

## Ilmansaasteiden vaikutus havupuiden kasvuun, esimerkkinä Sköldvikin öljynjalostamon ympäristö

OLAVI HEIKKINEN JA MATTI TIKKANEN

*Maantieteen laitos, Helsingin yliopisto*

*Heikkinen, Olavi & Matti Tikkanen (1981). Ilmansaasteiden vaikutus havupuiden kasvuun, esimerkkinä Sköldvikin öljynjalostamon ympäristö [The effect of air pollution on growth in conifers: an example from the surroundings of the Sköldvik oil refinery]. Terra 93: 4, pp. 133—144. English summary.*

Increasing air pollution from local sources and long-distance transport is becoming an ever more serious threat to the natural environment in Finland, as in other countries, and the effects of such pollution are to be seen most clearly in the areas around individual industrial sites and major centres of population. A study is made here of the nature and extent of the effects of air pollution on the growth of conifers, taking as an example the impact which the effluent from the largest oil refinery in Finland, that at Sköldvik, has had on the growth of spruce in its immediate surroundings. Growth is found to have slowed down markedly since the refinery began operations, at least in the direction of the prevailing winds.

Mr. *Olavi Heikkinen* and mr. *Matti Tikkanen*, Department of Geography, University of Helsinki, Hallituskatu 11—13, SF-00100 Helsinki 10, Finland.

Tässä artikkelissa tarkastellaan, millä tavalla ja missä määrin ilmansaasteet heikentävät puiden kasvuedellytyksiä. Erityistä huomiota kiinnitetään siihen, miten epäpuhtaudet vaikuttavat puiden paksuuskasvuun. Tarkastelun kohteena ovat lähes pelkästään havupuut, koska ne ovat poikkeuksellisen herkkiä saasteille ja koska niiden taloudellinen merkitys on ainakin Suomessa lehtipuita suurempi. Esimerkkitapauksena käsitellään Sköldvikissä sijaitsevien Neste Oy:n Porvoon tuotantolaitosten päästöjen vaikutusta lähi-alueensa kuusten kasvuun.

Päästöjen vaikutusta pyritään selvittämään vertaamalla Sköldvikin teollisuusalueen kuusten paksuuskasvussa tapahtuneita muutoksia etäällä pistemäisistä saastelähteistä sijaitsevan Sipoonkorven kuusten paksuuskasvumuutoksiin. Kaukokulkeutuneiden ilmansaasteiden vaikutuksen voidaan olettaa

olevan molemmilla alueilla suurinpiirtein samanlaisen. Vertailu tehdään vuotuista sädekasvua kuvastavia puulustosarjoja analysoimalla. Koska 30 vuotta edustavat puulustosarjat alkavat jo vuodelta 1951, niiden avulla voidaan selvittää vuonna 1963 käynnistyneen Sköldvikin rakennustoiminnan ja sitä seuranneen öljynjalostuksen sekä myöhemmin alueelle sijoittuneen muun teollisen toiminnan vaikutusta puiden kasvuun. Saatuja tuloksia verrataan myös Huikarin (1975, 1980) Sköldvikin ympäristöstä saamiin tuloksiin.

*Puiden kasvu ja sitä säätelevät ulkoiset tekijät*

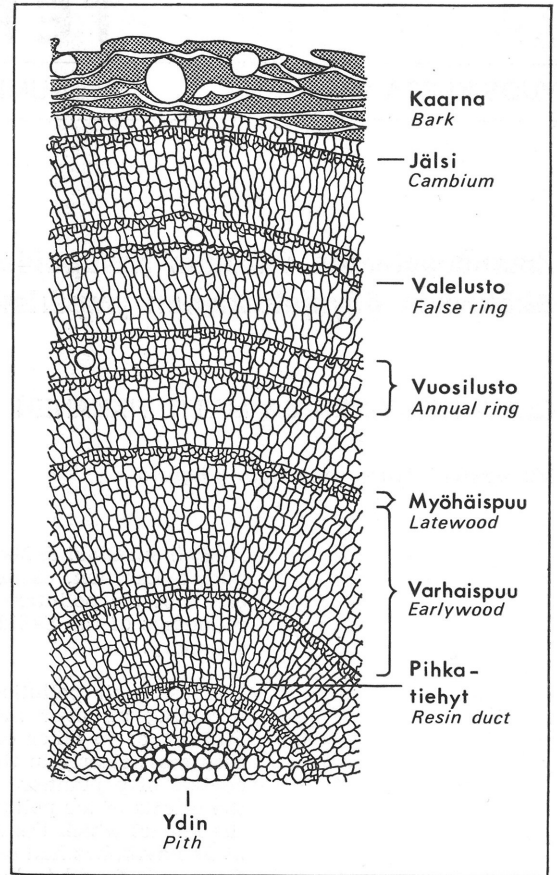
Puiden paksuuskasvusta puhuttaessa tulevat luonnostaan mieleen rengasmaiset puulustot, vuosilustot, joiden lukumäärästä saa-

daan selville mm. puiden ikä. Yksittäisten lustojen leveyden perusteella taas voidaan päätellä, milloin puu koki lihavia, milloin laihoja vuosia. Kotoisten puittemme vuosilustot kertovat enemmänkin, kun vain niitä osataan lukea oikein. Troppiikin puut eivät sen sijaan yleensä paljasta menneisyyttään; ne eivät juuri lustoja kasvata.

Puihin muodostuu lustoja niillä ilmastollisilla alueilla, missä kesä ja talvi tai sade- ja kuivakausi vuorottelevat säännöllisesti. Pääosa puulustosta syntyy vuotuisen kasvukauden alussa. Tätä vaaleaa suurisoluista lustonosaa sanotaan kevätpuiksi tai varhaispuiksi. Myöhemmin syntyvää tummaa pienisoluista lustonosaa nimitetään kesäpuiksi tai myöhäispuiksi. Kesäpuun ja seuraavan vuoden kevätpuun välinen raja on etenkin havupuilla erittäin jyrkkä.

Kevätpuusta ja kesäpuusta koostuva puulusto edustaa aina yhden vuoden paksuuskasvua. Kyseessä on siis todella vuosilusto. Joskus kasvukauden alkuun osuva tuhoisa halla, kuivuus, kasvitaudit tai tuhoeläimet saattavat johtaa siihen, ettei lustoja kyseisenä vuonna kehity lainkaan (esim. Röthlisberger 1976). Jos taas tuhot keskeyttävät suotuisana alkaneen kasvukauden, saattaa puu kasvattaa samana vuonna kaksi lustoja (kuva 1., Fritts 1976: 20—22). Kahden puuluston syntyminen vuoden aikana on jopa säännönmukaisuus alueilla, missä on kaksi sade- ja kuivakautta vuodessa.

Puiden elämä ja kasvu perustuvat ennen muuta yhteyttämiseen, jolla tarkoitetaan lähinnä fotosynteesiä. Siinä maasta imetty vesi ja ilmakehästä otettu hiilidioksidi muuttuvat auringon energian voimalla hiilihydraateiksi. Fotosynteesin teho eli hiilihydraattien tuotto-kyky riippuu luonnollisesti reaktion komponenteista: auringon säteilyn voimakkuudesta, veden saannista sekä ilman hiilidioksidimäärästä. Myös ilmasto-olot, kuten lämpötila, ovat tärkeitä. Koska varsinaiset fotosynteesireaktiot tapahtuvat viherhiukkasissa, on myös niiden toimintakyky nopean fotosynteesin edellytys. Luonnollisesti myös maaperän ravinteisuudella on kasvuedellytyksiä säätelevä merkitys. Tarvitsevathan kasvit alustaan myös liuenneita epäorgaanisia ravinteita orgaanisten yhdisteittensä valmistamiseen. Koska maaperän ravinteiden luovuttamiskyky saattaa olla hyvin erilainen, myös tällä tekijällä on suuri vaikutus puiden toistaan poikkeavaan kasvuun. Ulkoisten tekijöiden lisäksi puiden kasvuun ja kasvun



Kuva 1. Kaavakuva nuoren havupuun rungon solurakenteesta (Fritts 1976 mukaan). Varhais- eli kevätpuu koostuu suurista ja suhteellisen ohutseinäisistä, myöhäis- eli kesäpuu taas pienistä ja paksuseinäisistä putkisoluista, jotka ovat puun valitsevaa solukkoa. Trakeidien paksuuden vaihtelut voivat aiheuttaa valeluston synnyn joko varhais- tai myöhäispuussa.

