

HAPPAMAN VEDEN VAIKUTUS MÄNNYN TAIMIIN

HELJÄ-SISKO KATAINEN ja SEPPO KELLOMÄKI

SUMMARY:

EFFECT OF FOLIAR APPLICATION OF DILUTE SULPHURIC ACID ON SCOTS PINE SEEDLINGS

Saapunut toimitukselle 1980-12-12

Männyn taimia kasteltiin yhden kasvukauden ajan rikkihapolla hapatetulla vedellä (pH 3). Käsitellyt aiheutti pintavaurioita vain kahden vuoden ikäisissä neulasissa. Käsiteltyjen taimien yksivuotisten neulasten fotosynteesinopeus aleni 10–30 %. Haihdunnassa muutoksia ei havaittu. Vähäravinteisessä hiekkamaassa kasvavien taimien kokonaispituuskasvu ja neulasten kasvu pieneni hieman käsittelyn seurauksena. Runsasravinteisessä moreenimaassa kasvavien taimien kokonaispituuskasvu ja neulasten kasvu sen sijaan lisääntyi.

1. JOHDANTO

Eri puolilla teollistunutta maailmaa on 1970-luvulla havaittu sadeveden happamuuden lisääntyneen voimakkaasti. Happamalla sateella on todettu olevan vakavia vaikutuksia etenkin sisävesiin ja niiden kalakantoihin. Viime vuosina on myös esitetty happaman sateen hidastaneen metsien kasvua (vrt. JONSSON ja SUNDBERG 1972, SIKORA ja ZIMNY 1979), vaikkakaan asiasta ei olla yksimielisiä (vrt. ODEN 1968, TAMM 1976).

Happaman sateen ja siten rikin märkälasseuman vaikutuksia puiden elintoimintoihin, esimerkiksi fotosynteesiin, tunnetaan heikosti. Ne saattavat olla osittain samanlaisia kuin kaasumaisten rikkiyhdisteiden vaikutukset. Esimerkiksi PUCKETT ym. (1973) ovat luetelleet seuraavat syyt ilman epäpuhtauksien aiheuttamaan fotosynteesin vähenemiseen: lehtien mesofylliresistenssi CO_2 :n vaihdolle lisääntyy, klorofylli hajoaa feofytiiniksi, entsyymiaktiivisuus vähenee, proteiinirakenteet tuhoutuvat ja membraanien läpäisevyys sekä elektroninsiirto muuttuvat. Näistä ilmiöistä on lukuisia erillistutkimuksia (vrt. DÖRRIES 1932, THOMAS ja HILL 1937, HILL 1939,

THOMAS ym. 1952, RAO ja LEBLANC 1966, GUDERIAN 1970, LANGE ym. 1971, TANAKA ym. 1974, KNABE 1976).

Kaasumaiset rikkiyhdisteet vahingoittavat neulasten ja lehtien pintarakennetta. Siten ne vähentävät yhteyttävää pinta-alaa ja puiden kokonaisfotosynteesiä. Fotosynteesi saattaa kuitenkin häiriintyä jo ennen näkyviä muutoksia. Häiriön suuruus riippuu mm. epäpuhtauksien pitoisuuksista, vaikutusajoista, kasvin ja lehden kehitysvaiheesta sekä ympäristötekijöistä (vrt. HAVAS 1971, HUTTUNEN 1973, 1975). Fotosynteesin tilapäinen estyminen ei kuitenkaan välttämättä aiheuta assimilaattien puutetta eikä siis myöskään puiden kasvun taantumista. Aikaa myöten tällaiset tilapäiset muutokset saattavat kuitenkin näkyä myös kasvussa, jos yhteyttämistuotteiden varastot ehtyvät liiaksi (vrt. FARRAR ym. 1977).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten rikkiyhdisteiden märkälasseuma vaurioittaa männyn neulasia sekä muuttaa männyn fotosynteesiä, haihduntaa ja kasvua. Tutkimus tehtiin jäljittelemällä hapanta

sadetta sekä siinä tapahtuvaa rikkiyhdisteiden märkäläskettä kastelemalla rikkihapolla hapatetulla vedellä ruukuissa kasvavia männyn taimia. Koe toistettiin käyttäen luontaisesti syntyneitä, maastossa kasvavia männyn taimia, joita käsiteltiin yhdenmukaisesti.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1. Koetaimet ja niiden käsittely

Tutkimus tehtiin Helsingin yliopiston metsäasemalla Hyytiälässä (61°24'N, 24°18'E, 150 m m.py.) kesällä 1978. Tutkimuksessa käytetyt taimet olivat peräisin Virttaalta, Keskumetsälautakunta Tapion Hietikon taimitarhalta, jossa ne olivat kasvaneet ensin kaksi vuotta avomaalla ja sitten koulun jälkeen vielä vuoden avomaalla (taimiluokka 2A+1A). Taimet istutettiin styrox-ruukkuihin 18.5.1978. Tätä ennen taimia säilytettiin viikon ajan muovipusseihin suljettuina kylmävarastossa, jonka lämpötila oli +3°C.

Kokeeseen valittiin suurehkoista taimierästä 40 elinvoimaista ja mahdollisimman samantyyppistä tainta. Valinta tehtiin silmävaraisesti. Ennen istuttamista puolet ruukuista täytettiin hiekalla. Loput ruukuista täytettiin humuksen sekaisella hietamoreenilla. Kunkin ruukuun seuloitiin maata 2–3 kg. Hiekan pH oli 4,1 ja moreeniin 3,5 vesiliuoksesta mitattuna. Hiekan kokonaistyyppipitoisuus oli keskimäärin 1,3 mg/g ja moreeniin 3,4 mg/g Kjeldahlin menetelmällä määritettynä.

Istutuksen jälkeen ruukut suljettiin styrox-levystä valmistetuilla kansilla suoraan ruukusta tapahtuvan veden haihtumisen estämiseksi. Ruukkujen painoa tarkkailtiin punnitsamalla ja taimia kasteltiin tarpeen mukaan siten, että maan kosteus oli taimien kasvuolosuhteiden kannalta jatkuvasti optimaalinen. Taimet saivat kasvaa muovikatoksella varustetulla lavalla, jossa ne olivat suojassa sateelta.

Sekä hiekkaan että moreeniin istutetut taimet jaettiin neljään eri ryhmään, joissa kussakin oli viisi tainta:

- Kontrolli: sekä verson että kasvualustan kastelu tislattulla vedellä.
- Kontrolli: ei verson kastelua, kasvualustan kastelu tislattulla vedellä.
- Käsittely: verson kastelu happamalla

Prof. Matti Leikolan monet parannusehdotukset on otettu kiitollisena vastaan työn lopullista käsikirjoitusta laadittaessa.

vedellä, kasvualustan kastelu tislattulla vedellä.

— Käsittely: ei verson kastelua, kasvualustan kastelu happamalla vedellä.

Taimet suihkutettiin muovisella suihkupullossa 20 cm:n etäisyydeltä aamuisin klo 8.30–10.30 punnitusten ja kasvualustan kastelun jälkeen. Kukin taimi sai päivittäin yhteensä 25 ml vettä joka puolelle neulasistoa tai juuristoa. Suihkutusliuos valmistettiin lisäämällä tislattuun veteen yksinormaalista rikkihappoa niin, että veden pH laski 3:een.

Suihkutettavat taimet pidettiin erillään muista taimista käsittelyn ajan. Kontrollitaimet käsiteltiin samalla tavalla tislattua vettä käyttäen. Taimien kastelu ja suihkutukset aloitettiin 27.5., jonka jälkeen versot suihkutettiin 29.5. ja 1.6. sekä 4.6. lähtien joka aamu kesäkuussa paitsi 24.6. ja 25.6. Heinäkuussa versot suihkutettiin joka päivä 7.7. saakka, paitsi 2.7. Tämän jälkeen 7.8. saakka versot suihkutettiin vain arkipäivisin. Elokuussa 8.–18.8. versot suihkutettiin vain joka toinen päivä. Fotosynteesimittaukset tehtiin 18.8.–31.8., jolloin versoja ei suihkutettu. Mittausten jälkeen taimet suihkutettiin vielä 8.9., 10.9., 13.9., 19.9. ja 25.9. Kaiken kaikkiaan päivittäisestä 25 ml:n kastelusta kertyi vesimäärä, joka vastaa noin puolta saman jakson keskimääräisestä sadannasta.

2.2. Koepuut ja niiden käsittely

Toisena tutkimuskohteena oli kaksi kymmenen vuoden ikäistä, luontaisesti syntyneitä männyn tainta. Ne kasvoivat moreeniin, metsätyypiltään puolukkatyyppiä. Puu 1:n pituus oli 1,4 m. Siitä valittiin käsittelyihin oksat toisesta oksakiehkurasta, v:n 1977 ja 1978 neulaskerrat. Puu 2:n pituus oli 1,0 m. Käsittelyihin valittiin tämän puun kaksihaa-

raisesta latvasta v:n 1977 ja 1978 neulaskerrat. Puut kasvoivat aukealla ilman varjostusta.

Oksien suihkutukset aloitettiin kesäkuussa 26.6. neulasten kasvun alkaessa. Käsittelyksää suihkutettiin happamalla vedellä ja kontrollioksaa tislattulla vedellä. Oksat suljettiin suihkutuksen ajaksi molemmista päistä avoimiin muovipusseihin, jotta saatiin estetyksi sumun kulkeutuminen tuulen mukana ja käsittelyjen vaikutus toisiinsa. Pusseja pidettiin paikallaan 10–60 min.

