METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
TIEDONANTOJA 347
Rovaniemen tutkimusasema



LAPIN METSIEN TERVEYS
Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1989

Martti Varmola ja Pertti Palviainen (toim.)

Rovaniemi 1990

Kansi: Etelä-Lapin karut männiköt kokivat ankaran neulaskadon keskikesällä 1987. Ankaran ja vähälumisen talven aiheuttamien juuristovaurioiden seurauksena myös saman kesän kasvu jäi alhaiseksi, mistä osoituksena kääpiökasvuiset neulaset. Puiden alkavasta toipumisesta merkkinä normaalin pituiset neulaset 1988 oksan kärjessä. Vanhimmat oksan neulaset ovat vuodelta 1986. Valok. Risto Jalkanen 25.8.1988.

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 347

Rovaniemen tutkimusasema

LAPIN METSIEN TERVEYS

Toimittaneet

Martti Varmola ja Pertti Palviainen

Rovaniemi 1990

ISBN 951-40-1087-6
ISSN 0358-4283

Lapin Painotuote Oy
Kemijärvi 1990

Sisällys

Eljas Pohtila: Avaussanat 5

Anni Reissell: Ilman laatu Pohjois-Suomessa 8

Eeva-Liisa Jukola-Sulonen: Suomen metsäpuiden elinvoimaisuus vuosina 1986-88 18

Hannu Raitio, Eero Tikkanen ja Pekka Nöjd: Mäntyjen ravinnetalous Sallan puustovaurioalueella 23

Risto Jalkanen: Vauriot Lapin luonnossa talven 1986-87 jälkeen 31

Eero Tikkanen ja Hannu Raitio: Ilmastostressi ja ilmansaasteet – kesän 1987 neulaskadon syitä 34

Risto Jalkanen, Kirsti Airaksinen ja Kaarina Niska: Juurten jäädytyskokeet Hietaperänkankaalla 43

Aulis Ritari: Talven 1986-87 sääolojen poikkeuksellisuus ja pakkasvauriot Pohjois-Suomessa 47

Kari Kinnunen: Lapin vesistöjen happamoituminen 58

Siegfried Fink: Microscopical aspects of prematurely yellowing needles in Lappish trees 63

Toini Holopainen: Männyn neulasten rakennevauriot juurten jäädytyskokeilla Hietaperänkankaalla 64

Sirkka Sutinen ja Raimo Pesonen: Männyn ja kuusen neulasten soluvaurioista Lapissa 69

Yrjö Norokorpi: Talviekologiset tekijät ja puiden terveydentila 76

Antti Haverinen: Jäkälät bioindikaattoreina Rovaniemen ympäristössä 81

Marja-Liisa Räisänen: Mineraalimaan happamoituminen eräillä koealoilla Itä-Lapissa 90

Jouko Kortesharju: Ravinne- ja raskasmetallimittauksia Kolarin sementtitehtaan vaikutusalueella 96

Eero Mattila: Eräiden metsätuhojen esiintyminen Pohjois-Suomessa valtakunnan metsien inventoinnin mukaan 100

Timo Penttilä: Männyn neulasvuosikertojen lukumäärä turvemailla 1985-88 Pohjois-Suomessa 113

Pentti Sepponen: Aurausalueiden marjakasvien kemiallisesta koostumuksesta 122

Heikki Nuorteva: Sairaan metsän ravinneanalyysi 127

Eero Kubin: Sormipaisukarvejäkälän, *Hypogymnia physodes*, alkuainepitoisuudet Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueella 1986 131

LUKIJALLE

Metsäntutkimuslaitoksen Rovaniemen ja Kolarin tutkimusasemien tutkimuspäivät vietettiin 21. – 22.2.1989 Rovaniemellä, ensimmäistä kertaa Lapin korkeakoulun tiloissa. Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusasemat hoitavat tärkeän tehtävän maakunnissa kertoessaan siitä työstä, jota laitoksessa ympäri maata tehdään. Rovaniemen ja Kolarin tutkimusasemilla on jo pitkään ollut perinteenä keskittyä kunakin vuonna tutkimuspäivillään määrättyyn aiheeseen. Tämän vuoden aiheena nousi metsien terveyden- tai sairaudentila itsestään selvästi esiin; onhan asiasta puhuttu ja kirjoitettu paljon ja tiedetään, että asiaa on tiiviisti tutkittukin.