Fig. 1. Diagram of the cell structure of the trunk of a young conifer (after Fritts 1976). The early (or spring) wood is composed of large, relatively thin-walled tracheids and the late (or summer) wood of small, thick-walled cells. These form the dominant cell structure of the xylem. Variations in the thickness of the tracheids can give rise to false rings in either the early or late wood.

vaihteluihin vaikuttavat myös kasvin sisäiset tekijät (esim. Hustich 1978).

Luonnollisten tekijöiden ohella myös ihmisen suunnitelmallinen tai tahaton toiminta vaikuttavat yhä lisääntyvästi kasvuolosuhteisiin. Kiihtyvä fossiilisten polttoaineiden (öljy, kivihiili) käyttö kasvattaa jatkuvasti ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta, mikä periaatteessa tehostaa fotosynteesiä. Koska hiilidioksidi pidättää osan maapallolta avaruuteen ta-

kaisin heijastuvasta pitkäaaltoisesta säteilystä, hiilidioksidin lisääntyminen johtaa ilma-kehän lämpenemiseen (Eronen 1980: 159—161). Vaikka keinotekoisesti aikaansaadulla ilmaston lämpenemisellä saattaa olla tuhoisa vaikutus maapallon luonnon tasapainoon, se edistää ainakin pohjoisten metsien puuntuottoa.

Fossiilisten polttoaineiden käyttö vaikuttaa puiden kasvuun myös monella muulla tavalla. Öljyä ja kivihiihlä poltettaessa vapautuu ilmaan runsaasti rikin oksideja, erityisesti rikkidioksidia ( $\text{SO}_2$ ), mikä voi vaurioittaa mm. kasvien fotosynteesikeskuksina toimivia viherhiukkasia (Tuovinen ym. 1978). Rikkidioksidista kuten muistakin ilmansaasteista kärsivät etenkin ne havupuut, jotka eivät pudota vuosittain neulasiaan (esim. kuusi ja mänty). Näillä ikivihreillä puilla yhteyttämistä lamaannuttava saastevaikutus kumuloi- tuu toisin kuin esimerkiksi lehtipuillamme. Maahan laskeutuvat rikkipäästöt muuttavat myös maaperän pH-arvoja ja sitä kautta kasvien ravinteiden saatavuutta.

Tärkeimmät havupuita vaurioittavat ilmansaasteet rikkidioksidien lisäksi ovat kaasumaiset fluoriyhdisteet sekä typen oksidit. Myös ammoniakki, klooriyhdisteet ja hiilivedyt ovat haitallisia. Ilmansaasteiden vaikutuksesta havupuiden kunto huononee. Siksi saasteiden vaikutuksen alaiset puut ovat myös normaalia alttiimpia kasvitaudeille ja tuhohyönteisille (Huttunen 1977).

Ihmisen toiminta muuttaa puiden alustana olevaa maaperää luonnollisesti muutenkin kuin esimerkiksi edellä mainittujen rikkilaskeutumien kautta. Harkitsemattomat hakkuut kuivilla ja eroosioherkillä alueilla tuhoavat metsän kasvua ja kylmillä alueilla peräännyttävät polaarista ja alpiinista metsänrajaa. Toisaalta lannoitus ja soistuneiden alueiden ojittaminen parantavat puiden kasvumahdollisuuksia. Lannoituksen on myös havaittu aiheuttavan ainakin havupuiden kasvunopeuden lisääntymistä silloinkin, kun puut ovat jo kärsineet vakavia  $\text{SO}_2$ -vaurioita (Björkman 1970).

#### *Rikkidioksidin aiheuttamien kasvuvaurioiden tutkimustapoja*

Rikkidioksidi on merkittävin havupuiden kasvua heikentävä ilmansaaste. Näin siksi, että rikkidioksidipäästöt ovat suuria ja niiden vaikutus on nykyisin hyvin laaja-alaista. Eri-tyisen yleinen haittatekijä rikkidioksidi on

teollisuus- ja taajama-alueilla. Kuusi näyttää olevan rikkidioksidille vielä herkempi kuin mänty (Björkman 1970: 41). Kenttätutkimuk- sissa on yleensä mahdotonta tarkkaan osoit- ta esimerkiksi rikkidioksidin aiheuttamia oi- reita ja vaurioita, koska alueen puihin vai- kuttavat yleensä samanaikaisesti muutkin il- mansaasteet (Hällgren & Nyman 1977). Toi- saalta monien kaasumaisten epäpuhtauksien kuten rikkidioksidin, fluoriyhdisteiden ja ty- pen oksidien vaikutukset ovat monessa suh- teessa samankaltaisia, joskin myös selviä vai- kutustapaeroja on havaittu (vrt. esim. Havas 1971, 1972; Soikkeli & Tuovinen 1979).

Kasvien reaktiot rikkidioksidin kanssa ta- pahtuvat perimmältään molekyyylitasolla, mutta  $\text{SO}_2$ :n vaikutusta on tarkoituksenmu- kaista tutkia monella eri tavalla. Tutkimus voidaan kohdistaa (1) solujen biologisiin toi- mintoihin, (2) kasvin fysiologisiin toimintoi- hin; mitataan fotosynteesiä, hengitystä jne., (3) esim. neulasten rikkipitoisuuksien mää- rittämiseen ja (4) puiden silminhavaittavien vaurioiden analysoimiseen (neulasten kellas- tuminen, vuosilustojen kapeneminen jne.) (vrt. Kärenlampi & Soikkeli 1979). Kohtien yksi ja kaksi asiat kuuluvat lähinnä biologien tutkimusalaan. Etenkin kohtien kolme ja neljä ongelmiin voi puuttua myös maantie- teijä.

#### *Tutkimustyön taustaa ja tuloksia*

Rikkidioksidin ja muiden teollisuuden päästöjen metsille aiheuttamia haittoja on tutkittu jo pitkään erityisesti Keski-Euroo- passa, esimerkiksi Saksan Liittotasavallassa, Tšekkoslovakiassa ja Itävallassa. Myös Poh- jois-Amerikassa on ongelmaa selvitelty voi- maperäisesti. Ensimmäinen saksalainen jul- kaisu teollisuussavujen vaikutuksesta kuusen ja männyn kasvuun lienee vuodelta 1853 (Stöckhardt). Suomessa ilmenneitä saaste- vaurioita on tutkittu vasta 1960-luvun puoli- välistä alkaen. Ilmeisesti ensimmäiset havu- puuvauriot kirjattiin Suomessa Harjavallassa vuonna 1946 (Huttunen 1977).

Suomalaisten tutkimukset käynnistyivät niihin aikoihin, jolloin ilmansaasteiden valta- kuntien laajuiset haittavaikutukset olivat jo tiedossa. Jo 1960-luvulla tehdyt mittaukset näet osoittivat, että Euroopan sadevedet kä- vivät yhä happamemmiksi. Muutoksen syyk- si todettiin ilmakehässä hyvinkin pitkiä mat- koja liikkuvat saasteet. Esimerkiksi Skandi-

navian happosateiden syyksi katsottiin lähinnä Keski-Euroopan teollisuuskeskuksissa käytettävät fossiiliset polttoaineet, kivihiili ja öljy. Niitä poltettaessa vapautuva rikki kulkeutuu etenkin rikkidioksidina mutta myös sulfaattihiukkasina ilmapirtausten mukana jopa monia satoja kilometrejä. Kun rikki tulee lopulta alas sateiden mukana rikkihappona, syntyy happamia sateita. Monet muutkin epäpuhtaudet kulkeutuvat ilmapirtausten mukana rikin tavoin (Jokinen & Häkkinen 1977).