Kesäkuussa oksia suihkutettiin joka toinen aamu klo 8.30–10.30 siten, että kukin oksa sai yhteensä 25 ml vettä. Heinäkuussa oksat suihkutettiin joka aamu viikonloppuja lukuun ottamatta. Elokuussa oksat suihkutettiin 8.8. lähtien joka toinen aamu. Puu 2:n suihkutukset kuitenkin lopetettiin 8.8. Koska fotosynteesimittaukset aloitettiin 8.8., oksia ei tämän jälkeen mittausteknisistä syistä suljettu muovipusseihin suihkutuksen ajaksi. Mittausaikana oksat suihkutettiin siten, että oksat ja kyvetit ehtivät kuivua ennen seuraavaa mittausta. Puu 1:n suihkutukset lopetettiin 24.8.

2.3. Mittaukset

2.3.1. Ympäristöolojen seuranta

Taimet olivat koko kesän sateelta suojattuna, mutta muutoin alttiina säätilan vaihteluille. Koepuita ei suojattu sateelta. Taimien ja koepuiden ympäristöoloja seurattiin koko mittausjakson ajan. Ilman lämpötilaa ja kosteutta rekisteröi termohygrografi (malli Lambrecht 252). Lämpötila mitattiin myös termoparilla. Valon intensiteetti mitattiin noin 10 metrin etäisyydeltä taimilavasta ja mittauksen kohteena olleista koepuista. Tämä tehtiin pyronometrillä (malli Kipp & Zone).

2.3.2. Neulasten vaurioituminen

Taimien neulasten pintarakenteen mahdollista vaurioitumista alettiin seurata 22.6. Tällöin suoritettiin ensimmäinen kartoitus, jossa laskettiin kokonaan nekroottiset ja kloroottiset neulaset sekä neulaset, joissa oli nekroottisia kärkiä ja nekroottisia poikkijuovia. Vauriokartoitus uusittiin 4.7. ja 18.9., jolloin voitiin tarkastella myös uusien neulasten vau-

rioita. Tulokset ilmaistiin vaurioituneiden neulasten osuuksina kaikista neulasista.

Koepuiden neulasvauriot kartoitettiin 8.8. edellisen vuoden neulasista ja 25.9. uusista neulasista. Neulasista laskettiin kokonaan nekroottiset ja kloroottiset neulaset sekä neulaset, joissa oli nekroottisia kärkiä ja poikkijuovia sekä nekroottisia läiskiä. Tulokset ilmaistiin vaurioituneiden neulasten osuuksina kaikista neulasista.

2.3.3. Fotosynteesimittaukset

Taimien fotosynteesimittaukset tehtiin 19.8.–24.8.1978. Mittauksen ajaksi taimen ympärille asetettiin ilmatiivis, lieriömäinen pleksilasikyvetti. Kyvettiin lisättiin tietty määrä CO₂, jonka vähenemistä kasvin yhteyttäessä seurattiin ajan funktiona. Suljetusta kyvetistä mittausjakson aikana tuleva ilma johdettiin kaasuanalysaattoriin (malli Hartman & Braun, Uras 2T), kun ilmavirrasta oli ensin poistettu mittausta häiritsevä vesi. Mittaukset tehtiin siten, että kyvetin CO₂-pitoisuus väheni 400 ppm:stä 200 ppm:ään. Mittaus tehtiin uusista, vuoden 1978 aikana syntyneistä neulasista.

Mittauksen aikana kyvetin lämpötila oli 14–15°C. Valaistus kyvetin ulkopuolella oli 1600 μEm²s⁻¹. Valolähteenä käytettiin Osram HQI 400 W:n sekavalolamppua, jonka spektri on lähellä aurongonvalon spektriä. Fotosynteesi ilmaistiin fotosynteesitehona, mg CO₂/dm²/h, käyttämällä hyväksi tunnettua kyvettilavuutta sekä kaasujen tilan yhtälöä. Menetelmää on kuvannut mm. LUUKKANEN (1978).

Myös koepuiden fotosynteesi mitattiin uusista, vuoden 1978 aikana syntyneistä neulasista. Mittaukset tehtiin ulkoilmassa, luontaisesti vaihtelevissa lämpö- ja valaistusolosuhteissa (vrt. luku 2.3.1.). Mitattava oksa suljettiin 20 minuutin välein 100 sekunnin ajaksi kyvettiin, jonka ilman CO₂-pitoisuus mitattiin kaasunalaysaattorilla vähän ennen kyvetin avautumista. Lukema vähennettiin ulkoilman CO₂-pitoisuuden arvosta. Mittaustulokset saatiin suhteellisina arvoina, jotka muutettiin absoluuttisiksi ja ilmaistiin yhteystehona, mg CO₂/dm²/h. Menetelmää on kuvattu yksityiskohtaisesti HARIN ym. (1979) julkaisussa (vrt. myös LUUKKANEN 1978). Mittaukset tehtiin 29.8.–4.9. välisenä aikana.

2.3.4. Haihduntamittaukset

Taimien haihdunta mitattiin punnitsemalla ne aamuisin klo 8.00–10.00 vaa'alla 0,1 g:n tarkkuudella. Punnitsemalla saatiin selville vuorokauden kokonaishaihdunta perättäisten punnitusten painoeron. Punnituksen jälkeen taimet kasteltiin.

Ympäristötekijöiden vaikutusta kokonais-haihduntaan eli potentiaalista evaporaatiota mitattiin punnitsemalla vedellä täytettyä, halkaisijaltaan 20 cm:n suuruista petrimaljaa. Petrimalja oli sijoitettu sateelta ja suoralta auringonsäteilyltä suojaavaan katokseen n. 1,5 m maan pinnasta taimien välittömään läheisyyteen. Petrimalja punnittiin ja täytettiin taimien punnitsemisen yhteydessä.

2.3.5. Kasvumittaukset

Taimien latvaverson pituus mitattiin koetta

seuranneena vuonna 15. 7. 1979 vuoden 1978 kokonaispituuskasvun määrittämiseksi. Taimien ja koepuiden oksien neulasten kasvu mitattiin neulaspinta-alojen määrityksen yhteydessä syyskuussa 1978. Tätä varten laskettiin neulasten lukumäärä neulaskerroitain, kukin vuosikasvain erikseen. Kustakin vuosikasvaimesta otettiin tämän jälkeen 10 % neulasista näytteeksi kasvaimen eri puolilta.

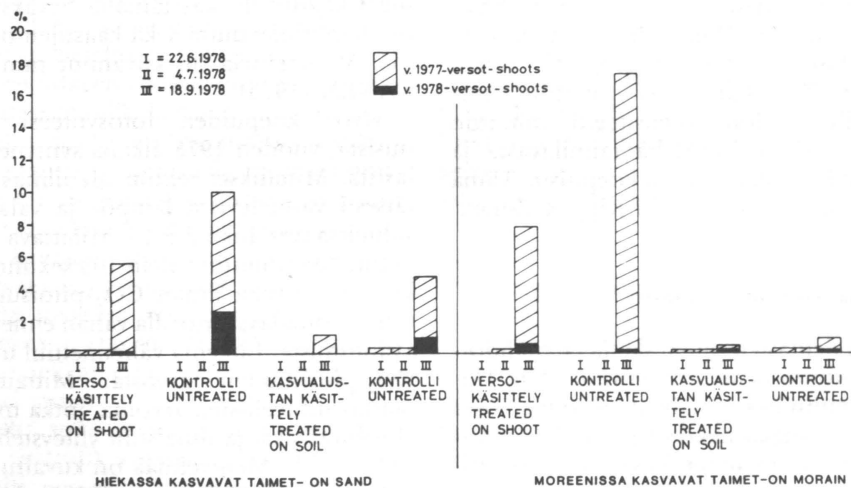
Näyteneulasten pituus mitattiin 1 mm:n sekä paksuus ja leveys 0,01 mm:n tarkkuudella. Mittausten perusteella laskettiin näyteneulasten keskipituus, -paksuus ja -leveys. Neulasten keskimääräinen pinta-ala saatiin näistä kaavalla $2 \times \text{pituus} \times (\text{paksuus} + \text{leveys})$. Kertomalla tulos neulasten lukumäärällä saatiin taimien neulaspinta-ala. Kyvetissä olleitten neulasten pinta-ala laskettiin erikseen. Luonnonpuiden kyvetissä olleitten neulasten pinta-ala määritettiin samalla tavalla.

3. TULOKSET

3.1. Neulasten vaurioituminen

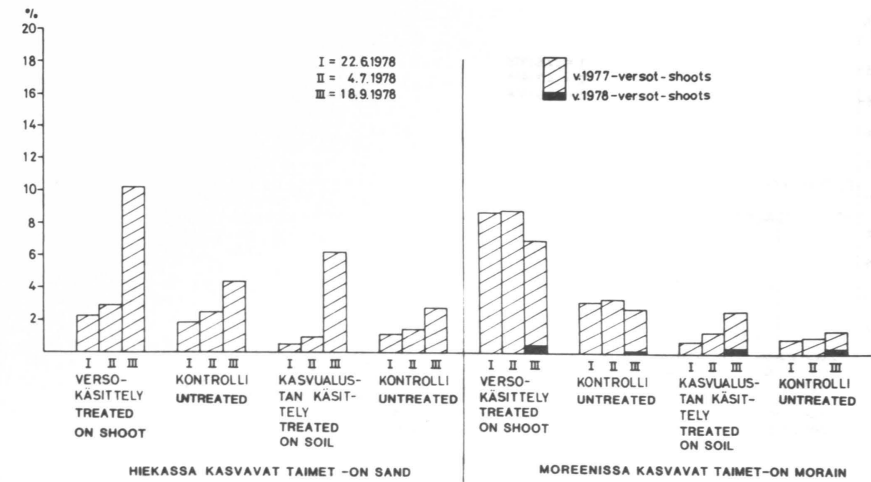
Taimissa oli neulasvaurioita vähän ja tälöinkin vain kaksivuotiaissa neulasissa (kuvat 1–4). Käsiteltyjen ja käsittelemättömien taimien erot olivat muutamia poikkeuksia

lukuun ottamatta pieniä. Esimerkiksi täysin nekroottisia neulasia esiintyi sekä käsitellyissä että käsittelemättömissä taimissa (kuva 1), jälkimmäisissä kuitenkin enemmän. Neulasten vaurioituminen ei siis liene yhteydessä happokäsittelyyn. Verson kastelu happamalla