Tällä kerralla tutkimuspäivien esitelmien joukkoon ei mahtunut yhtään varsinaisen pääaiheen ulkopuolista esitelmää. Se osoittaa, että metsien terveydentilaa tutkitaan Lapissa runsaasti. Melkoinen osa siitä tehdään Metsäntutkimuslaitoksen pohjoisilla tutkimusasemilla, mutta myös Etelä-Suomessa ja eri yliopistoissa tunnetaan suurta kiinnostusta Lappia kohtaan. Tämä on eittämättä hyvä asia, tuohan se lisävoimia meitä kaikkia huolestuttavaan asiaan, metsiemme tilaan ja sen tutkimukseen. Tutkimuspäivien tarkoitus on esitellä asemien omien tutkijoiden työn tuloksia. Sen lisäksi olemme halunneet esitellä sitä yhteistyötä, jota olemme tehneet mm. Ilmatieteen laitoksen, Geologian tutkimuskeskuksen, Lapin vesi- ja ympäristöpiirin, eri yliopistojen ja ulkomaisten tutkijoiden kanssa.

Metsien terveydentilaan liittyvää keskustelua ja tutkimusta on leimannut näkökantojen erilaisuus ja hypoteesien runsaus. Se tulee esille tässäkin julkaisussa. Keski-Euroopassakin, jossa metsävaurioita on tutkittu huomattavasti pitempään ja intensiivisemmin kuin Suomessa, on yhä monia olettamuksia vaurioiden syistä. Lukijoiden tehtäväksi jää muodostaa käsitys suomalaisen metsätuhotutkimuksen nykyisestä tilasta.

Esitelmien määrällä mitaten näyttää siltä, että voimavaroja metsien terveydentilan selvityksiin on runsaasti. Lapin kannalta katsoen asia ei kuitenkaan näin ole. Kun Metsäntutkimuslaitoksen Ilman epäpuhtauksien vaikutus metsiin (ILME) -projektia vuonna 1984 perustettiin, Lappi jäi lapsipuolen asemaan; pysyvien koealojen verkko perustettiin Lappiin harvempana kuin Etelä-Suomeen. Sen lisäksi vain yksi tutkija on ollut Rovaniemen tutkimusasemalta ILME-projektissa mukana.

Viiden vuoden aikana käsitykset ovat ratkaisevasti muuttuneet. Happamoitumis- ja ILME-projektissa saadut tulokset ja etenkin tiedot Kuolan alueen suurista saastepäästöistä osoittavat, että Lapin herkkä luonto on vaarassa. Vaikka ilmansaastetutkimusta tehdäänkin runsaasti, sitä on yhä tehostettava. Tutkimalla ei tietenkään estetä metsävaurioita. Tutkimuksen tulee kuitenkin pystyä esittämään poliittisille päättäjille ne erilaisten rasitusten rajat, jotka Lapin luonto pitkällä aikavälillä kestää. Siinä tarvitaan syvälle käyvää, monitieteellistä yhteistyötä.

Tutkimusaseman johtaja *Martti Varmola*

AVAUSSANAT ROVANIEMEN JA KOLARIN TUTKIMUSASEMIEN TUTKIMUSPÄIVILLÄ 21.–22.2.1989

Arvoisat tutkimuspäivien osanottajat !

Minulle on varattu mieluisa tehtävä avata tämänkertaiset Metsäntutkimuslaitoksen Rovaniemen ja Kolarin tutkimusasemien tutkimuspäivät. Olin itse aikoinani järjestämässä ensimmäistä Rovaniemen tutkimusaseman tutkimuspäivää ja laskujeni mukaan nämä ovat nyt 18. tutkimuspäivät. Aluksi tosin puhuttiin "tutkimuspäivien" sijasta "tiedotuspäivistä" ja aivan aluksi oli kysymys vain yhdestä päivästä.

Tämänkaltaisen tiedotuskäytännön aloitti nimenomaan Rovaniemen tutkimusasema, josta se sittemmin levisi muille tutkimusasemille. Viime aikoina myös Metsäntutkimuslaitoksen keskusyksikön aktiivisimmat tutkimusosastot ovat järjestäneet vastaavanlaisia tilaisuuksia.

Tilaisuuden nimenmuutos kuvaa hyvin tapahtunutta kehitystä. Enää ei pyritä vain uusien tutkimustulosten tiedottamiseen "käteville" käytännön miehille ja naisille, vaan tavoitteena on syvempi vuorovaikutus metsäntutkimuksen ja metsätalouden käytännön välillä ja myös - eikä suinkaan vähiten - eri tutkijoiden välillä. Monista, siellä täällä yhä vielä kytevistä epäilyistä huolimatta maakunnalliset tutkimusasemat ovat osoittautuneet elinvoimaisiksi ja koko Metsäntutkimuslaitoksen kannalta menestykseksi. Laitoksen tutkijoista noin kolmannes on nykyisin asemilla. Tutkimuksia valmistuu asemilla kuitenkin suhteellisesti enemmän kuin keskusyksikössä. Laitoksen omissa sarjoissa ilmestyneistä tutkimuksista kaikkiaan noin puolet on peräisin asemilta. Merkillepantavaa on ollut nimenomaan väitöskirjojen ym. opinnäytetöiden runsaus.