Puiden kasvua heikentävät ilmansaasteet ovat siis osittain kansainvälinen ongelma, jonka alueellisia haittavaikutuksia on vaikea arvioida tarkkaan. Arviointia hankaloittaa mm. se, että teollistuneilla alueilla on myös omia paikallisia saastelähteitä. Huttusen (1981) mukaan esim. Uudellamaalla Porvoon maalaiskunnassa, Helsingin alueella sekä Inkoossa on havaittavissa selviä suurten rikkipitoisuuksien keskittymiä havupuiden neulasissa. Esimerkiksi Sköldvikin ympäristössä Porvoon maalaiskunnassa rikkipitoisuudet neulasissa ovat 75—100 % suurempia kuin vertailualueella Oulun läänissä; vastaavasti Sipoonkorven alueen pitoisuudet ovat vain 25—50 % Oulun läänin vertailualueita suurempia. Tutkijan onkin usein vaikea osoittaa, missä määrin kaukokulkeutuneet ja missä määrin paikalliset ilman epäpuhtaudet vaikuttavat puunkasvuun. Niin ikään on usein hankala eritellä eri saastukkeiden haittavaikutuksia, koska ilmakehässä on usein runsaasti monia puunkasvua vaurioittavia kemiallisia yhdisteitä.

Yleensä ottaen paikallisen teollisuuslaitoksen vaikutusta puunkasvuun voidaan tutkia paljon tarkemmin kuin kaukaa kulkeutuneiden päästöjen vaikutusta. Näin varsinkin silloin kun teollisuuslaitos sijaitsee muutoin suhteellisen puhtaassa ympäristössä. Tällöin päästöjen vaikutusalue on melko hyvin rajattavissa. Jos lisäksi tehdään perustamisajankohta sekä päästöjen koostumus ja vuotuiset määrät tiedetään, voidaan tehdään vaikutusta puiden kasvuun tutkia varsin luotettavasti.

Tutkimuksissa on pystytty pitkälle selvittämään esim. rikkidioksidin vaikutustapoja havupuiden kasvutapahtumaan. Rikkidioksidi tunkeutuu kasviin yleensä neulasten ilma-  
raoista. Niinpä ilmarakojen huulisolut, joihin rikkidioksidia näin kertyy, vaurioituvat tavallisesti ensimmäiseksi, mikä heikentää ilmarakojen kautta tapahtuvaa normaalia kaasunvaihtoa (Huttunen 1977; Tuovinen ym. 1978; Soikkeli & Tuovinen 1979; Kärenlam-

pi & Huttunen 1980). Neulassolukkoon pääsyt rikkidioksidi liukenee veteen ja muuttuu mm. sulfiitiksi tai bisulfiitiksi, jotka saattavat sekoittaa solun aineenvaihdunnan, vaurioittaa entsyymejä ja järkyttää vesitasapainoa (Huttunen 1977). Myös viherhiukkaset vaurioituvat niin, että fotosynteesi voi käydä lähes mahdottomaksi (Soikkeli & Tuovinen 1979: 62). Tämän seurauksena neulaset varisevat puusta ennen aikojaan. Koska yhteyttämisen teho täten laskee, myös luston kasvu luonnollisesti hidastuu. Kaiken tämän seurauksena puun kunto heikkenee. Puu kituu ja lopulta kuolee, mikäli saastemäärät ovat riittävän suuria ja vaikutus kyllin pitkäaikainen.

Mikäli rikkidioksidikonsentraatiot ovat vähäisiä, seuraukset ovat hitaampia ja näkymättömämpiä eivätkä ehkä aiheuta puun enenaikaista kuolemaa. Mutta verraten vähäisetkin rikkidioksidimäärät hidastavat ajan mittaan puunkasvua ja heikentävät puiden kuntoa. Esimerkiksi neulasvauriot saattavat olla vielä silmälle näkymättömiä, vaikka puun kasvutappiot olisivat jo 5—10 % (Huttunen 1977).

Sulanaika on luonnollisesti puiden vilkainta aineenvaihdunnan aikaa. Silti ainakin Pohjois-Suomessa (Oulun Typpitehtaan alueella) tehdyissä tutkimuksissa (esim. Havas 1971) on todettu, että männyn neulasten lopulliseen tuhoon johtaneet tapahtumat alkoivat jo talvella, vaikkakin vähäisen talvisen aiheenvaihdunnan vuoksi vauriot tulivat näkyviin vasta keväällä ilmojen lämmitessä. Näin näyttää olevan ainakin pohjoisessa, missä talvi on erityisen ankara. Vaurioituneiden havupuiden talvenkestokyky saattaa huonontua mm. siksi, että saastuneilla alueilla kesäpuu (myöhäispuu) jatkaa kasvuaan pitkälle syksyyn, koska kesäpuu voi olla jopa kevätpuuta paksumpi (Havas & Huttunen 1972). Myöhään kasvava puu ei ole varustautunut ankaraan talveen, joten esim. puun vesitalous voi joutua kylmän kauden aikana kohtalokkaaseen kriisiin, jonka vasta uusi kasvukausi paljastaa.

Pistemäisten saastelähteiden ympäristössä voidaan varsin yleisesti havaita, että yksittäiset puut tai metsänreunan puut vaurioituvat pahiten (esim. Havas 1971, 1972). On myös aivan tavallista, että puun saastelähteen puoleinen oksisto on vaurioitunut enemmän kuin suojapuolen oksisto (Kärenlampi & Huttunen 1980). Niin ikään kukkuloiden tehdaslaitokseen päin avautuvilla rinteillä kasvavat puut kärsivät ilmansaasteista enemmän

kuin suojarinteillä ja laaksopainanteissa kasvavat puut. Puut tai niiden osat vaurioituvat siis sitä enemmän, mitä esteettömämmin myrkylliset kaasut pääsevät niihin vaikuttamaan.

Edellä on jo todettu, että eri puulajien saasteenkestävyys on erilainen. Lisäksi on havaittu selviä lajin sisäisiä yksilöeroja (mm. Björkman 1970; Hällgren & Nyman 1977). Havas ja Huttunen (1972: 367) otaksuvat Oulun Typpitehtaan alueella tekemiensä tutkimusten perusteella, että ainakin männyn kohdalla 55—100-vuotiaat puut lienevät parhaita ilmansaasteiden indikoijia. Huomattavien yksilöllisten erojen vuoksi näyteitä tulisi ottaa monista puista, jotta saasteiden keskimääräinen vaikutus tulisi esille.