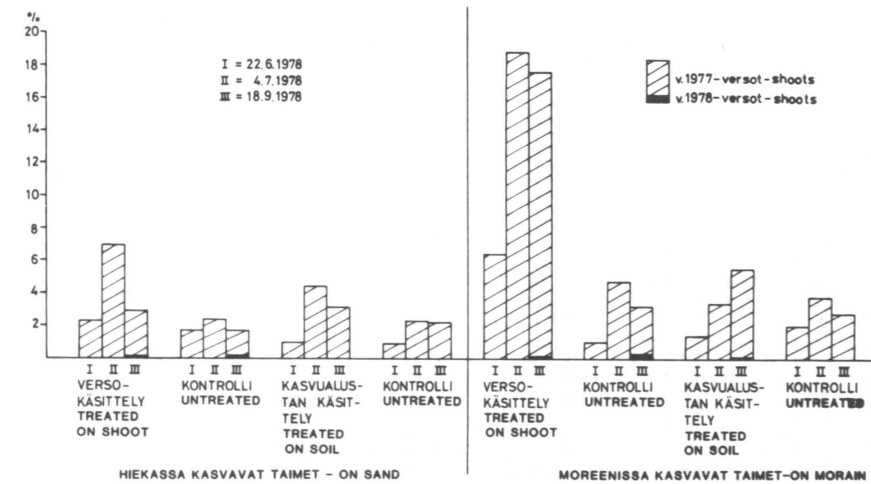
Kuva 1. Nekroottiset neulas, % kaikista neulasista.

Fig. 1. Necrotic needles, % of all needles.



Kuva 2. Neulas, joissa oli nekroottinen kärki, % kaikista neulasista.

Fig. 2. Needles with necrotic tip, % of all needles.



Kuva 3. Neulas, joissa oli vähintään yksi nekroottinen poikkijuova, % kaikista neulasista.

Fig. 3. Needles with more than one necrotic stripe, % of all needles.

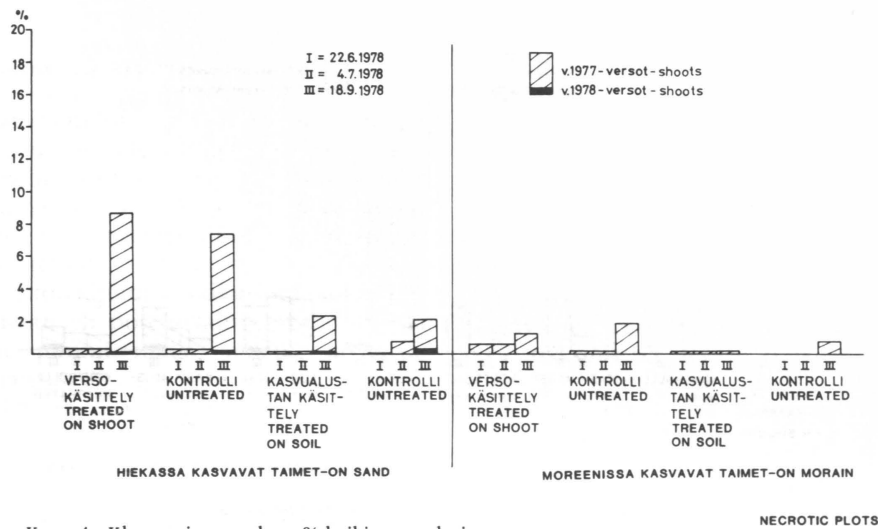
vedellä tosin lisäsi neulasten kuolemista verrattuna kasvualustan kasteluun happamalla vedellä. Nekroosi kehittyi tavallisesti vasta sitten, kun käsittely oli kestänyt pitkähkön ajan.

Nekroottisia kärkiä ja poikkijuovia oli käsitellyissä neulasissa enemmän kuin käsittelemättömissä. Varsinkin moreenimaassa kasvanneiden taimien neulas vaurioituvat, kun versoja käsiteltiin happamalla vedellä. Nekroosi ilmestyi vyömäisinä poikkijuovina neulasten kärkiin ja muuallekin jo kuukauden käsittelyn jälkeen. Poikkeuksena olivat hie-

kassa kasvaneet taimet, joiden neulasiin nekroottiset kärjet ilmestyivät vasta loppukesällä (kuvat 2 ja 3).

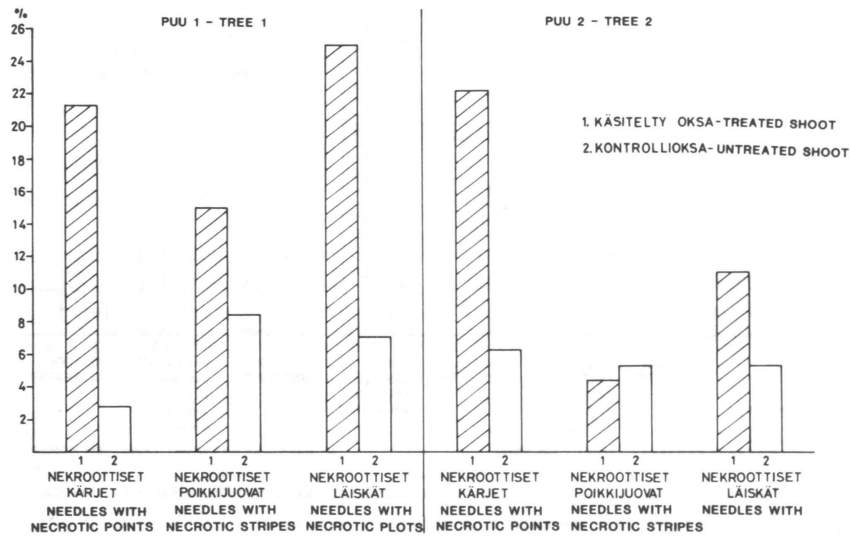
Kloroottisia neulasia esiintyi taimissa vähän, eikä eri käsittelyjen välillä ollut havaittavissa merkittäviä eroja (kuva 4). Kloroottisuutta saattoi aiheuttaa myös kasvualustan vähäinen typpipitoisuus: hiekassa kasvavat taimet olivat loppukesällä vaaleampia kuin moreenissa kasvavat. Varsinaista kloroosia taimissa ei kuitenkaan esiintynyt.

Koepuiden tarkastelu osoitti, että tässäkin tapauksessa vaurioituivat vain kahden vuoden



Kuva 4. Kloroottiset neulas, % kaikista neulasista.

Fig. 4. Chlorotic needles, % of all needles.

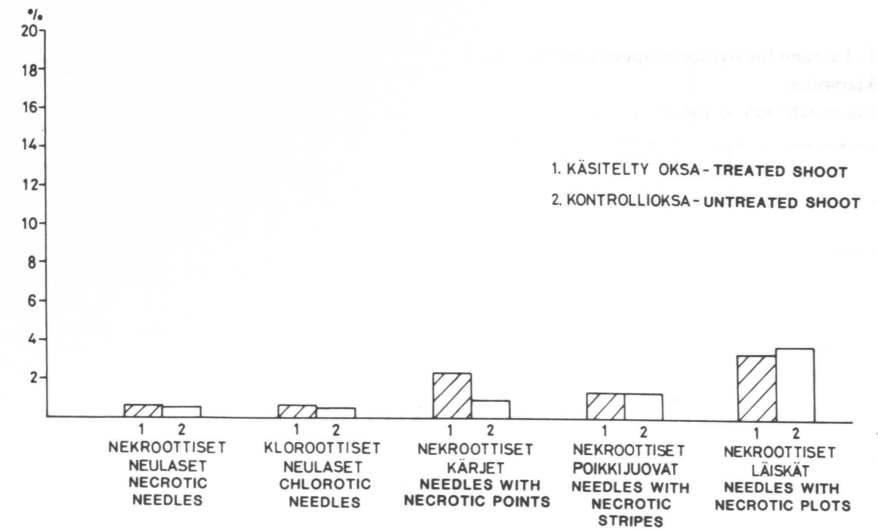


Kuva 5. Vaurioituneet neulas, % kaikista neulasista. V. 1977 -versot, 8. 8. 1978.

Fig. 5. Damaged needles, % of all needles. In 1977-shoots August 8, 1978.

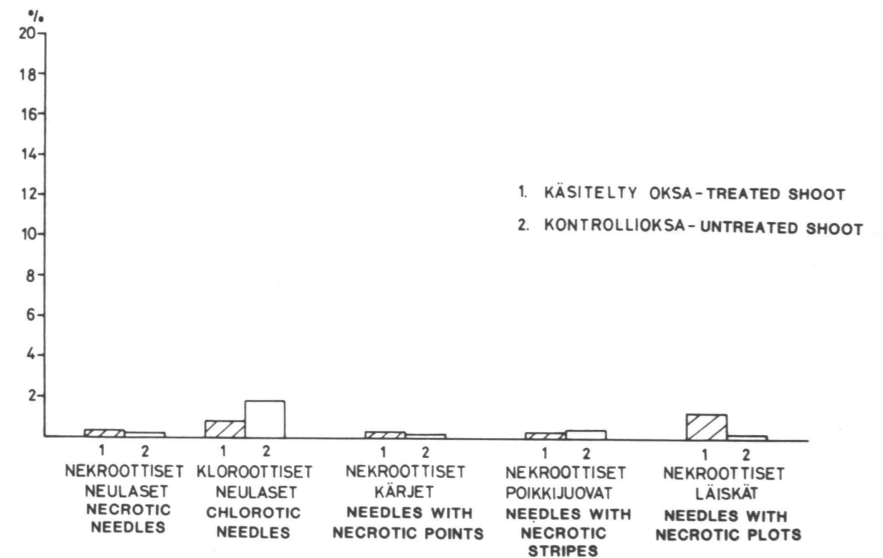
ikäiset neulas. Nekroottisia kärkiä esiintyi käsitellyissä neulasissa enemmän kuin käsittelemättömissä (kuvat 5 ja 6). Myös nekroottisia läiskiä esiintyi käsitelyjen oksien neulasissa runsaasti, etenkin koepuussa 1. Myös nekroottisten poikkijuovien määrä koepuussa 1 lisääntyi käsittelyn seurauksena. Varsinkin kahden vuoden ikäisissä neulasissa nekroottisia poikkijuovia oli runsaasti. Sen sijaan koepuussa 2 nekroottisia poikkijuovia oli käsitellyssä ja käsittelemättömässä oksassa lähes

yhtä paljon, käsittelemättömässä jopa hieman enemmän. Koepuissa oli kokonaan kloroottisia tai nekroottisia neulasia vain vähän. Kummassakin koepuussa oli eri tavoin vaurioituneiden neulasten osuus alle 4 % neulasten lukumäärästä. Käsitelyjen ja käsittelemättömien oksien väliset erot olivat niin pieniä ja vaihtelevia, ettei tulosten perusteella voida tehdä kovinkaan pitkälle meneviä johtopäätöksiä (kuva 7).



