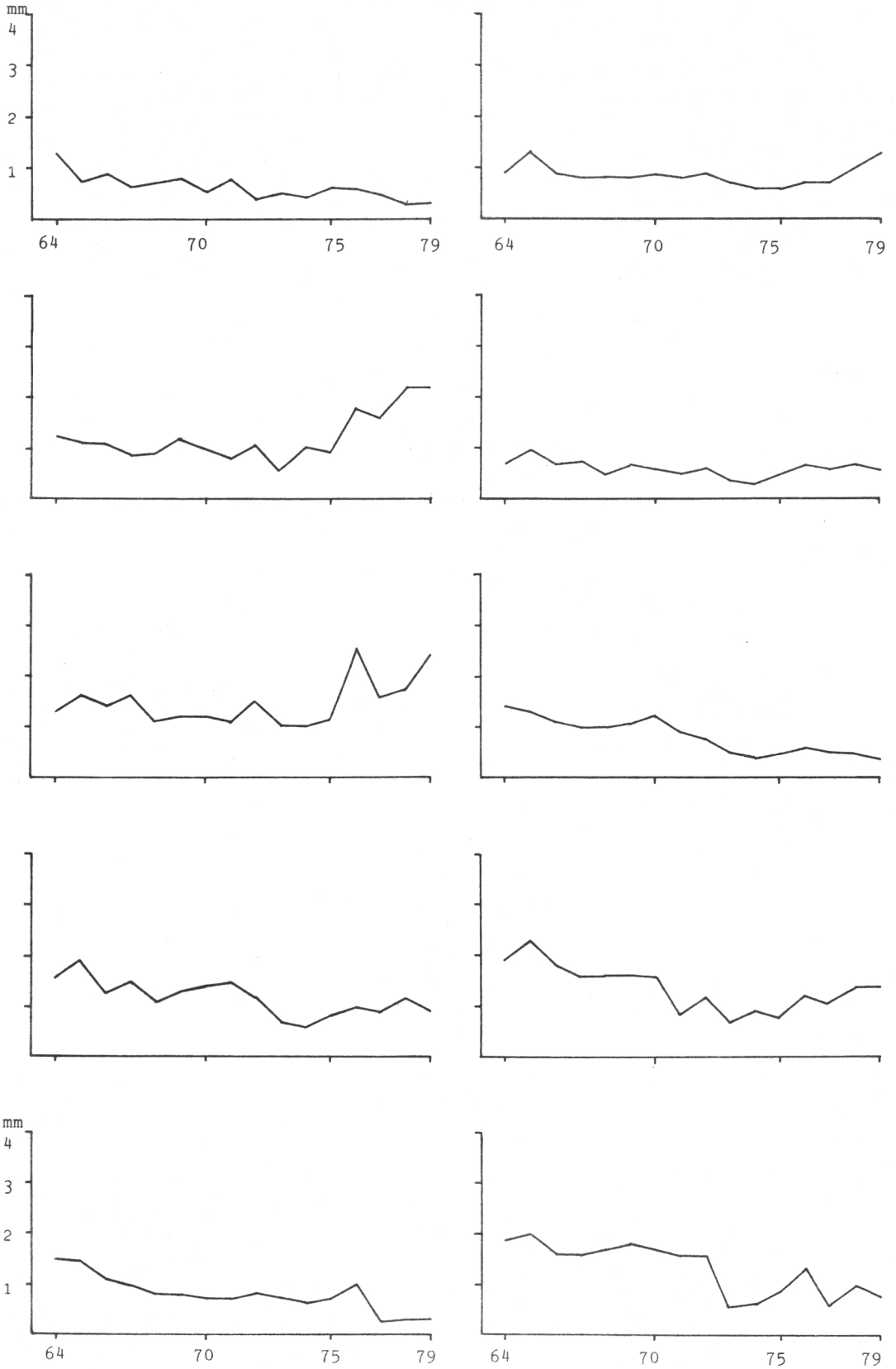
LIITE 4. Kuusien sädekasvut vuosina 1964-1979 koelalla 18 (OMT 4)