Avoimuus, jota "tutkimuspäivien" kaltainen tiedotuskäytäntö edustaa, asettaa suuria vaatimuksia sekä tiedon vastaanottajille että tutkijoille itselleen. Glasnostin hengessä tutkijat esittelevät paitsi loppuunsaatettuja tutkimuksia ja niiden tuloksia myös väliaikatietoja meneillään olevista tutkimuksista, joskus pelkkiä hypoteeseja tai vain mietelmiään käsillä olevista aiheista. Tutkimustyön saloihin vihkiytymättömille tutkijayhteistyöstä saattaa näin välittyä sekasortoinen ja ristiriitainen kuva. Sille, joka haluaa saattaa epäilyksenalaiseksi koko tutkimusalan, omaksuttu tiedotuskäytäntö tarjoaa hyviä aineksia. Useammin kuin kerran on mietitty, pitäisikö luopua nykyisestä käytännöstä ja palata vanhaan, vaiteliaampaan tiedottamiseen. Jotta niin ei tarvitsisi tehdä, kaikkien osapuolten pitäisi ehkä entistä enemmän ottaa huomioon tiedon lajit ja hierarkia. Ylimpänä pitäisi aina olla tieteellisesti perusteltu tieto, joka on ankkuroitu yleisempiin tietojärjestelmiin kokeiden, spesifisten menetelmien ja huolellisesti kerättyjen ja tutkittujen aineistojen avulla. Alimpana hierarkiassa on tutkijan mielipide, joka painoarvoltaan ei välttämättä poikkea mistä tahansa valistuneesta kansalaismielipiteestä.

Toimittajille ja muille ammattitiedottajille esittämäni toivomus on tuskin kohtuuton. Aina kun tutkija esittää sensaatiomaisia tuloksia tai ylipäänsä tuloksia, on syytä tiukata hypoteeseja, aineistoja ja menetelmiä, vieläpä päättelyn logiikkaakin on hyvä epäillä. Kokemuksesta tiedän, että yleensä näin ei tehdä vaan pikemminkin päinvastoin: kohotetaan auktoriteetin

asemaan tutkija, joka noudattaa tunnettua under-ground sääntöä, mitä pienemmät aineistot, sen suuremmat johtopäätökset.

Esittämäni toivomus koskee kuitenkin paljon suuremmassa määrin tutkijoita. Tiedon lajit ja hierarkia pitäisi olla heille koulutuksen ansiosta itsestään selvä asia. Tutkija itse viime kädessä vastaa kaikesta esittämästään. Hänen täytyy tietää avatessaan suunsa tämänkaltaisissa julkisissa tilaisuuksissa, että hänen lausumiaan voidaan myös väärinymmärtää ja -käyttää. Tutkijan vastuu koskee nimenomaan hänen saamiensa tulosten ja esittämiensä johtopäätösten tieteellistä pätevyyttä. Vain menetelmiltään pätevät, tilastollisesti luotettavat, sanalla sanoen tieteellisen kritiikin kestävät tutkimukset tuottavat tuloksia, joiden avulla voidaan suunnistaa tulevaisuuteen. Sellaisiin tutkimuksiin voidaan nojata myös käytännön metsänkäsittelyohjeiden laadinnassa. Sellaisten tutkimusten tuottaminen on Metsäntutkimuslaitoksen pääasiallinen tehtävä.

Tutkijoiden tulisi siis harjoittaa entistä tarkempaa rajankäyntiä siitä, mikä on tieteellisesti perusteltua ja mikä ei. Varottava olisi erityisesti ajautumista ns. tiedotustilaisuustieteeseen, jossa aidon tieteellisen keskustelun sijasta julkisuuteen syydetään perustelemattomia, ristiriitaisia väitteitä. Se hämmentää yleisen mielipiteen ja vie tutkimustyöltä sen välttämättä tarvitseman työrauhan.

Näiden tutkimuspäivien teema, Lapin metsien terveys, on ajankohtainen ja mielenkiintoinen. On hyvä, että näin moni alan tutkija esittelee tutkimuksiaan samalla foorumilla. Keskustelua varmaan syntyy jälleen sekä julkisuudessa että tutkijayhteisön sisällä. Sen kuluessa on tarpeen pitää mielessä edellä sanotun lisäksi se, että metsien terveys on laaja käsite. Siihen vaikuttavat ns. luonnolliset tuhonaiheuttajat, ilman saasteet ja vaihtelevat luonnonolot. Se, mitä näemme metsän puissa on näiden tekijöiden yhteisvaikutusta. Eri tekijöiden välisistä yhteyksistä ja toisaalta yhden tietyn tekijän vaikutuksesta on vaikea saada tietoa. Tarvitaan kokeellista tutkimusta ja luonnonolojen jäljittelyä kasvihuoneissa. Järjestettyihin kokeisiin liittyy kuitenkin aina epävarmuutta, sillä laboratorio ei koskaan vastaa todellisuutta luonnossa.