Kuva 6. Puu 1, vaurioituneet neulas, % kaikista neulasista. V. 1978-versot, 8. 8. 1979.

Fig. 6. Tree 1, damaged needles, % of all needles. In 1978-shoots August 8, 1978.



Kuva 7. Puu 2, vaurioituneet neulas, % kaikista neulasista. V. 1978-versot, 8. 8. 1978.

Fig. 7. Tree 2, damaged needles, % of all needles. In 1978-shoots August 8, 1978.

3.2. Fotosynteesinopeuden muutokset

Taulukossa 1 on esitetty taimien fotosynteesimittausten tulokset. Verson käsittely happamalla vedellä alensi taimien fotosynteesitehoa 20–30 %, kasvualustan käsittely puolestaan 7–10 %. Kummassakin tapauksessa aleni moreenimaassa kasvaneiden taimien

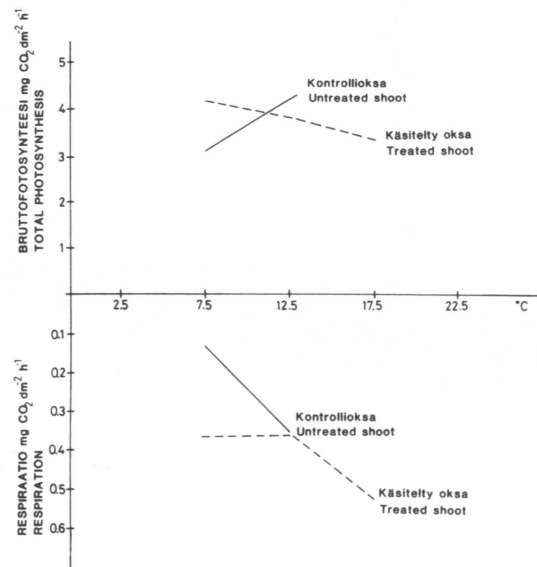
fotosynteesiteho enemmän kuin hiekassa kasvaneiden. Eri yksilöiden fotosynteesiteho vaihteli melkoisesti.

Kuvat 8 ja 9 esittävät koepuu 1:n fotosynteesimittausten tuloksia 8. ja 9. 8. 1978 sekä 19. ja 21. 8. 1978. Käsitellyn oksan bruttofotosynteesi väheni lämpötilan nousussa, vaikka kontrollioksan bruttofotosynteesi

Taulukko 1. Taimien fotosynteesinopeus käsittelyryhmitäisinä keskiarvoina.

Table 1. Photosynthetic rate of potted seedlings.

Käsittely Treatment	Fotosynteesinopeus, mg CO ₂ dm ⁻² h ⁻¹ Photosynthetic rate	
	\bar{x}	s
Kasvualustana hiekka – Planted on sand		
Versonkäsittely Treatment on shoot	0,734	0,230
Kontrolli, Control	0,913	0,569
Kasvualustan käsittely, Treatment on soil	0,790	0,123
Kontrolli, Control	0,850	0,260
Kasvualustana moreeni – Planted on morain		
Versonkäsittely, Treatment on shoot	0,628	0,196
Kontrolli Control	0,878	0,299
Kasvualustan käsittely Treatment on soil	0,829	0,150
Kontrolli, Control	0,924	0,214



Kuva 9. Koepuu no 1:n fotosynteesimittausten tulokset 19. 8. ja 21. 8. 1978.

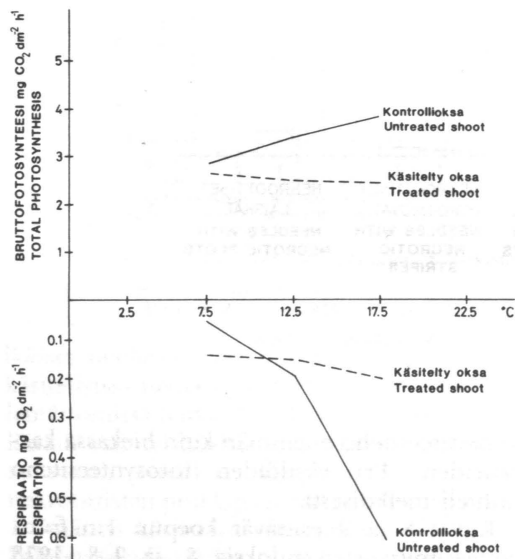
Fig. 9. Tree 1, photosynthesis August 19 and 21. 1978.

si lisääntyi. Vastaavasti käsitellyn oksan respiraatio alkoi lisääntyä vasta lämpötilan noustessa yli 12,5°C:n, vaikka kontrollioksan respiraatio lisääntyikin normaalisti lämpötilan noustessa. Käsitellyn oksan nettofotosynteesi väheni samoin käsittelemättömän oksan nettofotosynteesiin verrattuna, kuten seuraavasta ilmenee:

Lämpötila °C	Käsitellyn oksan nettofotosynteesi, % kontrollista	
°C	8. ja 9. 8. 1979	19. ja 21. 8. 1978
7,5	90 %	125 %
12,5	85 %	88 %
17,5	70 %	

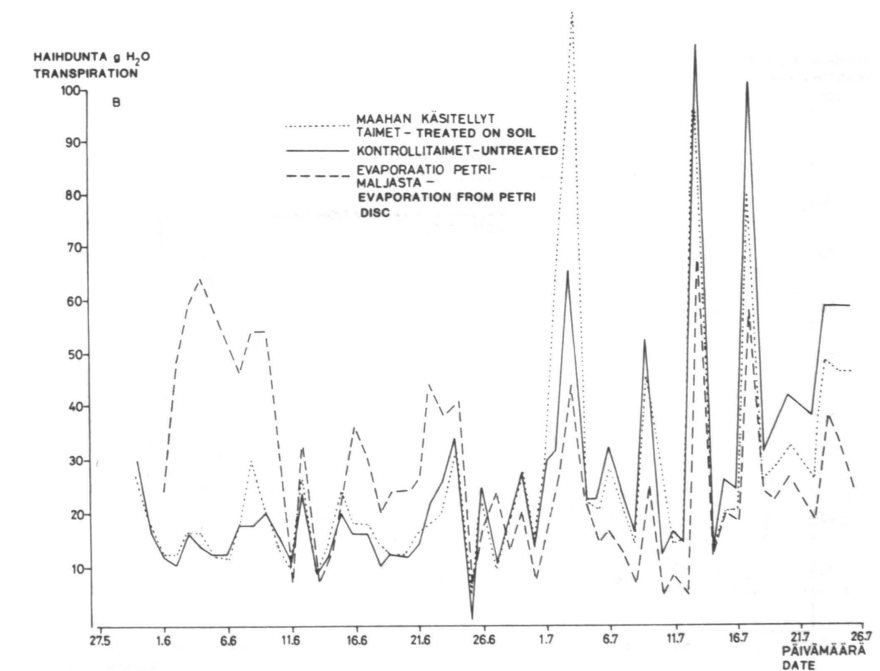
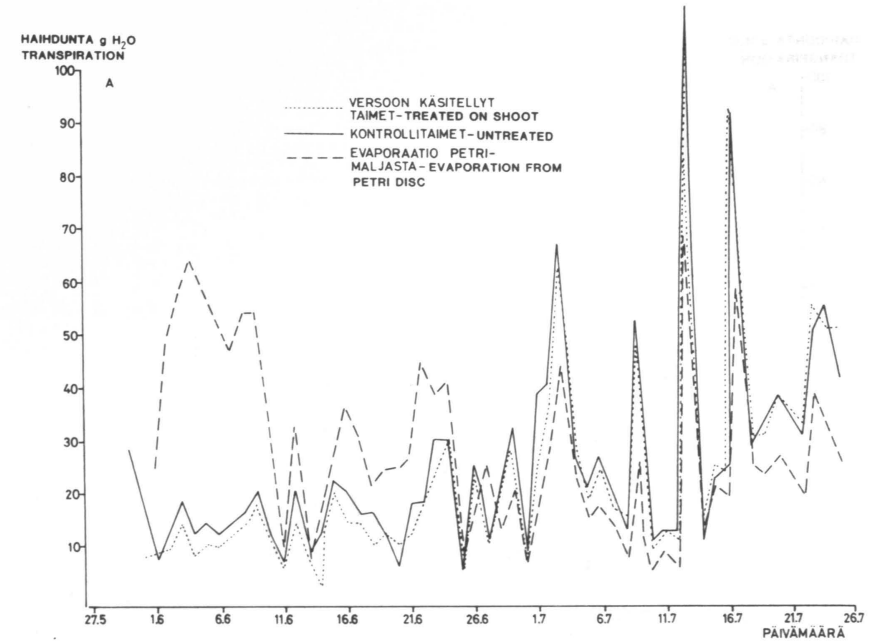
3.3. Haihdutusnopeuden muutokset

Käsiteltyjen ja käsittelemättömien taimien päivittäin haihduttama vesimäärä on esitetty kuvissa 10 ja 11. Käsiteltyjen ja käsittelemättömien taimien haihdunta oli lähes samalaista ja noudatti tarkoin vapaalta vesipinnalta tapahtuvaa haihduntaa. Vähäinen haihdunta ensimmäisen kuukauden aikana istutuksen jälkeen saattoi johtua istutuksen aiheuttamasta juuriston vedenottokyvyn tilapäisestä heikkenemisestä (vrt. HALLMAN ym. 1978).