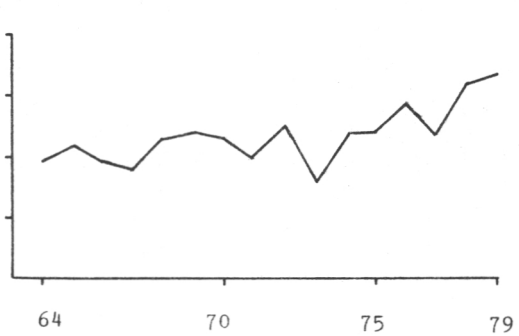
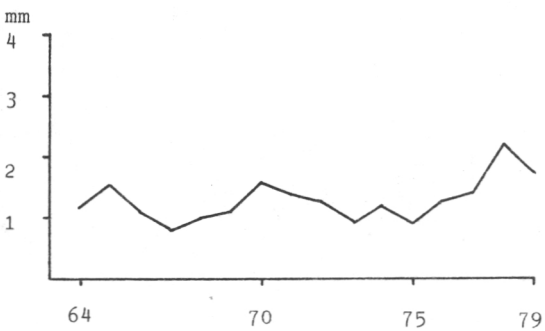
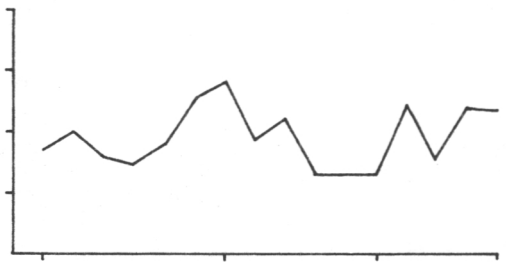
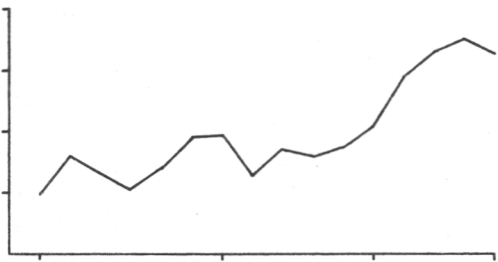
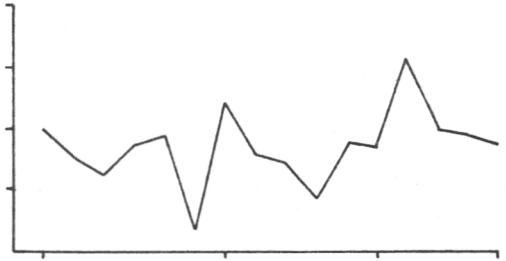
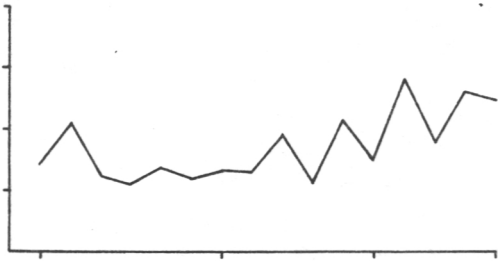
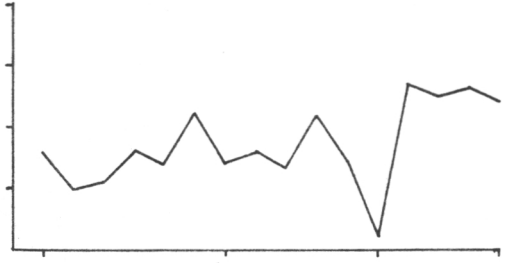
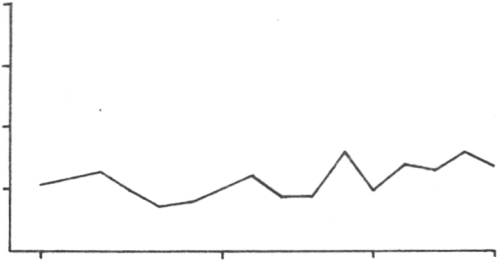
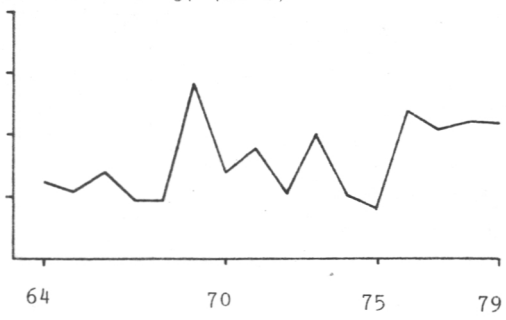
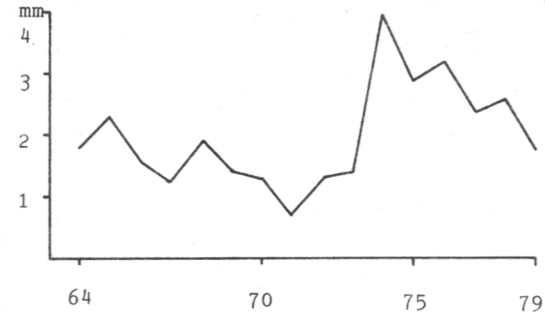
LIITE 5. Kuusien sädekasvut vuosina 1964-1979 koealalla 22 (OMT 2)



LIITE 6. Kuusien sädekasvut vuosina 1964-1979 koealalla 43 (MT 2)



LIITE 7. Kuusien sädekasvut vuosina 1964-1979 koealalla 37 (MT 2)



LIITE 8. Kuusien sädekasvut vuosina 1964-1979 koealalla 25 (OMT 4)