Vanhan jätkän kirous: "voi tuhannen tuhatta havupuuta ja joka neulasen päässä perkele", sopii hyvin kuvaamaan tämänlaatuisen tutkimuksen ongelmia. Professori Matti Nuorteva on jo vuosien ajan luvannut, ensin markan, sittemmin viisi markkaa sille, joka osoittaa hänelle täysin terveen puun. Hän on saanut aina pitää markkansa.

Tutkija erikoistuu aina johonkin osaan puiden terveyden kokonaisuutta. Kuka saa selville neulasten vahapinnan muutoksia, kuka neulasmassan muutoksia, kuka juuriston reaktioita jne. Tuskin kukaan tutkija väittää ainoastaan yhden tietyn tekijän vaikuttavan puiden terveydentilaan. Tutkijoiden oppiriidat ovat usein näennäisiä ja johtuvat tutkijoiden erikoistumisesta.

Erikoistumisesta johtuvien "oppiriitojen" tuominen julkisuuteen ennen tiedeyhteisön sisäistä keskustelua on virhe. Se murentaa tutkimuksen uskottavuutta ja vie pohjaa yhteistyöltä, jota kuitenkin tarvittaisiin. Oppiriidan piirteitä on ollut mm. Metsäntutkimuslaitoksen tekemien harsuuntumistutkimusten arvostelussa. Harsuuntumisen inventointi on YK:n asiantuntijaelimen suosittelema tutkimusmenetelmä, jota Suomikin on sitoutunut noudattamaan. Se on käytössä kaikissa Euroopan maissa. Toistaiseksi ei ole keksitty parempaa menetelmää saada nopeasti yleiskuva metsien terveydentilan muutoksista. Metsäntutkimuslaitoksen ilmansaastetutkimukset on keskitetty ns. ILME-projektiin, jossa tutkitaan paitsi harsuuntumista, myös monia muita metsän elinvoimaisuutta kuvaavia tunnuksia ja ilmansaasteitten vaikutuksia metsäekosysteemin eri osiin. Tutkittavana ovat kasvillisuuden muutokset, maaperän muutokset, puuston kasvu, hyönteisten esiintyminen ym. aihepiiriin liittyvät ilmiöt. Liioittelematta voidaan sanoa, että tällä tutkimuksella on syvyyttä ja hierarkisuutta. ILME-projektin laaja, koko maan kattava koealaverkko varmistaa tulosten tilastollisen luotettavuuden ja yleistettävyyden. Pääpaino on erilaisilla seurantatutkimuksilla, mutta myös kokeellista tutkimusta on tehty mm. Lapin neulaskatotutkimuksessa, joka aloitettiin heti oireiden ilmettyä v. 1987.

Mikä on Lapin ja Suomen metsien terveys, siitä tulemme kuulemaan joukon esityksiä. Lopullista selkoa asiaan emme näiden päivien aikana varmaankaan saa. On kuitenkin syytä uskoa, että aloitetut tutkimukset, yhdistettynä metsien kasvun vaihtelun analyyseihin ym. oheistutkimuksiin tuovat aikanaan vastauksen tuohon kaikkia suomalaisia nykyisin askarruttavaan kysymykseen. Tässä uskossa avaan nämä päivät.

Ylijohtaja, professori *Eljas Pohtila*

ILMAN LAATU POHJOIS-SUOMESSA

Anni Reissell

JOHDANTO

Ilman primääriset epäpuhtaudet ovat teollisuuden, energian tuotannon, liikenteen ja kotitalouksien toiminnan seurauksena ilmaan pääseviä kaasumaisia tai hiukkasiin sitoutuneita komponentteja (mm. rikkidioksidi, typpioksidit, orgaaniset hiiliyhdisteet, ammoniakki, hiilimonoksidi ja raskasmetallit). Happamoittavat yhdisteet, kuten rikkihappo ja typpihappo, muodostuvat näistä primäärisistä epäpuhtauksista fysikaalisten ja kemiallisten muutuntareaktioiden kautta. Yhä enemmän kiinnitetään huomiota myös muutuntamekanismeihin liittyviin komponentteihin kuten otsoni, PAN, vetyperoksidi sekä vapaat radikaalit.