#### *Ilmansaasteiden vaikutus kuusten paksuuskasvuun Sköldvikin alueella*

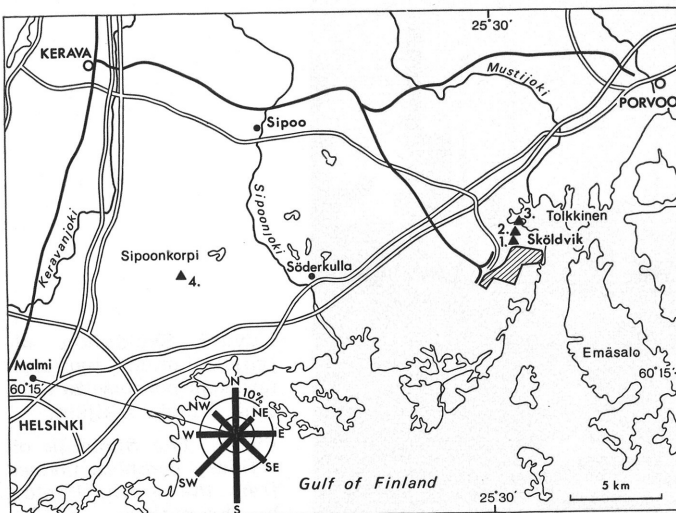
Sköldvikin öljynjalostamon alueella on mänty yleisin puulaji. Lähes maapeitteettömiä kalliokohoumia lukuun ottamatta myös kuusi on jokseenkin yleinen puu. Kuusi on valittu tutkittavaksi puulajiksi mm. siksi, että se on ilmansaasteille ilmeisesti mäntyäkin herkempi. Työssä tutkitaan kuusen paksuuskasvua vuosilustoja analyoimalla. Sköldvikin näytekusten sädekasvua verrataan suhteellisen puhtaalla alueella kasvavien Sipoonkorven kuusten sädekasvuun. Tarkasteltavana on 30-vuotiskausi 1951—80.

Puiden ja muun metsäkasvillisuuden menestymistä Sköldvikin tuotantolaitosten lähiympäristössä on tutkinut aikaisemmin Huika-

ri (1975, 1980) Neste Oy:n toimeksiannosta. Huikari selvitti mm. puiden paksuuskasvua peräti 800 koepuusta, 20 koealalta. Kasvuseuranta käsitti 15 vuotisen periodin. Tutkimuksen mukaan teollisuudella on ollut toistaiseksi vähäinen vaikutus metsäkasvillisuuteen. Niinpä Huikari (1975) toteaa mm.: »Suurimmalla osalla tutkimuskoealoista on puusto parantanut kasvuaan teollisuuden perustamisen jälkeisenä ajanjaksona. Mikäli Neste Oy:n teollisuuslaitoksella olisi esim. poistokaasujen aiheuttamaa negatiivista vaikutusta prosessialueen ympäristön metsiin, olisi se tullut nyt kerättyä ja käsitellyssä materiaalissa esille. Materiaali ei anna mitään perustetta tällaisten päätelmien tekemiseen».

#### *Sköldvikin alueen sijainti ja teollisuuden päästöt*

Neste Oy:n Porvoon tuotantolaitokset sijaitsevat Svartbäckinselkään idässä rajautuvalla leveällä niemellä Suomenlahden rannalla (kuva 2). Alue kuuluu pääosin Porvoon maalaiskuntaan, mutta osittain myös Sipooseen. Niemi on laajalti kallioista ja topografialtaan voimakkaasti kumpuilevaa. Irtaimia maalajeja on yleensä niukalti; vahvimmat kerrostumat sijaitsevat kallioperän murroslinjojen alavissa painanteissa. Maanpinta kohoaa yleensä 10—30 m merenpinnasta korkeimpien kohtien lähennellessä 50 metriä. Alkuperäinen topografia on tosin laajoilta alueilta hävinnyt tuotantolaitosten rakentamisen yhteydessä.



Kuva 2. Näytteiden ottoalueiden sijainti (mustat kolmiot). Sköldvikin teollisuusalue on merkitty kuvaan viivoniivoituksella. Paksut viivat kuvaavat rautateitä ja kaksoisviivat suurimpia maanteitä. Vuoden keskimääräistä tuulensuuntien jakaantumista Malmilla esittävä tuuliruusu perustuu Heinin (1976) kaudelta 1961—75 kokoamaan aineistoon.

Fig. 2. Location of the sampling sites. The shaded area indicates the Sköldvik industrial complex, the thick lines railways and double lines major roads. The mean annual wind direction diagram for the Malmi is based on the material compiled by Heino (1976) for the period 1961—75.

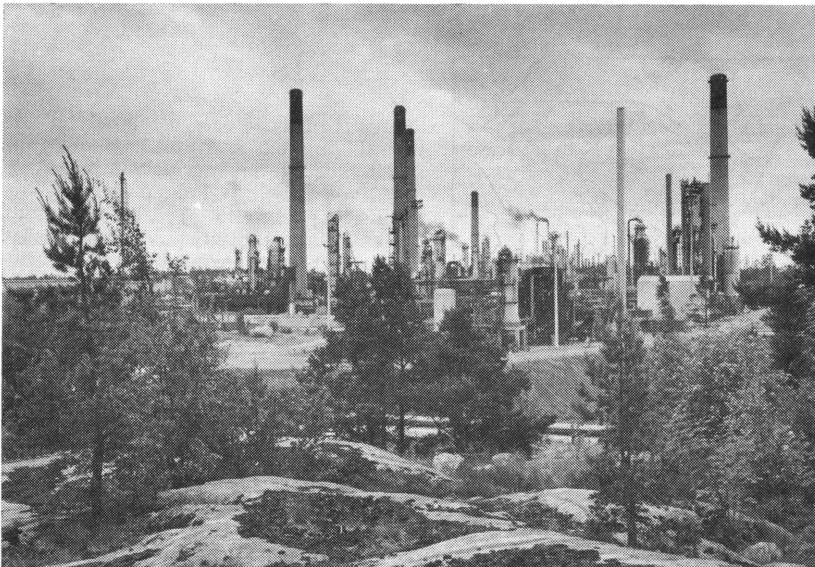
Tuotantolaitokset sijaitsevat ympäristössä, joka on alunperin ollut harvaanasuttua, lähes luonnontilaista maaseutua. Lähin merkittävä teollisuuslaitos sijaitsee Tolkkisissa noin kolme kilometriä Sköldvikistä koilliseen. Vaikka Sköldvikistä ei ole saatavissa havaintoja tuulensuunnista, voidaan olettaa, että täälläkin ovat vallitsevia etelä- ja lounaisuulet samaan tapaan kuin esim. Helsingin seudulla (ks. kuva 2). Kun teollisuusaluetta saartaa myös pohjoisessa merenlahti, joutuvat tuotantolaitosten emissiot laajemmalti metsän kanssa kosketuksiin vallitsevien tuulten suunnassa vasta lahden pohjoisrannoilla, n. 2—3 kilometrin päässä tuotantolaitoksista. Tuotantolaitosten välittömässä läheisyydessä pohjoisessa on enemmälti havumetsää ainoastaan Rilaxbergetin ympäristössä. Tässä työssä käytetty aineisto onkin kerätty juuri tähän suuntaan avautuvalta vyöhykkeeltä.

Öljynjalostamon rakentaminen aloitettiin 1963. I- ja II-vaiheet vihittiin käyttöön syksyllä 1966, mutta öljynjalostustoiminta oli käynnistynyt alueella jo sitä ennen. Myöhemmin valmistuivat III-vaihe 1968 ja IV-vaihe 1972 sekä B-jalostamo 1975 (kuva 3). Lisäksi alueelle on rakennettu 1970-luvun alussa mm. bitumilaitos, eteenilaitos ja höyryvoimalaitos. Alueella sijaitsevat myös nykyisin Neste Oy:n omistukseen siirtyneet Pekema Oy:n, Stymer Oy:n ja Kemin Oy:n petrokemian tuotantolaitokset.

Öljynjalostamon päästöistä ovat huomattavimpia rikin oksidit, hiilivedyt, typen oksidit,

hiukkaset ja rikkivety. Petrokemiaallinen teollisuus päästää ilmaan edellisten lisäksi mm. eteeniä, vinyylidikloridia, pentaania, styreeniä sekä orgaanisia aineksia (Oy Yhdyskuntatekninen toimisto Ab 1978). Alueen puunkasvun kannalta ehkä vaikeimman ongelman muodostavat rikin oksidit, lähinnä  $\text{SO}_2$ . Eräiden arvioiden mukaan koko Sköldvikin alueen vuotuiset  $\text{SO}_2$ -päästöt olisivat jopa 90 000 tn (Huttunen 1981). Öljynjalostamatoimintaan liittyvien  $\text{SO}_2$ -päästöjen määrä on Neste Oy:n oman ilmoituksen mukaan ollut esim. vuonna 1973 88 500 kg/d ja vuonna 1978 60 000 kg/d. Typen oksideja pääsi ilmaan vuonna 1973 puolestaan 18 000 kg/d (IUSKL 1979).