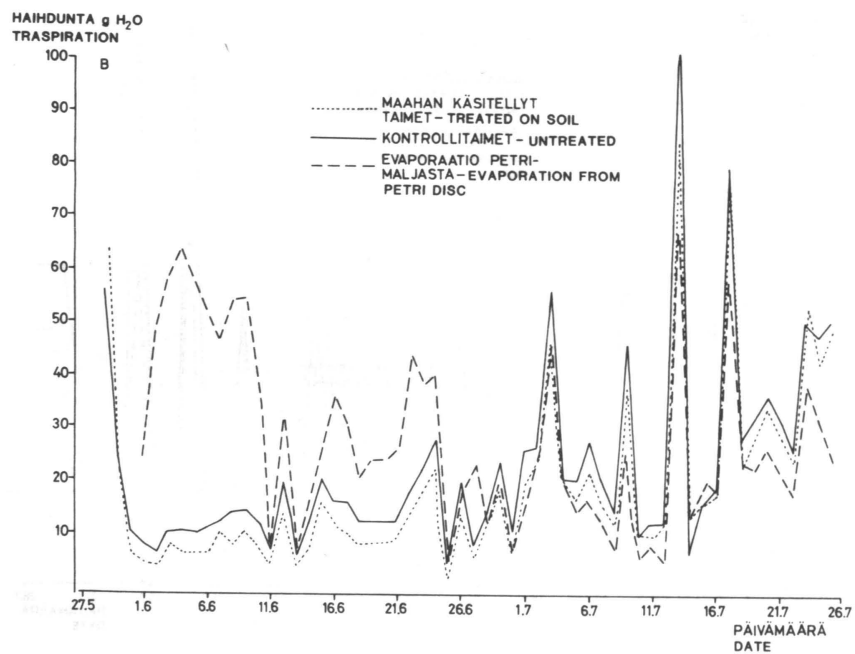
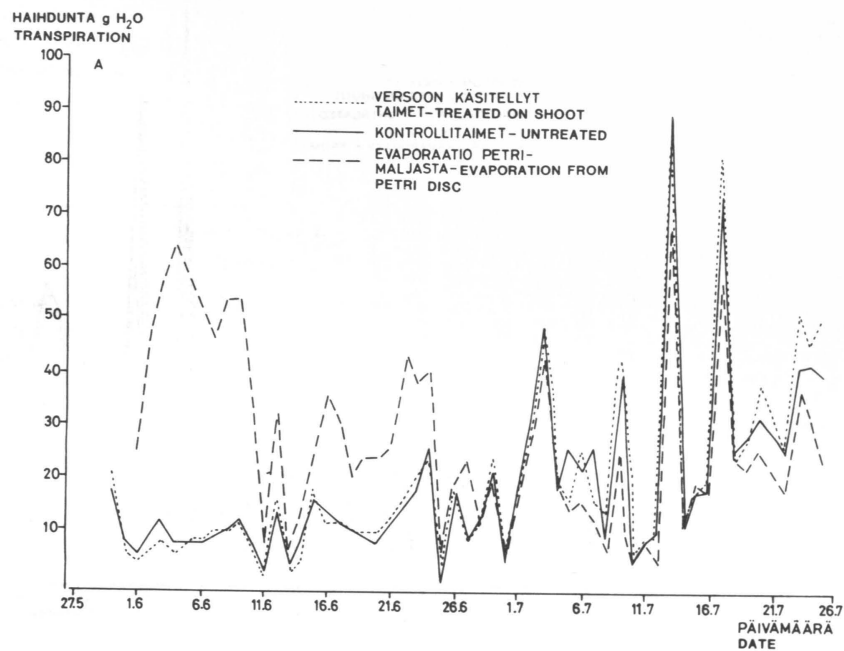
Kuva 8. Koepuu no 1:n fotosynteesimittausten tulokset 8–9. 8. 1978.

Fig. 8. Tree 1, photosynthesis August 8–9, 1978.

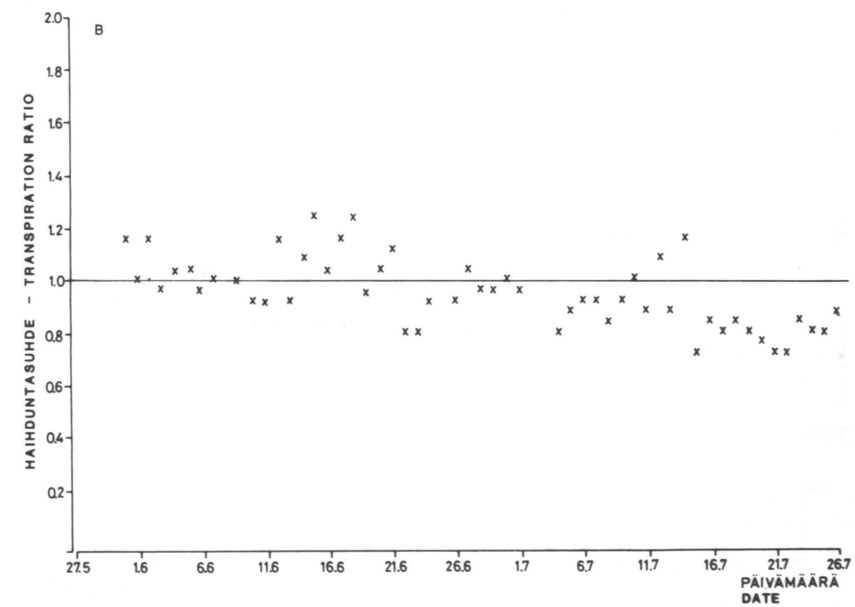
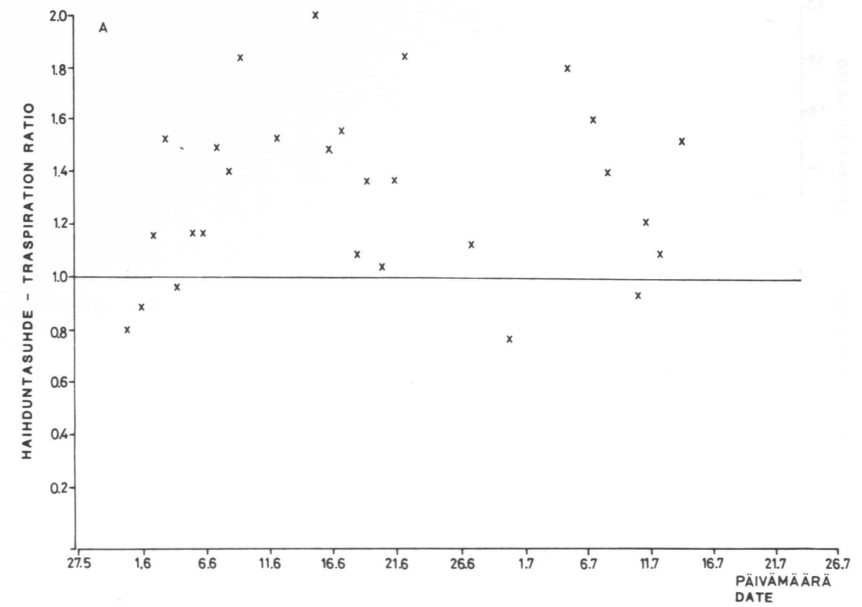


Kuva 10. Hiekassa kasvatettavien taimien päivittäinen haihdunta. A: versokäsittely, B: maakäsittely.

Fig. 10. Daily transpiration of potted seedlings grown on sand. A: treatment on shoot, B: treatment on soil.