Skandinaviassa ilman epäpuhtauksien aiheuttamaa sadeveden, maaperän ja vesistön happamoitumista on tutkittu jo 1950-luvulta lähtien (Odén 1968). 1980-luvulla ilman epäpuhtauksien mittauksia tehdään pysyvästi ns. tausta-asemilla sekä projektiluontoisesti taajama-alueilla. Tausta-alueiden havaintoasemilla kerätään sadevesinäytteitä (kokonaislaskeumana tai märkä- ja kuivalaskeumiin erotettuina), leijumanäytteitä sekä lisäksi seurataan ilman kaasumaisten yhdisteiden pitoisuuksia.

Havaintoasemien mittausohjelmien ja tulosten mukaisesti tämän esityksen painopiste on rikki- ja typpiyhdisteissä. Eri komponenttien tarkastelussa on pyritty käyttämään saman asemaverkon havaintoasemien tuloksia näytteenottomenetelmien vertailukelpoisuuden vuoksi.

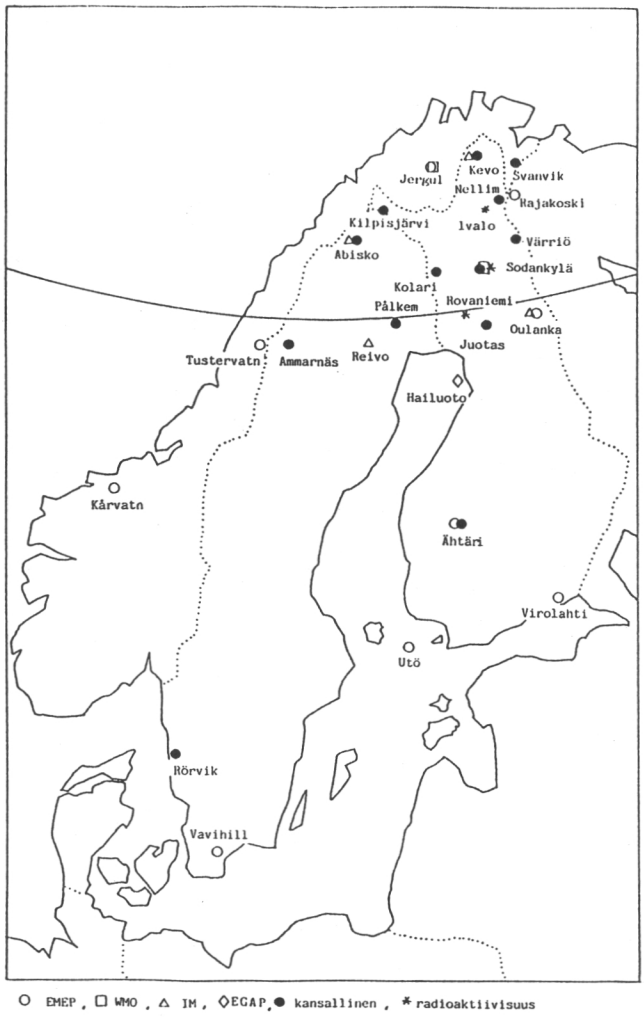
HAVAINTOASEMAT JA MITTAUSOHJELMAT

Ilmatieteen laitoksen ilmanlaatuosasto on 1970-luvun alusta lähtien seurannut tausta-alueiden ilmanlaatua pääasiassa kansainvälisiin mittausverkkoihin kuuluvilla asemilla. Vuoden 1989 alussa on viisi asemaverkkoa, joista yksi on kansallinen. Viidestätoista asemasta kolme sijaitsee napapiirin pohjoispuolella: Kevon kaksi asemapaikkaa sekä Sodankylä. Vesi- ja ympäristöhallituksen havaintoasemat sekä Ruotsin, Norjan ja Neuvostoliiton asemat mukaanlukien Pohjois-Fennoskandian alueella on 16 tausta-alueiden ilmanlaatua mittaavaa asemaa (kuva 1).

Laajin mittausohjelma on tällä hetkellä käytössä Euroopan talouskomission kaukokulkeutumista tutkivilla EMEP-asemilla (European Monitoring and Evaluation Programme). Muilla havaintoasemilla kerättävistä näytteistä määritetään yleensä vain osa EMEP-asemilla mitattavista komponenteista sekä lisäksi esim. raskasmetalleja. Eri verkon asemien sijoituspaikka, mittausohjelman laajuus ja näytteenotto riippuvat asemaverkon toiminnan tarkoituksesta sekä käytettävissä olevista taloudellisista resursseista.