Tehtyjen tutkimusten mukaan rikin oksidien pitkäaikaisemissioiden ei ole todettu ylittäneen Valtion ilmansuojelu- ja meluntorjuntatoimikunnan sekä Lääkintöhallituksen enimmäissuosituksia. Lyhytaikaisia enimmäisarvojen ylityksiä on sen sijaan tapahtunut mm. käyttöhäiriöiden yhteydessä useinkin (Oy Yhdyskuntatekninen toimisto Ab 1978). Neste Oy on pyrkinyt vähentämään rikkipäästöjä mm. rakentamalla kaksi rikkivedyn ja rikin talteenottolaitosta, jotka valmistuivat vuosina 1972 ja 1975. Jalostamon pitkät, jopa 106 metrin korkeuteen yltävät savupiiput saavat puolestaan aikaan sen, että poistokaasut kulkeutuvat helposti pois alueelta ja leviävät laajalle ympäristöön, jolloin niiden vaikutus laimenee.



Kuva 3. Sköldvikin öljynjalostamon tuotantolaitoksia pohjoisesta nähtynä. Valok. tekijäin.

Fig. 3. The Sköldvik oil refinery complex viewed from the north. Photog. by the authors.

### Näytteiden otto ja käsittely

Sköldvikin alueen näytteenottoaikoja on kolme (ks. kuva 2). Ne sijaitsevat noin 400 m, 900 m ja 1600 m tuotantolaitosten lähimmistä piipuista pohjoiseen. Tutkitut puut ovat näin ollen alttiina vallitseville etelä- ja lounaistuulille. 400 metrin etäisyydellä sijaitseva tutkimuskohde on tuotantolaitosten suuntaan viettävällä rinteellä noin 30 m mpy., 900 metrin päässä oleva kohde sijaitsee alle 20 m mpy. notkelman suojarinteellä ja 1600 metrin etäisyydellä oleva näytteenottoaika noin 30 m mpy. kohoavan kukkulan lakiosan tuntumassa. Kaikista kolmesta paikasta kairattiin näytelastut neljästä ulkoisesti varsin hyväkuntoisesta kuusesta. Puiden kairaus suoritettiin rinnan korkeudelta öljynjalostamon puoleiselta rungon osalta (kuva 4). Näytekuuset olivat yleensä 50—70 vuotiaita, tosin lähinnä teollisuusaluetta kasvavat näytepuut olivat hieman alle 50 vuotta vanhoja. Sipoonkorvesta otetut vertailunäytteet kairattiin kuudesta, niin ikään 50—70 vuotiaasta kuusesta, jotka kasvavat karuhkolla moreeni-peitteisellä rinteellä samaan tapaan kuin Sköldvikinkin tutkitut puut. Kaikki näytteet otettiin lokakuussa 1980.

Vuosilustojen leveydet mitattiin kairatuista puulustoista Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksella, tehtävään suunnitellulla puulustomikroskoopilla. Lustojen leveys pystyttiin mittaamaan sadasosamillimetrin tarkkuudella. Näin voitiin laatia jokaiselle näytepuulle absoluuttisiin (mitattuihin) lustonleveysiin perustuvat kronologiat. Näitä kronologioita ei analysissä kuitenkaan käytetty sellaisinaan, vaan absoluuttiset lustonleveydet standardoitiin puukohtaisesti lustonleveysindekseiksi. Tämä tapahtui siten, että kunkin luston mitattu leveys jaettiin kyseisen puun kaikkien laskettujen lustojen leveyksien artimeettisellä keskiarvolla (ks. esim. Heikkinen 1980: 5). Näin jokaisen puun lustonleveysindeksien keskiarvoksi tuli aina yksi. Kun sitten lustojen indeksiarvoita laskettiin näytepaikan kaikkia otospuita koskevat vuosikohtaiset keskiarvot, saatiin koko näytealaa koskevat lustosarjojen keskiarvoindeksit.

Standardoinnin ansiosta kaikki näytepuut saavat yhtäläisen merkityksen lustonleveyskronologiassa. Absoluuttisia kronologioita käytettäessä syystä tai toisesta hitaammin kasvaneet puut saavat vain vähäisen painotuksen, vaikka lustonleveyden suhteellinen vaihtelu olisi niissä hyvinkin suurta. Edellä



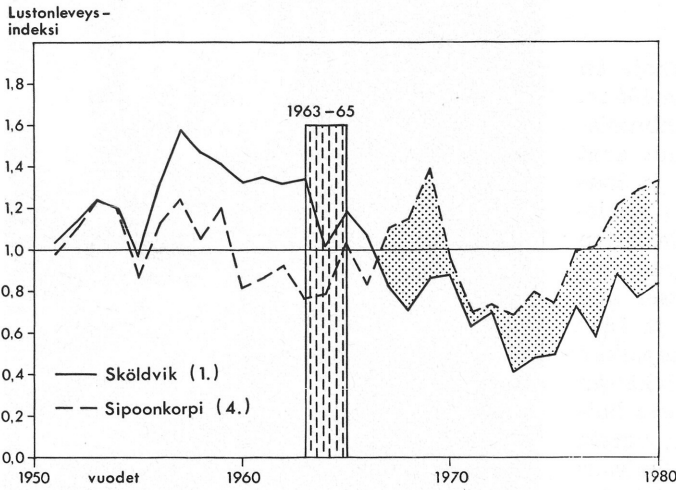
Kuva 4. Näytteet otettiin kasvukairalla rinnan korkeudelta 50—70 vuotiaista, ulkoisesti hyväkuntoisista kuusista, jotka kasvavat moreeni-peitteisillä kalliokohoumien rinteillä.

*Fig. 4. The cores were taken with an increment borer at breast height from apparently healthy spruce trees aged 50—70 years growing on the slopes of till-covered rising ground.*

esitetty lustosarjojen standardointi ei lineaarisen luonteensa vuoksi ota huomioon esimerkiksi iän myötä ilmenevää luonnollista kasvun hidastumista. Koska tutkitut puut ovat kuitenkin keskenään liki samanikäisiä ja siksi suunnilleen samassa kasvuvaiheessa, tällä menetelmällisellä rajoituksella ei ole käytännön merkitystä.

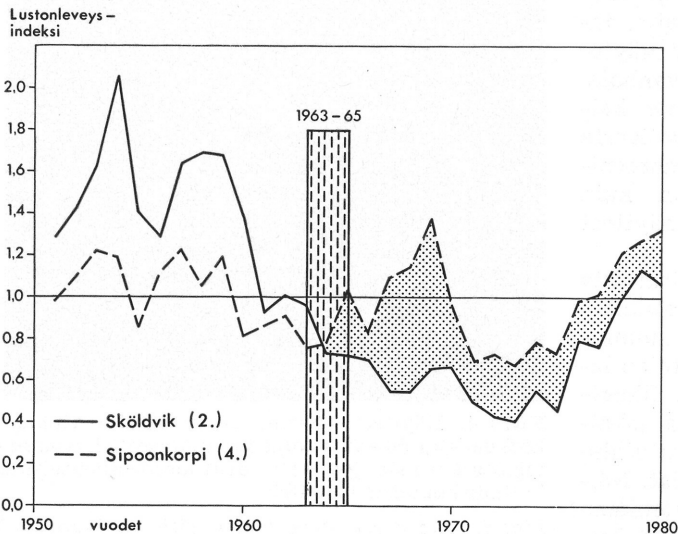
### Tulokset

Saadut tulokset näkyvät kuvista 5, 6 ja 7, joissa on käytetty juuri keskiarvoindeksien muodostamia kronologioita. Kaikista kuvista