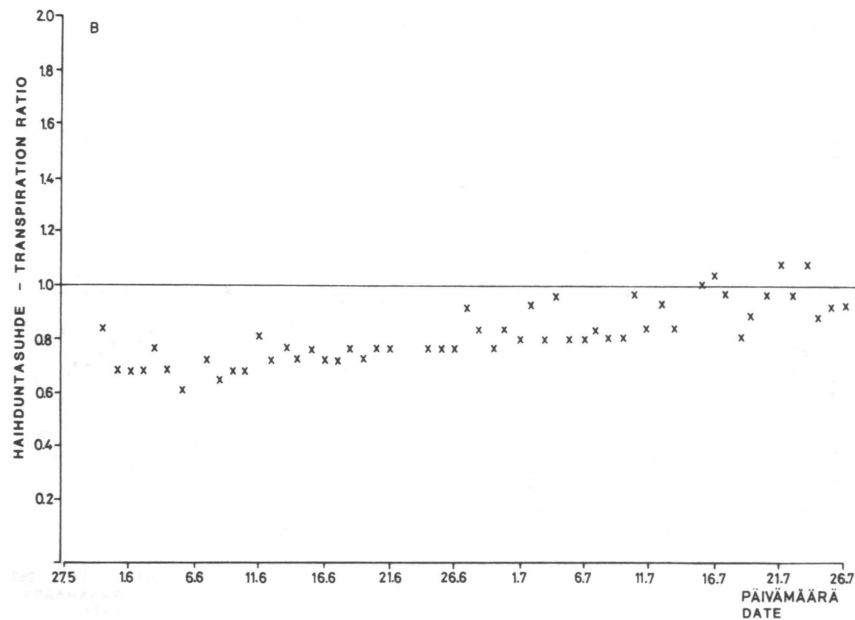
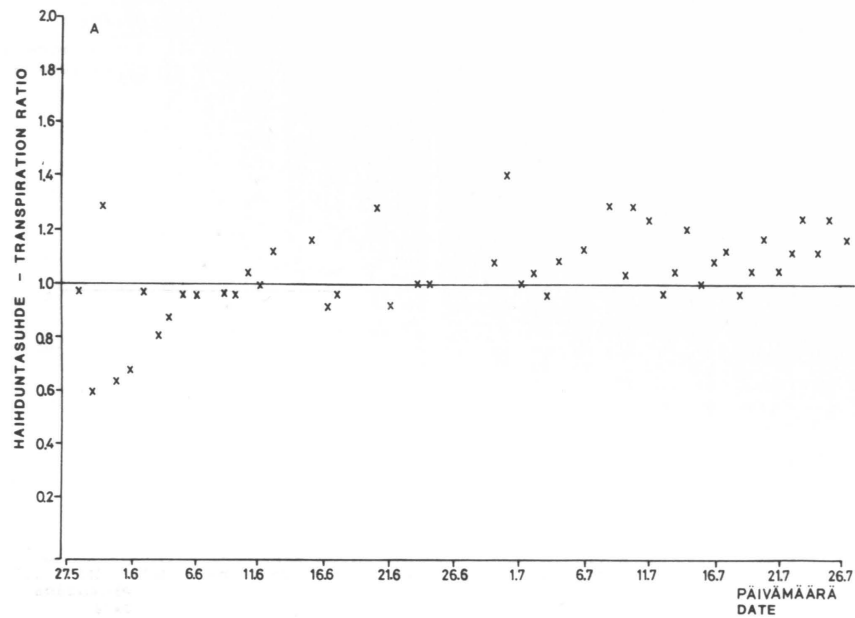


Kuva 11. Sama kuin kuvassa 10 mutta moreenissa kasvatetut taimet.
 Fig. 11. The same as in Fig. 10 but seedling, grown on morain.



Kuva 12. Hiekassa kasvavien käsitellytaimien päivittäisen haihdunnan suhde vastaan kontrollitaimien haihduntaan. A: versokäsittely, B: maakäsittely.
 Fig. 12. Daily transpiration of treated seedlings grown on sand in relation to the respective values of untreated seedlings. A: treatment on shoot, B: treatment on soil.

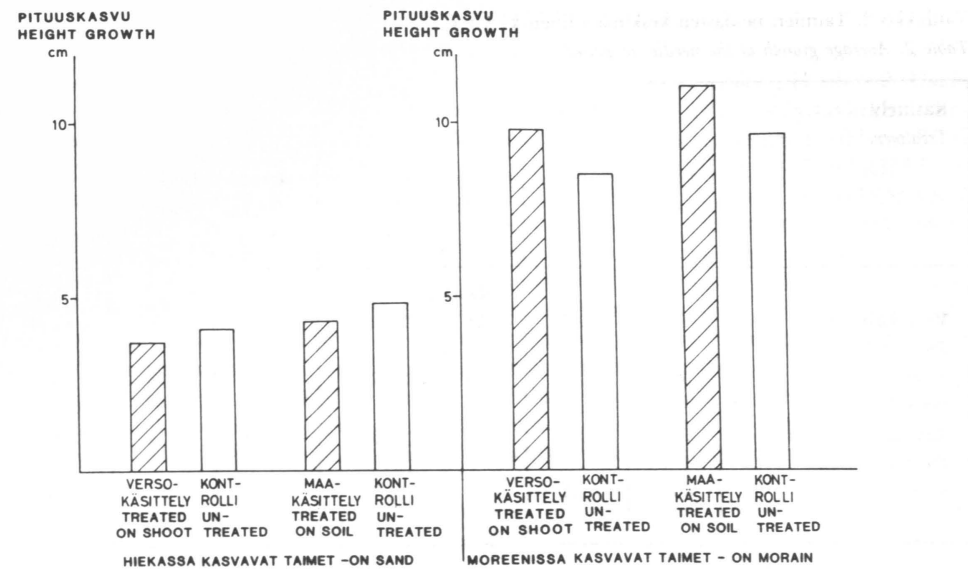
Haihduntamittauksista laskettiin myös haihduntasuhde, jossa käsiteltyjen taimien keskimääräinen päivittäinen haihduntamäärä jaettiin vastaavalla käsittelemättömien taimien keskimääräisellä haihduntamäärällä (kuvat 12 ja 13). Moreenimaassa kasvaneiden taimien haihdunta oli kuitenkin hieman runsaampaa kuin käsittelemättömien taimien,



Kuva 13. Sama kuin kuvassa 13, mutta moreenissa kasvatetut taimet.
Fig. 13. The same as in Fig. 13 but seedlings grown on moraine.

suoritettiin käsittely taimien versoihin tai kasvualustaan. Sen sijaan happamalla vedellä käsitellyssä hiekassa kasvaneiden taimien haihdunta oli vähäisempää kuin käsitte-

mättömässä hiekassa kasvaneiden. Vastaavalla versokäsittelyllä ei ollut havaittavaa vaikutusta.



Kuva 14. Taimien kokonaispituuskasvu v. 1979, käsittelyryhmien keskiarvot.
Fig. 14. Total height growth of potted seedlings in 1979 as means of treatments.

3.4. Kasvun muutokset.

3.4.1. Rangan kasvu

Taimien vuoden 1978 kokonaispituuskasvu on esitetty kuvassa 14. Moreenimaassa kasvaneiden taimien kokonaispituuskasvu oli noin 50 % suurempi kuin hiekassa kasvaneiden. Ero johtuu ilmeisesti kasvualustojen ravinteisuuden, etenkin typpipitoisuuden eroista. Hiekassa kasvaneiden käsiteltyjen taimien pituuskasvu jäi kuitenkin 11–14 % pienemmäksi kuin vastaavilla käsittelemättömillä taimilla. Moreenimaassa sen sijaan käsiteltyjen taimien pituuskasvu oli suurempi kuin käsittelemättömien. Erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä ($p > 0.10$).

3.4.2. Neulasten kasvu

Hiekassa kasvaneiden taimien uudet neulaset (yhden vuoden ikäiset neulaset) jäivät käsitellyissä taimissa pienemmiksi kuin käsittelemättömissä (taulukko 2). Sen sijaan edellisen vuoden neulaset olivat käsitellyissä taimissa kookkaampia. Moreenimaassa kasvaneiden käsiteltyjen taimien neulaset olivat kuitenkin käsittelemättömien taimien neulasia suurempia. Myös edellisen vuoden neulaset olivat käsitellyissä taimissa kookkaampia kuin käsittelemättömissä. Koepuiden käsitellyissä oksissa uudet neulaset jäivät kuitenkin pienemmiksi kuin käsittelemättömissä, kuten hiekassa kasvaneissa taimissakin (taulukko 3).

Taulukko 2. Taimien neulasten keskimääräinen kasvu käsittelyvuonna.
Table 2. Average growth of the needles of potted seedling in the year treated.

Käsittely Treatment	Toinen neulaskerta Second-year needles				Ensimmäinen neulaskerta First-year needles			
	Pituus Length mm	Paksuus Thickness mm	Leveys Width mm	Pinta-ala Area mm ²	Pituus Length mm	Paksuus Thickness mm	Leveys Width mm	Pinta-ala Area mm ²
	Kasvualustana hiekka – Planted on sand							
Versokäsittely Treatment on shoot	63,1	0,65	1,23	237,23	21,0	0,56	1,02	66,36
Kontrolli Control	62,5	0,67	1,20	233,75	21,3	0,58	1,05	69,44
Kasvualustan käsittely Treatment on soil	64,8	0,68	1,29	255,31	20,8	0,54	1,04	65,73
Kontrolli Control	60,5	0,61	1,14	211,75	21,3	0,55	1,02	66,88
	Kasvualustana moreeni – Planted on morain							
Versokäsittely Treatment on shoot	69,8	0,64	1,25	263,84	43,7	0,59	1,20	156,45
Kontrolli Control	62,3	0,63	1,20	228,02	41,5	0,61	1,15	146,08
Kasvualustan käsittely Treatment on soil	55,7	0,62	1,25	208,32	42,0	0,60	1,20	151,20
Kontrolli Control	57,5	0,63	1,17	207,00	38,3	0,60	1,19	137,11

Taulukko 3. Koepuiden neulasten keskimääräinen kasvu.
Table 3. Average growth of the needles of sample trees.

Käsittely Treatment	Toinen neulaskerta Second-year needles				Ensimmäinen neulaskerta First-year needles			
	Pituus Length mm	Paksuus Thickness mm	Leveys Width mm	Pinta-ala Area mm ²	Pituus Length mm	Paksuus Thickness mm	Leveys Width mm	Pinta-ala Area mm ²
Puu 1, Käsittely oksa Tree Treated shoot	39,0	0,83	1,65	193,44	25,8	0,74	1,36	108,36
Kontrollioksa Untreated shoot	38,0	0,80	1,58	180,88	31,7	0,75	1,52	143,92
Puu 2, Käsittely oksa Tree Treated shoot	30,0	0,94	1,86	168,00	29,5	0,87	1,70	151,63
Kontrollioksa Untreated shoot	35,0	0,90	2,00	203,00	32,3	0,89	1,72	168,61

4. TARKASTELU

HAAPALAN ja JÄRVISEN (1979) mukaan oli sadeveden pH Suomessa vuonna 1977 keskimäärin 4,6. Vuonna 1971 mediaani oli enemmän kuin pH 5 kaikkialla Suomen tutkimusasemilla, mutta v. 1977 ainoastaan kahdeksalla paikkakunnalla 48:sta (vrt. myös VIRO 1953, HAAPALA 1972). Etelä-Norjassa sadeveden pH on vieläkin vähäisempi kuin Suomessa – jo v. 1974 keskimääräinen arvo oli 4,3 (DOVLAND ym. 1976). Pohjoisessa New Hampshiresä Yhdysvalloissa on mitattu jopa pH 2,1:n happamuusarvoja (LIKENS ym. 1972). Tässä tutkimuksessa käytetyn kasteluveden happamuus (pH 3) ei siis ole poikkeuksellinen.