Asemaverkot

Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission ECE:n alainen EMEP-verkko on perustettu vuonna 1977 Euroopan kaukokulkeutumisselvityksiä varten. Norjassa Jergul ja Tustervatn sekä Neuvostoliitossa Rajakoski kuuluvat EMEP-verkostoon. EMEP-asemilla



Kuva 1. Pohjois-Skandinavian ilmanlaatumittausten tausta-asemat ja kirjoituksessa esiintyvät eteläisimmät asemat.

kerätään sadevesinäytteet kokonaislaskeumana sadepäiviltä ja mittausohjelmassa ovat pH, sähkönjohtokyky, sulfaatti, nitraatti, kloridi, natrium, kalium, magnesium, kalsium ja ammonium. Leijumasta analysoidaan partikkelisulfaatti ja kaasuista monitoroidaan rikkidioksidia, typpidioksidia ja otsonia. Uudemmilla suodatinkeräyslaitteilla analysoidaan kokonaisnitraatti (typpihappo + nitraatti) ja kokonaisammonium (ammoniakki + ammonium). Laskeumanäytteet, suodattimet ja rikkidioksidin absorptioliuokset analysoidaan Helsingissä ilmanlaatuosaston laboratoriossa.

Kansainvälisen ilmatieteen järjestön WMO:n toimesta vuonna 1973 aloitetun BAPMoN-ohjelman (Background Air Pollution Monitoring Network) asemilla tutkitaan ilman epäpuhtauksien ilmastollisia pitkäaikaisvaikutuksia. Pohjois-Skandinaviassa tähän verkkoon kuuluvat Norjan Jergul sekä Sodankylä. Laskeumanäytteet kerätään viikottain erottaen märkä- ja kuivalaskeumat. Näytteistä mitataan pH, sähkönjohtokyky, SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-, Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+} ja NH_4^+. Lisäksi kerätään kahden vuorokauden fraktioitu leijuma, jonka massa mitataan. Sodankylän asemalla tehdään myös yläilmakehän otsoniluotauksia.

Helsinkikomission HELCOM:n EGAP-verkko (Group of Experts on Airborne Pollution of the Baltic Sea Area) perustettiin vuonna 1980 Itämereen tulevan ilmakuormituksen tutkimista varten. Hailuodon havaintoasema kuuluu tähän verkkoon. Asemalla kerätään viikottain kokonaislaskeumanäytteet kahdella rinnakkaiskeräimellä. Mittausohjelma on BAPMoN-verkon laajuinen raskasmetalleilla (Pb, Cd, Cu ja Zn) täydennettynä.

Uusimman vuonna 1987 perustetun Pohjoismaiden ministerineuvoston alaisuudessa toimivan yhdennetyn seurannan IM-verkon asemat poikkeavat muista ilmanlaatuseurannan tausta-asemista. Pienillä valuma-alueilla, kuten Oulangan Pesosjärvellä ja Kevon Vuoskujärvellä, tutkitaan samanaikaisesti ilmaa, vettä, kasvillisuutta ja eläimistöä. BAPMoN-verkon kaltainen mittausohjelma on tulevaisuudessa EMEP-verkon laajuinen. Kokonaislaskeumanäytteet kerätään kuukausinäytteiksi yhdistettävissä viikon jaksoissa.

Ilmatieteen laitoksen kansalliseen verkkoon kuuluvat Pohjois-Suomessa Sodankylä ja Kevo. Verkon tuloksia käytetään mm. saman alueen taajamatutkimuksissa vertailuaineistona.

Sadevesinäytteet kerätään kuukausittain kokonaislaskeumana, josta mitataan BAPMoN-verkon mittausohjelman lisäksi vielä kokonaisfosfori.

Ilman radioaktiivisuuden havaintoasemilla, joita Pohjois-Suomessa ovat Rovaniemi, Sodankylä, Ivalo ja Kevo, monitoroidaan jatkuvasti aerosolipartikkeleiden beta-aktiivisuutta sekä taustan gammasäteilyä. Lisäksi Ivalossa kerätään sadevesinäytteet päivittäin. Suodatin- ja sadevesinäytteet lähetetään Helsinkiin, missä näytteiden lyhyt- ja pitkäikäinen alfa- ja beta-aktiivisuus mitataan. Tarvittaessa näytteitä lähetetään jatkotutkimuksiin Säteilyturvakeskukseen.

Uudet asemat

Ilmatieteen laitoksen kaksi uusinta tausta-asemaa perustetaan vuoden 1989 aikana juuri Pohjois-Suomeen; kansainvälistä kaukokulkeutumista tutkivaa EMEP-verkkoa täydennetään Kuusamon Oulangan asemalla ja Kuolan päästöjen mittaus aloitetaan Sallan Värriössä. Asemien toiminta alkaa syksyllä. Kuolan päästöjä varten on Norjalla tällä hetkellä viisi asemapaikkaa Neuvostoliiton rajan tuntumassa.