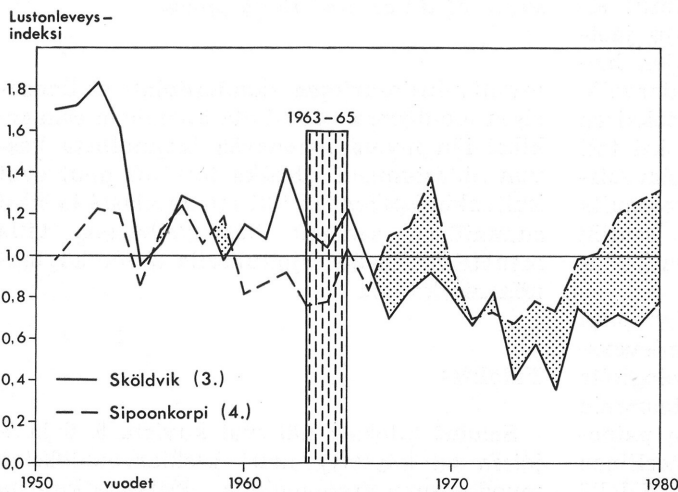
Kuva 5. Näytekuusten keskimääräinen lustonleveysindeksien vaihtelu Sköldvikin alueella n. 400 metrin päässä tuotantolaitoksista pohjoiseen sekä vertailualueella Sipoonkorvessa. Teollisuusalueen ja vertailualueen arvojen välinen negatiivinen ero on kuvattu pisterasterilla. Öljynjalostamon ensimmäisten yksiköiden rakentamisaika (1963—65) on kuvattu pylväällä. Tarkempi selitys tekstissä.

Fig. 5. Variations in mean tree-ring indices at the site 400 m north of Sköldvik and at the control site at Sipoonkorpi. The stippled area denotes the discrepancy in favour of the control site. The years in which the first phase of the oil refinery was constructed, 1963—65, are shown by the shaded column. For details, see Summary.



Kuva 6. Näytekuusten keskimääräinen lustonleveysindeksien vaihtelu Sköldvikin alueella n. 900 metrin päässä tuotantolaitoksista pohjoiseen sekä vertailualueella Sipoonkorvessa. Symbolit kuten kuvassa 5.

Fig. 6. Variations in mean tree-ring indices at the site 900 m north of Sköldvik and at the control site at Sipoonkorpi. For explanation of symbols, see Fig. 5.



Kuva 7. Näytekuusten keskimääräinen lustonleveysindeksien vaihtelu Sköldvikin alueella n. 1600 metrin päässä tuotantolaitoksista pohjoiseen sekä vertailualueella Sipoonkorvessa. Symbolit kuten kuvassa 5.

Fig. 7. Variations in mean tree-ring indices at the site 1600 m north of Sköldvik and at the control site at Sipoonkorpi. For explanation of symbols, see Fig. 5.



voidaan löytää hyvin samansuuntaisia piirteitä. Neste Oy:n tuotantolaitosten perustamiseen saakka Sköldvikin kuusten lustonleveysindeksit ovat keskimäärin selvästi suurempia kuin vertailualueella Sipoonkorvessa. Lähes välittömästi tai viimeistään 1—2 vuotta jalostamatoiminnan käynnistymisen jälkeen Sköldvikin kuusten lustonleveysindeksien arvot muuttuvat vuorostaan selvästi pienemmiksi kuin vertailualueella. On huomattava, että Sköldvikin käyrien korkeat arvot ennen tuotantolaitosten perustamista eivät välttämättä merkitse sitä, että puiden kasvu olisi Sköldvikissä ollut Sipoonkorvea suurempaa, vaan se voi johtua myös standardoinnista, sillä jos kasvu jollakin jaksolla on pientä, on jossakin oltava myös suurta kasvua, jotta keskiarvoksi saataisiin yksi.

Negatiivinen ero Sköldvikin ja Sipoonkorven indeksien välillä on kaikissa tutkituissa kohteissa suurimmillaan 1960-luvun lopulla. Tuolloin Sipoonkorvessa esiintynyt keskimääräistä suotuisampi puun kasvukausi ei juuri näy Sköldvikissä, vaan kasvu pysyy siellä keskiarvotason alapuolella. Vuoden 1969 jälkeen ero pienenee vuosina 1970—72, mutta alkaa jälleen sen jälkeen kasvaa.

Sköldvikistä saatuja tuloksia tarkasteltaessa havaitaan, että kuusten paksuuskasvu on ollut muutamaa vuotta lukuun ottamatta kaikilla paikoilla selvästi keskimääräistä hitaampaa koko tuotantolaitosten toiminta-ajan. Heikoimmillaan kasvu on ollut vuosina 1973—75. Tämän jälkeen tapahtunut kasvun suureneminen voisi olla seurausta tuotantolaitoksille 1972 ja 1975 rakennetuista rikin talteenottoyksiköistä tai alueella mahdollisesti suoritetuista maaperätekiijöiden ja metsikön sisäisten tekijöiden parantamisesta (vrt. Huikari 1975: 8). Tästä ei kuitenkaan voi sanoa mitään varmaa, sillä samanlainen paksuuskasvun paraneminen on selvästi nähtävissä myös Sipoonkorven vertailualueella. Kyseisiä muutoksia onkin pidettävä lähinnä luonnollisista kasvuolosuhteiden muutoksista aiheutuvina.

Kaikilla Sköldvikissä tutkituilla paikoilla paksuuskasvumuutokset ovat hyvin samansuuntaisia. Näyttääkin siltä, että topografialla ei ole näkyvää merkitystä tutkituilla alueilla, vaan kasvun heikkeneminen tulee esiin niin suojaisissa painanteissa kuin tuotantolaitosten puoleisilla rinteilläkin. Myöskään etäisyydellä ei näytä olevan sanottavaa merkitystä, sillä kauimmassakin paikassa Kullonlahden rannalla muutokset näkyvät

yhtä selvästi kuin lähimmällä alueella (vrt. kuvat 5 ja 7). Onkin oletettavaa, että havu-puiden kasvun heikkeneminen on nähtävissä vielä myös Kullonlahden pohjoispuolisissa metsissä.

Lustonleveysindeksejä kuvaavissa käyrissä näkyy tiettyä rytmisyyttä, joka ilmenee jo ennen Neste Oy:n tuotantolaitosten perustamista sekä myös sen jälkeen. Koska nämä muutokset näkyvät sekä Sipoonkorven että Sköldvikin aineistoissa ja koska ne ovat pääpiirteissään hyvin samansuuntaisia molemmilla alueilla, on todennäköistä, että ne aiheutuvat muista kuin ihmisen aiheuttamista tekijöistä.

Puiden kasvussa yleisesti ilmenevä syklinen vaihtelu voi aiheutua monesta tekijästä: ilmastosta, käpyvuosista, kasvituhosta, puiden sisäisistä kasvutekijöistä jne. Usein paksuuskasvun jaksottaisuus on liitetty myös auringonpilkkuaaktiivisuuden vaihteluun, jolla on uskottu olevan vaikutusta maapallon ilmastoon ja sitä kautta kasvuoloihin. Lukuisat tutkimukset näyttävät viittaavan siihen, että auringonpilkkujen määrän ja puiden paksuuskasvun välillä olisi positiivinen korrelaatio (esim. Bray & Struik 1963; Svenonius & Olausson 1978; Heikkinen 1980), joskin kyseinen yhteys on joissakin tilastolliseen tarkasteluun perustuvissa tutkimuksissa lähes täysin kumottu (esim. La Marche & Fritts 1972; Stuiver 1980). Joka tapauksessa viimeisen 30 vuoden aikaiset auringonpilkkumaksimit sattuivat vuosien 1957, 1968 ja 1979. Etenkin Sipoonkorven lustonleveyskäyristä nähdään, että merkittävät kasvuhuiput osuvat lähes samoihin ajankohtiin eli vuosien 1957, 1969 ja 1980. Vaikka tällä yhteensattumalla ei olekaan sanottavaa todistusvoimaa, havainto on kuitenkin mielenkiintoinen.