Tislattun veden puskurikyky on heikko, joten tässä kokeessa vesi voitiin hapattaa haluttuun arvoon suhteellisen pienellä rikkihappomäärällä. Tämän vuoksi käsittelyveden H⁺-ionien lukumäärä oli pienempi kuin luonnonsateen, jonka pH-arvo on 3. Käsitellyssä käytetyn veden määrä oli myös vain noin puolet siitä sademäärästä, joka keskimäärin saadaan käsittelyjakson pituisena aikana. Myöskään käsittelyn toistuvuus ja voimakkuus sekä pisarakoko eivät vastaa normaalin sadannan tunnuksia. Näiden tekijöiden vaikutusta tuloksiin ja niiden yleistettävyyteen ei kuitenkaan eritelty lähemmin.

Fotosynteesimittausten aikana taimia pidettiin vakiovalossa tulosten vertailun helpottamiseksi. Koepuita koskevat mittaukset sen sijaan tehtiin ulkoilmassa, vaihtelevissa lämpö- ja valaistusoloissa, mikä voi vaikeuttaa taimien ja koepuiden antamien tulosten vertailua. Vertailua vaikeuttavat myös taimien ja koepuiden käsittelytapojen erot: taimet käsiteltiin avoimessa tilassa, koepuiden oksat suljettiin käsittelyn ajaksi muovipusseihin. Tämän vuoksi vesi viipyi koepuiden neulasissa pidempään kuin taimien neulasissa. Nekroottisten kärkien ja läiskien runsaus koepuiden neulasissa saattaa johtua juuri tästä.

Samanlaista neulasten osittaista vaurioitumista – nekroottisia kärkiä ja juovia – on havaittu aiemminkin rikkijyhdisteiden märkälaskeuman seurauksena. Esimerkiksi ABRAHAMSEN ym. (1976) havaitsivat nekroottisia läiskiä männyn neulasissa ja koivun lehdissä, kun niitä kasteltiin vedellä, jonka pH-arvo oli 2,5. SHRINER (1975) puolestaan havaitsi tammen kutikulavahojen eroosiota, kun leh-

tiä käsiteltiin vedellä, jonka pH oli 3,2. Useiden eri kasvilajien lehdet näyttävätkin vaurioituvan, kun märkälaskeuman pH on 3 tai sitä pienempi (SHRINER 1975, STRIFFLER ja KUEHN 1975, WOOD ja BORMANN 1975). Vakavampia vaurioita – neulasten ja lehtien kloroosia ja täydellistä nekroosia – aiheuttaa kuitenkin vasta pitkäaikainen altistaminen. Tämän kokeen lyhytaikaisuus lie-neeikin tärkein syy, miksi tällaisia vaurioita ei sanottavasti esiinny.

Pääosa vaurioituneista neulasista kuului kaksivuotisiin neulasiin, ja ainoastaan pieni osa altistamisen aikana syntyneistä neulasista vaurioitui. GUDERIANIN (1970) mukaan uusien neulasten hyvä resistenssi johtuu siitä, että altistuneissa neulasissa kaasunvaihto ja siten myös epäpuhtauksien absorboituminen vähenee. Sen sijaan vanhemmissa neulasissa tällaista ei tapahdu. Niinpä alhaisetkin epäpuhtauspitoisuudet vaurioittavat vanhoja neulasia, varsinkin pitkäaikaisen altistamisen aikana (vrt. GRILL ja HÄRTEL 1972). Nuoret neulaset näyttävät kuitenkin vaurioituvan vanhoja neulasia nopeammin, jos epäpuhtauspitoisuudet ovat suuria (KNABE 1976).

Ruukkutaimien vertailu osoittaa, ettei kasvualustan laadulla ole selvää vaikutusta neulasten vaurioitumiseen. ENDERLAIN ja KÄSTNER (1967) ovat havainneet männyn vaurioituvan vähiten, kun kaikkia pääravinteita (typpi, fosfori, kalium, kalsium ja magnesium) on riittävästi (vrt. myös STOKLASA 1923, KISSER 1966, GUDERIAN 1970). Typpi vähentää vaurioita eniten. GUDERIANIN (1970) mukaan Ca:n ja K:n lisääntyminen vähentää vaurioita eniten, mutta fosfaatti lisää niitä. Tasapainoinen ravinnetalous saattaa siis estää neulasvaurioiden syntymistä varsinkin, jos typpiyhdisteitä on riittävästi. Vaikka hiekassa kasvaneet taimet näyttävätkin kokeen loppuvaiheessa kärsivän tyypin puutetta, ei tämä kuitenkaan ollut yhteydessä neulasten vaurioitumiseen.

Sekä verson että kasvualustan käsittely happamalla vedellä alensi taimien fotosynteesitehoa. Taimien välisen yksilöllisen vaihtelun ja suhteellisen pienen havaintomäärän johdosta erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä ($p > 0,10$). Tämä ei kuitenkaan tarkoita, etteivätkö havaitut pienet foto-

synteesimuutokset olisi merkittäviä taimien elintoiminnoille, varsinkin jos muutoksen vaikutus on ajan oloon kasautuva.

Taimien fotosynteesitehon vähäinen heikkeneminen saattaa johtua sovelletusta koeyärjestelystä ja on siten näennäisen pieni. Koeyärjestelyn suurimpia puutteita oli, ettei samoja taimia ollut mahdollista mitata ennen käsittelyjen aloittamista, vaan ainoastaan käsittelyjen jälkeen, kertamittauksina. Näin voitiin verrata pelkästään eri taimia, muttei saman taimen reagoinnin muuttumista kokeen aikana. Vertailua vaikeutti myös se, että taimien välistä geneettistä vaihtelua ei voitu lainkaan mitata. On esitetty, että jopa 78 % fenotyypisistä puskurikyvyn vaihtelusta johtuu geneettisistä tekijöistä (SCHOLZ ja RECK 1977).

Koepuiden mittauksiin eivät geneettiset tekijät kuitenkaan vaikuttaneet, sillä koepuiden käsitelty ja käsittelemätön oksa sijaitivat samassa oksakiekkurassa. Täten altistetun ja altistamattoman oksan erotus ilmaisee suoraan fotosynteesissä tapahtuneen muutoksen. Varsinkin korkeissa lämpötiloissa nettofotosynteesin heikkeneminen oli ilmeinen. Vaikutus oli samanlainen kuin kuivuusstressin aiheuttama fotosynteesitehon heikkeneminen (HALLMAN ym. 1978). Käsittelyoksan pimeähengityksen väheneminen ei tosin vaikuttanut paljontaan nettofotosynteesiin. Rikkijyhdisteiden märkälassekeman vaikutusta respiraatioon on kuitenkin tutkittu hyvin vähän. Sen sijaan rikkidioksidin on todettu joko estävän tai lisäävän pimeähengitystä (BLACK ja UNSWORTH 1979). Fotosynteesitehon muutosten kytkemistä neulasten fysiologisissa ja biokemiallisissa ominaisuuksissa tapahtuviin muutoksiin ovat lähemmin selvittäneet mm. DÖRRIES (1932), THOMAS ym. (1952).

Tässä tutkimuksessa ei havaittu selviä eroja käsiteltyjen ja käsittelemättömien taimien haihdunnassa. Hiekassa kasvavien ja versoon käsiteltyjen taimien erilainen haihdunta kontrolloihin verrattuna saattaa indikoida pieniä

häiriöitä ilmarakojen toiminnassa. Rikkidioksidin tiedetään joko stimuloivan tai vähentävän ilmarakojen avautumista. Esimerkiksi BLACK ja UNSWORTH (1979) osoittivat rikkidioksidin (0.02–0.5 ppm) lisäävän pavun haihduntaa ensimmäisen kolmen altistuspäivän aikana, muttei enää neljäntenä ja viidentenä. Samanlaisiin tuloksiin ovat päätyneet useat muutkin tutkijat (SARDI 1979, UNSWORTH 1979): aluksi rikkidioksidi lisää haihduntaa, mutta myöhemmin haihdunta saattaa vähentyä. On kuitenkin epäiltävää, missä määrin rikkidioksidia koskevat tulokset ovat yleistettävissä myös rikin märkälassekmaa koskeviksi.

Käsittely happamalla vedellä vähensi taimien kokonaispituuskasvua ja neulasten kasvua, jos taimet kasvoivat hiekkamaassa. Sen sijaan moreenimaassa kasvaneissa taimissa sekä verson että neulasten kasvu lisääntyi. Samanlaisia tuloksia on saanut myös DOCHINGER (1976), jonka kokeessa hapan vesi (pH 3) vähensi merkittävästi yksivuotiaiden, hiekassa kasvavien taimien kasvua. Sen sijaan turpeessa kasvavien taimien kasvu ei vähentynyt. Myös WOOD ja BORMANN (1974) havaitsivat keinotekoisien happaman sumun (pH 2,3) estävän koivun taimien kasvua, mutta pH 3:lla ei ollut vaikutusta. Norjalaisissa tutkimuksissa (OGNER ja TEIGEN 1980) havaittiin happaman veden (pH 2 ja 3) lisäävän männyn taimien pituuskasvua ensimmäisten käsittelyvuosien aikana, mutta myöhemmin vuosina kasvu väheni. Synnä saattoi olla typen mobilisaation lisääntyminen, jolloin ravinteiden saanti aluksi helpottui, mutta huuhtoutuminen samalla lisääntyi. Niinpä typen saanti aikaa myöten väheni. Ravinteiden saannin vähenemisen vaikutuksia kasvuun ovat havainneet myös JOHNSON ja COLE (1977). Nyt saadut tulokset viittaavat siihen, että maan puskurikyky vaikuttaa kasvumuutoksiin ja että kasvumuutosten syntyminen riippuu kasvupaikan maalajista.