Kuolan päästöjä mittaavan Värriön aseman mittausohjelma käsittänee alustavan suunnitelman mukaan kaasumaisen rikkidioksidin ja typpihapon, aerosolihiukkasten sulfaatin ja nitraatin sekä vuorokausinäytteinä joka kolmas päivä kerättävät sadevesinäytteet. Sadevesinäytteistä analysoidaan normaaliin EMEP-ohjelmaan kuuluvien komponenttien lisäksi myös raskasmetalleja. Asemalla rekisteröidään myös meteorologisia olosuhteita.

Taajamamittaukset

Ilmanlaatuosastolla tehdään palvelututkimuksena kunnallisia ilmanlaadun perusselvityksiä paikallisten päästöjen vaikutusalueilla, jolloin tavoitteena on ilmansuojelulain mukaisten enimmäispitoisuuksien valvonta, altistuspitoisuuksien selvittäminen sekä ympäristökuormituksen ja luonnossa esiintyvien vaurioiden määrittäminen. Tutkimus käsittää yleisimpien epäpuhtauksien (SO_2, NO_x ja hiukkaset) päästökartoitukset, leviämislaskelmat ja mittaukset sekä osassa projekteja myös männynneulasten vauriokartoituksen. Pohjois-Suomessa on Rovaniemen selvityksessä 1983 - 84 arvioitu rikkidioksidin päästöjä, leviämistä ja vaikutuksia ympäristöön (Kartastenpää ym. 1985). Myös Kemissä on vuosina 1983 - 84 (Vaajama ym. 1986) ja Kemijärvellä vuonna 1987 (Jokinen ym. 1988) tehty vastaavia tutkimuksia. Kemin kartoitus uusitaan tänä vuonna ja Rovaniemelläkin lähivuosina.

TAUSTA-ASEMIEN MITTAUKSET

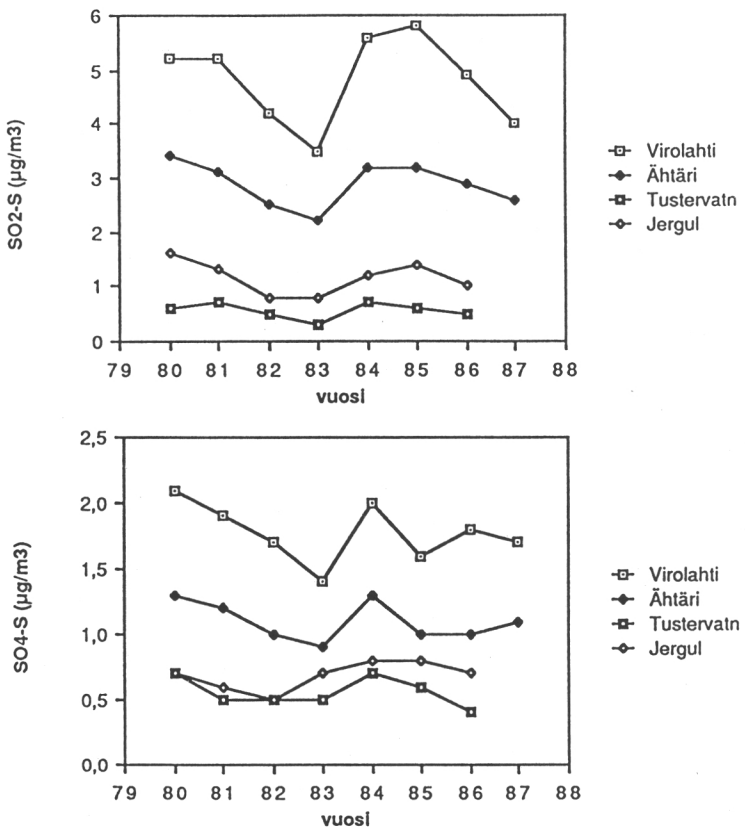
Rikki- ja typpiyhdisteet, sadeveden pH

Rikki- ja typpiyhdisteet esiintyvät ilmakehässä kaasumaisessa muodossa pääasiassa rikkidioksidina ja typpioksidina sekä myös typpidioksidina ja ammoniakkina. Aerosolipartikkeleissa rikki on suurimmaksi osaksi ammoniumsulfaattina, typpi nitraatteina, nitriitteinä ja ammoniumina. Typen oksideilla on reaktiivisina ja fotokemiallisesti aktiivisina keskeinen merkitys happaman laskeuman syntymisessä sekä pintailman otsonipitoisuuden kasvussa. Ne hapettuvat nopeasti muodostaen uusia yhdisteitä, joista tärkeimpiä ovat typpihappo ja typpihapoke, kuten myös peroksiasetyylinitraatit (PAN) ja hiukkasnitraatit. Ammoniakki on liukoinen emäs, jolla on merkitystä typpi- ja rikkihappoja neutraloivana komponenttina sekä maaperän happamoitumisessa.