### Päätelmät

Tulokset osoittavat, että Sköldvikin tuotantolaitosten toiminta ja ilmeisesti pääasiassa niiden SO<sub>2</sub>-päästöt ovat selvästi heikentäneet kuusen paksuuskasvua ainakin laitoksesta pohjoiseen suuntautuvalla alueella, minne vallitsevat etelä- ja lounaistuulet puhaltaavat. On aivan ilmeistä, että kasvun vähenemistä on tapahtunut tutkittuja näytealoja kauempanakin ja että kuusen kasvu on hidastunut myös muissa kuin tutkitussa ilmansuunnassa. On myös luultavaa, että mänty, jonka reaktiot ilmansaasteisiin ovat hyvin samanlaiset kuin kuusen, on käyttäy-

tynyt kasvussaan kuusen tapaan. Nämä loogisilta tuntuvat lisäpäätelmät ovat kuitenkin vain tutkimusaineiston ulkopuolisia oletuksia, joiden paikkansapitävyyden osoittaminen vaatisi jatkotutkimuksia.

Joka tapauksessa saadut tulokset poikkeavat hyvin selvästi Huikarin (1975, 1980) tuloksista, joiden mukaan puunkasvu ei olisi hidastunut Sköldvikin tuotantolaitosten toiminnan vaikutuksesta. Kokonaan toinen asia on, mikä kansantaloudellinen merkitys paikallisilla puunkasvutappioilla on valtakunnallisesti tärkeän raakaöljyn jalostustoiminnan tarjoamaan hyötyyn verrattuna.

Tulosten paikkansapitävyyttä voidaan kenties kritisoida. Totta on, että tutkittujen puiden lukumäärä on ilmeisesti liian pieni tarkkojen vuosikasvuvaihteluiden osoittamiseksi (vrt. Fritts 1976: 32). Saatujen tulosten yksisuuntaisuutta ja kasvun hidastumisen selvää ajallista yhteyttä Sköldvikin teolliseen toimintaan on joka tapauksessa vaikea ymmärtää sattumaksi.

Yleisesti myös tiedetään, että puiden kasvuun vaikuttavat aina paitsi alueelliset ilmasto-olot myös paikalliset tekijät, kuten maaperän laatu, kosteussuhteet, paikallisilmasto jne, joiden kompleksinen yhteisvaikutus saattaa hämärtää yhden tekijän, esim. ilmansaasteiden vaikutusta. Mutta koska tässä tutkimuksessa on tarkasteltu puun paksuskasvua melko pitkänä ajanjaksona ennen ja jälkeen Sköldvikin tuotantolaitosten perustamista, Sköldvikin kuusissa juuri tehtaan perustamisen jälkeen ilmenevää selvää kasvunhidastumista Sipoonkorven kuusiin verrattuna ei voida selittää muulla kuin ilmansaastumisella. Mainittakoon, että mikäli tarkasteltavana aikajaksona olisi ollut vain esim. 1970-luku (ks. kuvat 5—7), voisi tuloksena helposti olla jopa parantunutta kasvua keskimäärin osoittava lopputulos. Näin varsinkin silloin, jos saatuja tuloksia ei verrattaisi Sköldvikin suoranaisen vaikutusalueen ulkopuolelta saatuihin tuloksiin.

## SUMMARY

*The effect of air pollution on growth in conifers: an example from the surroundings of the Sköldvik oil refinery*

Trees growing in climatic regions where there is a regular alternation between summer and winter or between a wet and a dry season are known to develop tree-rings. The major part of each ring consists of the large-celled 'earlywood'

which accumulated at the beginning of the growing season, while towards the end of the season a darker, smaller-celled 'latewood' is produced, which then forms a very sharp boundary with the early wood of the following growing season. This latter effect is particularly clearly defined in conifers. Generally speaking each such ring represents the growth of the tree during one year, i.e. it is a true 'annual ring', although frost, drought, disease or pests can sometimes cause a ring to be absent entirely or lead to the formation of a 'false ring' (Fig. 1).

The life and growth of a tree is derived first and foremost from the photosynthesis which takes place in their chloroplasts, a process in which water and carbon dioxide are exchanged for carbohydrates under the influence of energy from sunlight. Thus tree growth is dependent on the amounts of radiation and carbon dioxide available, temperature and moisture conditions and the supply of nutrients, while variations in growth can also be brought about by factors internal to the organism itself.

One consequence of the ever-increasing use of fossil fuels is that the earth's atmosphere is gaining a higher carbon dioxide content, a fact which would in principle promote tree growth. The burning of these fuels nevertheless also releases large quantities of other substances into the air, including the oxides of sulphur, and notably sulphur dioxide, which has the effect of weakening and eventually suppressing photosynthesis and growth when present in sufficiently high concentrations. The greatest sensitivity to sulphur emissions is shown by those conifers such as pine and spruce which do not shed their needles annually.

The influence of sulphur dioxide extends over wide areas nowadays, and is most pronounced in the vicinity of industrial and built-up areas. Examination of its effects upon plant life may be concentrated on various aspects, among them (1) the biological functioning of the cells, (2) the physiological functions of the plant, (3) determination of sulphur concentrations, and (4) analysis of visible signs of damage. Other pollutants causing significant damage to conifers in addition to sulphur compounds are fluorine compounds, the oxides of nitrogen, ammonia, chlorine compounds and hydrocarbons.

The detrimental effects of industrial effluent on forests have been an object of study for many years, especially in Central Europe, but research began in Finland only around the mid-1960's, when increased acidity was noted in the rain-water of Scandinavia chiefly as a result of the long-distance transport of sulphur dioxide released through the use of fossil fuels in the industrial agglomerations of Central Europe. Air pollution had become an international problem. Since the effects of local sources of pollution are nevertheless also clearly detectable in the form of higher pollutant concentrations than in the surrounding areas, the effects of individual industrial establishments upon tree growth can generally be studied relatively reliably, especially where these have been set up in areas with otherwise comparatively pure air.

Sulphur dioxide enters the plant principally via the stomata, causing damage to the guard cells

and reducing gas exchange. Also, by dissolving in the water of the needle cells and forming compounds such as the sulphite and bisulphite, sulphur dioxide can interfere with metabolism and assimilation in the cells and affect the condition and rate of growth of trees. The trees that are most susceptible to damage from a point source of pollution are those which stand alone, on the edge of the forest, or on slopes facing the pollution source. Trees also show individual differences in their resistance to air pollution, the best indicators of such pollution being conifers aged 55—100 years.

The case study selected here concerns the effects of emissions from the oil refinery of Neste Oy located on the coast of the Gulf of Finland between Helsinki and Porvoo upon the growth rate of spruce trees in the vicinity. These effects are examined over the period 1951—80 and the results compared with radial growth figures for spruce trees growing in the relatively pure air of Sipoonkorpi (Fig. 2). Earlier research in the area (Huikari 1975, 1980) suggested that the effluent from the refinery cannot be shown to have affected tree growth.

Construction of the Sköldvik complex (Fig. 3), which includes both the refineries and other petrochemical works, was commenced in 1963. It is situated on a rocky peninsula with a variable topography and is surrounded by the sea in most directions. The adjacent forest has pine and spruce as its dominant trees. As elsewhere on the south coast, the prevailing winds would seem to be from the south and south-west (see Fig. 2). Perhaps the greatest problem for tree growth lies in the emissions of SO<sub>2</sub>, which have been estimated to amount to as much as 90,000 tonnes a year from the complex as a whole. Other substances released into the air include hydrocarbons, oxides of nitrogen, particles, hydrogen sulphide, ethene, vinyl chloride, pentane, styrene and organic compounds. Efforts have been made to reduce the harmful effects of these emissions by increasing the height of the chimneys and during the last ten years or so by installing sulphur recovery plants.