LÄHDELUETTELO

- ABRAHAMSEN, G., BJORN, K., HORNTVEDT, R. & TVEITE, R. 1976. Effects of acid precipitation on coniferous forest. SNSF-project. Res. Report 6:36–63.
- BLACK, V. J. & UNSWORTH, M. H. 1979. Effects of low concentrations of sulphur dioxide on net photosynthesis and dark respiration of *Vicia faba*. Jour. of Exp. Bot. 30:473–483.
- DOCHINGER, L. S. 1976. Effects of soil applications of acidified solutions on growth and survival of forest tree species. Proceedings of American Phytopathological Society. Publ. 3/1977.
- DOVLAND, H., JORANGER, E. & SEMB, A. 1976. Deposition of air pollutants in Norway. Teoksessa: Braekke, F. H. (toim.). Impacts of acid precipitation on forest and freshwater ecosystems in Norway. SNSF-project. Res. Report 6:14–35.
- DÖRRIES, W. 1932. Über die Brauchbarkeit der spektroskopischen Phaeophytinprobe in der Rauschschaden-Diagnostik. Z. PflKrankh. 42:253–273.
- ENDERLAIN, H. & KÄSTNER, W. 1967. Welchen Einfluss hat der Mengel eines Nährstoffes auf die SO₂-Resistenz jähriger Kiefern. Arch. Forstw. 16:431–435.
- FARRAR, J. F., RELTON, J. & RUTTER, A. J. 1977. Sulphur dioxide and the growth of *Pinus silvestris*. J. Appl. Ecol. 14:861–875.
- GRILL, D. & HÄRTEL, O. 1972. Zellphysiologische und biochemische Untersuchungen an SO₂ begasten Fichtennadeln Resistenz und Pufferkapazität. Mitt. Forstl. Vers. Anst. 97:367–386.
- GUDERIAN, R. 1970. Untersuchungen über quantitative Beziehungen zwischen dem Schwefelgehalt von Pflanzen und dem Schwefeldioxidgehalt der Luft. Z. PflKrankh. 77:200–220, 289–308, 387–399.
- HAAPALA, K. 1972. Sadeveden laatu Suomessa vuonna 1971. Summary: The quality of rainwater in Finland according to observations made during 1971. Vesihallitus. Tiedotus 26:1–49.
- HAAPALA, K. & JÄRVINEN, O. 1981. Sadeveden laatu Suomessa vuonna 1979. Vesihallitus. Tiedotus (painossa).
- HALLMAN, E., HARI, P., SMOLANDER, H. & RÄSÄNEN, P. 1978. The effect of planting shock on the transpiration, photosynthesis and height increment of Scots pine seedlings. Seloste: Istutusshokin vaikutus männyn taimien transpiraatioon, fotosynteesiin ja pituuskasvuun. Acta For. Fenn. 161.
- HARI, P., KANNINEN, M., KELLOMÄKI, S., LUUKKANEN, O., PELKONEN, P., SALMINEN, R. & SMOLANDER, H. 1979. An automatic system for measurements of gas exchange and environmental factors in a forest stand, with special reference to measuring principles. Seloste: Metsikön kaasuaineenvaihdon ja ympäristötekijöiden automaattinen mittausjärjestelmä. Silva Fenn. 13:94–100.
- HAVAS, P. 1971. Injury to pines in the vicinity of a chemical processing plant in northern Finland. Acta For. Fenn. 121.
- HILL, R. 1939. Oxygen produced by isolated chloroplasts. Proc. Royal Soc., B 127:192.
- HUTTUNEN, S. 1973. Studies on tree damage due to air pollution in Oulu: The toxins contained in pine needles as assayed by microanalyzer. Aquilo, Ser. Bot. 12:1–11.
- JOHNSON, D. W. & COLE, D. W. 1977. Anion mobility in soils. USEPA, Corvallis Environ. Res. Lab. EPA-600/3-77-068. Corvallis, Oregon.
- JOHNSON, B. & SUNDBERG, R. 1972. Has the acidification by atmospheric pollution caused a growth reduction in Swedish forests? A comparison between regions with different soil properties. Rapp. Uppsater Inst, Skogprod. Skogshögsk. Nr 20:1–48.
- KISSER, J. 1966. Forstliche Rauchschaden aus der Sicht des Biologen. Mitt. der Forstl. Vers. Anst. 73:7–48.
- KNABE, W. 1976. Effects of sulphur dioxide on terrestrial vegetation. Ambio 7 (5–6):213–218.
- LANGER, O. L., LÖSCH, R., SCHULZE, E. D. & KAPPEN, L. 1971. Responses of stomata to changes in humidity. Planta 100:76–86.
- LIKENS, G. E. & JOHNSON, N. M. 1972. Acid rain. Environ. 14:33–40.
- LUUKKANEN, O. 1978. Investigations on factors affecting net photosynthesis in trees: Gas exchange in clones of *Picea abies* (L.) Karst. Acta For. Fenn. 162.
- ODEN, S. 1968. Nederbördens och luftens försurningssaker, förlöpp och verkan i olika miljöer. Ekologikommittén. Statens Naturvetenskapliga Forskningsråd. Bull. nr. 1.
- OGNER, G. & TEIGEN, O. 1980. The effect of artificial acid rain on the growth of seedlings. A paper presented at an international conference on the ecological impact of acid precipitation held on March 11–14, 1980 at Sandefjord, Norway.
- PUCKETT, K., NIEBOER, J. E., FLORA, W. P. & RICHARDSON, D. 1973. Sulphur dioxide: its effects on photosynthesis ¹⁴C fixation in lichens and suggested mechanisms of phototoxicity. New Phytol. 72:141–154.
- RAO, D. N. & LE BLANC, F. 1966. Effects of sulphur dioxide on the lichen algae with special reference to chlorophyll. Bryologist 69:69–75.
- SARDI, K. 1979. Effects of SO₂ and soot on the principal metabolic processes and yield of some field crops. Paper presented in the Joint Meeting of IU-FRO on Air Pollution and Forest Ecosystem. Zabrze, Poland, 27–29. 8. 1979.
- SCHOLZ, F. & RECK, S. 1977. Effects of acids on forest trees as measured by titration in vitro, inheritance of buffering capacity in *Picea abies*. Water, Air and Soil Pollut. 8:41–45.
- SHRINER, D. S. 1975. Effects of simulated rain acidified with sulfuric acid on host-parasite interactions. Teoksessa: The First International Symposium on Acid Precipitation and the Forest Ecosystem. The Ohio State University, Columbus, Ohio, May 12–15, 1975: Program and Abstracts: 60.
- SIKORA, B. & ZIMNY, H. 1979. The effects of pollution on the quality of agriculture and forest products. United Nations, Economic Commission for Europe. Committee on Agricultural Problems, Timber Committee. Symposium on the Effect of Airborne Pollution on Vegetation, 20–24. 8. 1979. Warsaw, Poland.
- STOCKLASA, J. 1923. Die Beschädigung der Vegetation durch Rauchgase und Fabrikexhalationen. Urban Schwarzenburg Verlag. München.
- STRIFFLER, W. D. & KUEHN, M. H. 1975. Acid rainfall and conifer seedlings. Teoksessa: The First International Symposium on Acid Precipitation and the Forest Ecosystem. The Ohio State University,

- Columbus, Ohio, May 12–15, 1975: Program and Abstracts: 64.
- TAMM, C. O. 1976. Acid Precipitation: Biological Effects in Soil and on Forest Vegetation. *Ambio* 5: 235–238.
- TANAKA, H., TAKANASHI, T. & YATAZAWA, M. 1974. Experimental studies on SO₂ injuries in higher plants III. Inhibitory effect of sulfite ion on ¹⁴C fixation. *Water, Air and Soil Pollut.* 3:11–16.
- THOMAS, M. D., HENDRICKS, R. H. & HILL, G. R., Jr. 1952. Some impurities in the air and their effects on plants. *Teoksessa: MC CABE, L. C. (toim.)*. *Air Pollution*, s. 41–46. MC Graw–Hill. New York.
- THOMAS, M. D. & HILL, G. K. 1937. Relation of sulphur dioxide in the atmosphere to photosynthesis and respiration in Alfalfa. *Plant Physiol.* 12:309–383.
- UNSWORTH, M. 1979. Uptake of gaseous pollutants by plants. Paper presented in the Joint Meeting of IUFRO on Air Pollution and Forest Ecosystem. Zabrze, Poland, 27–29. 8. 1979.
- VIRO, P. J. 1953. Loss of nutrients and the natural nutrient balance of the soil in Finland. *Comm. Inst. Forest. Fenn.* 41.2.
- WOOD, T. & BORGMANN, F. H. 1974. The effects of artificial acid mist upon the growth of *Betula alleghaniensis*. *Environ. Pollut.* 7:259–269.
- WOOD, T. & BORMANN, F. H. 1975. Increases in foliar leaching caused by acidification of an artificial mist. *Ambio* 4:169–171.

SUMMARY:

EFFECT OF FOLIAR APPLICATION OF DILUTE SULPHURIC ACID ON SCOTS PINE SEEDLINGS

Needle damage, transpiration, photosynthesis and needle and stem height growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings treated with dilute sulphuric acid were studied. The acidity of the solution was pH 3. Application of a dilute solution of sulphuric acid equivalent to a half of the normal amount of precipitation occurring during the growing season damaged the surface of two-year-old needles but not that of the current-year needles. A reduction in the

photosynthetic rate of 10–30 percent was observed compared with the untreated seedlings. Transpiration of the seedlings was not affected by the treatment. Needle growth and stem height growth of the seedlings growing on a substrate representing poor sandy soil were reduced. Increased needle growth and stem height growth were characteristic for the seedlings growing on substrate representing fertile morain.