Tree-ring samples were taken at distances of approx. 400 m, 900 m and 1600 m to the north of the refinery, i.e. downwind with respect to the prevailing wind direction, the cores being obtained from four healthy 50—70-year-old spruces growing on till slopes in each of these areas (Fig. 4). The cores from Sipoonkorpi for comparison were then taken from six spruces of roughly the same age and growing under ecologically similar conditions. The breadths of the rings were measured on a dendrochronological microscope to an accuracy of one hundredth of a millimetre and the results standardized so that all the trees received a consistent dendrochronological weighting.

The chronologies obtained for the Sköldvik and Sipoonkorpi sites are depicted in Figs. 5, 6 and 7. All of these diagrams show very similar features, and it is very clear that whereas the trees at Sköldvik had had generally higher rates of growth than those at Sipoonkorpi prior to the commencement of oil refining, their tree-ring indices fall below the control figures within a couple of years once this activity has begun. The discrepancy in growth is seen to have been greatest in the late

1960's and to have declined in 1970—72, but is now on the increase again. Annual growth in the spruces at Sköldvik has been below the mean for the period examined almost throughout the time since the refinery began operations, and neither the topographical locations of the sites nor their distance from the refinery would seem yet to be of any obvious significance for three growth.

Some rhythmic variation in growth attributable to natural factors is nevertheless to be detected at both Sköldvik and Sipoonkorpi, and this would appear to show a certain similarity to the known variations in the numbers of sunspots, with the peaks in the tree-ring indices coinciding with the years of the recent sunspot maxima, i.e. 1957, 1968 and 1979.

The results thus point to a clear reduction in radial growth in the spruce in a zone lying to the north of this industrial area, apparently attributable largely to the substantial emissions of SO<sub>2</sub>, and similar effects could also be expected at greater distances from the source and in other directions. The results are also seen to depart markedly from those obtained earlier from this area, in which the period of time studied was considerably shorter.

Although the number of trees examined is obviously too small to allow precise variations in annual increment to be demonstrated, the results do show a consistency and a correlation with the commencement of industrial operations which would be difficult to put down to mere chance. The systematic decline in the rate of growth of the spruces at Sköldvik by comparison with those at Sipoonkorpi precisely from the time when the oil refinery began operations cannot be due to anything other than air pollution, since there are no signs of any other sudden changes in environmental factors having taken place in recent times, let alone any which occurred at precisely that juncture.

#### Kirjallisuus

- Björkman, Erik (1970). The effect of fertilization on sulfur dioxide damage to conifers in industrial and built-up areas. *Studia Forestalia Suecica* 78.
- Bray, J. R. & G. J. Struik (1963). Forest growth and glacial chronology in eastern British Columbia, and their relation to recent climatic trends. *Canadian Journal of Botany* 41, 1245—1271.
- Eronen, Matti (1980). Maapallon ilmaston vaihtelut. *Arkhimedes* 32, 144—164.
- Fritts, H. C. (1976). *Tree rings and climate*. 567 s. Academic Press, London.
- Havas, Paavo (1971). Injury to pines in the vicinity of a chemical processing plant in northern Finland. *Acta Forestalia Fennica* 121, 1—20.
- Havas, Paavo (1972). Ilmansaasteet uhkaavat metsiämme. *Suomen Luonto* 31, 71—76.
- Havas, Paavo & Satu Huttunen (1972). The effect of air pollution on the radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Biological Conservation* 4, 361—368.
- Heikkinen, Olavi (1980). Mountain pine radial

- growth and the forest limit zone in Gadmental, the Swiss Alps. *Fennia* 158: 1, 1—14.
- Heino, Raino (1976). Taulukoita Suomen ilmasto-oloista kaudelta 1966—75. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan 75, osa la — 1975.
- Hustich, Ilmari (1978). The growth of Scots pine in northern Lapland, 1928—77. *Annales Botanici Fennici* 15, 241—252.
- Huttunen, Satu (1977). Havupuut ja ilmansaastuminen. *Suomen Luonto* 36, 264—269.
- Huttunen, Satu (1981). Rikkiiyhdisteiden leviämisen ja vaikutukset metsäympäristöihin Uudenmaan läänissä. Sadeveden happamoituminen ja sen vaikutukset vesistöihin. Seminaarialustus 4.—5. 6. 1981.
- Huikari, Olavi (1975). Puiden ja muun metsäkasvillisuuden menestyminen teollisuusalueilla. *Öljyposti* 3/1975 4—8.
- Huikari, Olavi (1980). Nesteen laitosten ympäristömetsien kasvututkimus. *Öljyposti* 2/1980, 22—23.
- Hällgren, Jan-Erik & Bengt Nyman (1977). Observations on trees of Scots pine (*Pinus silvestris* L.) and lichens around a HF and SO<sub>2</sub> emission source. *Studia Forestalia Suecica* 137.
- IUSKL = Itä-Uudenmaan seutukaavaliitto (1973). *Sköldvikin teollisuusalueen kehitysennuste*. 50 s.
- IUSKL = Itä-Uudenmaan seutukaavaliitto (1979). *Sköldvikin teollisuusalueen kehitysennusteen tarkistus* 1979. 65 s.
- Jokinen, Juhani & Antti J. Häkkinen (1977). Norjan haposadekokous 1976. *Suomen Luonto* 36, 259—263.
- Kärenlampi, L. & S. Soikkeli (1979). Morphological and fine structural effects of different pollutants on plants: development and problems of research. *United Nations, Economic Commission for Europe, Symposium, on the effect of airborne pollution on vegetation*, Warsaw, 20—24 August 1979. 8 s.
- Kärenlampi, Lauri & Satu Huttunen (1980). Ilman epäpuhtauksien vaikutukset kasveihin. 73 s. *Kuopion Luonnon Ystävään Yhdistys r.y. Kuopio*.
- LaMarche, Valmore C. Jr. & Harold C. Fritts (1972). Tree-rings and sunspot numbers. *Tree-Ring Bulletin* 32, 19—33.
- Oy Yhdyskuntatekninen toimisto Ab (1978). *Sköldvikin osayleiskaava* 1985, Porvoon maalaiskunta.
- Röthlisberger, Friedrich (1976). Gletscher- und Klimaschwankungen in Raum Zermatt, Ferpècle und Arolla. *8000 Jahre Walliser Gletschergeschichte II. Teil. Die Alpen* 52: 3/4, 59—152.
- Soikkeli, Sirkka & Toini Tuovinen (1979). Damage in mesophyll ultrastructure of needles of Norway spruce in two industrial environments in central Finland. *Annales Botanici Fennici* 16, 50—64.
- Stuiver, Minze (1980). Solar variability and climatic change during the current millenium. *Nature* 286, 868—871.
- Stöckhardt, A. (1853). Untersuchung junger Fichten und Kiefern, welche durch den Rauch der Antonshütte krank geworden. *Jahrbuch der Königlichen Sächsen. Akademi für Forst- und Landwirthe zu Tharandt* 1853, 169—172.
- Svenonius, Björn & Eric Olausson (1978). Ring widths of trees, solar activity and weather conditions in Sweden in the period 1756—1975. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 100, 95—100.
- Tuovinen, Toini, Sirkka Soikkeli & Lauri Kärenlampi (1978). Ilmansaasteiden aiheuttamat kuusen neulasten hienorakenteen vauriot kahden pohjoissavolaisen teollisuuslaitoksen ympäristössä. (Summary: Ultrastructural injuries caused by air pollutants in spruce needles in the vicinity of two factories in eastern Central Finland). *Savon Luonto* 10, 43—52.