Suurin osa saasteperäisistä rikki- ja typpiyhdisteistä vapautuu rikkidioksidina ja typpioksidina energiantuotannosta, teollisuudesta ja liikenteestä. Lisäksi typpiyhdisteitä vapautuu maaperästä ja ilmakehän sähköpurkauksista. Teollisuudessa rikin suurimpia päästölähteitä ovat metallisulattamot ja öljynjalostamot.

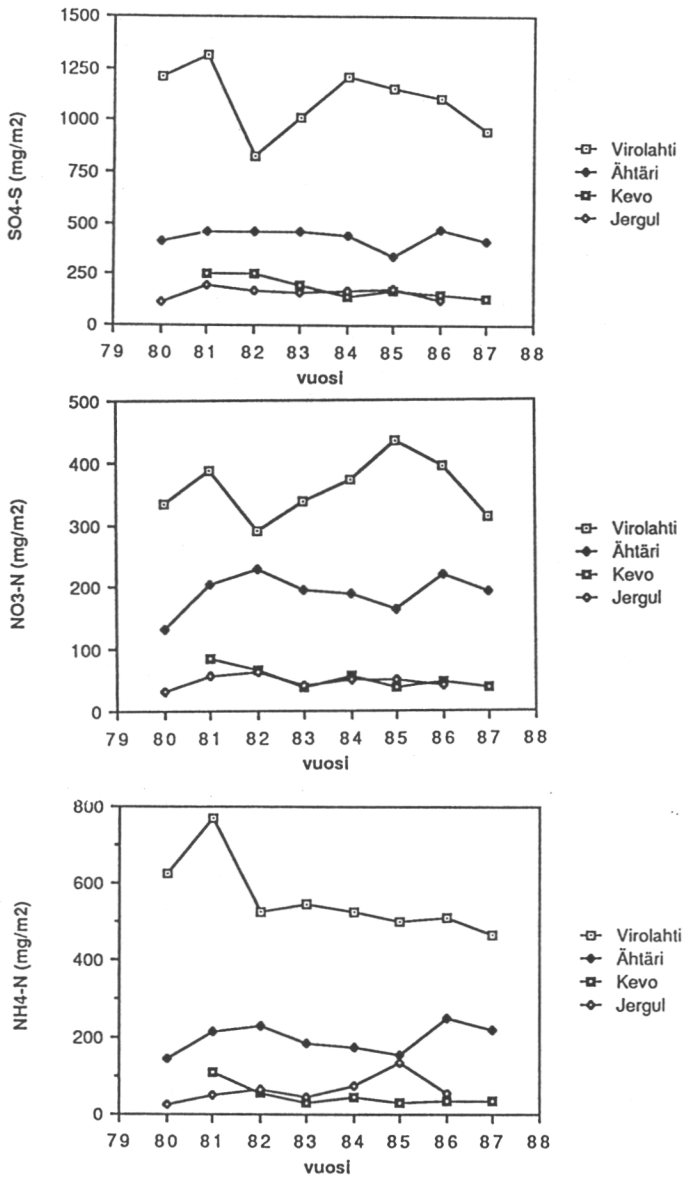
Maaperän ja vesistöjen happamoitumiseen vaikuttavia rikkipäästöjä on 1973 - 83 vähennetty läntisessä Euroopassa noin 40 % (Semb ja Dovland 1986). Suomen omat rikkipäästöt ovat vähentyneet saman verran 1970-luvun maksimista (YM 1988). Viime vuosien aikana on useissa julkaisuissa raportoitu muuntumisreaktioihin liittyvien hiilimonoksidin ja otsonin sekä metaanin ja muiden hiilivetyjen kasvavia pitoisuuksia pintailmassa (Feister ja Warmbt 1987).

Keski- ja Pohjois-Norjan EMEP-asemilla (Tustervatn, Jergul) ilman keskimääräinen rikkidioksidipitoisuus oli vuonna 1986 0,5 ja 1,0 $\mu g/m^3$, hiukkasiin sitoutuneen sulfaattirikin pitoisuudet 0,4 ja 0,7 $\mu g/m^3$ sekä sadeveden sulfaattirikkipitoisuudet 0,26 ja 0,49 mgS/l. Aivan Neuvostoliiton rajan tuntumassa olevalla kansallisella asemalla (Svanvik) ilman rikkidioksidipitoisuus on vuoden 1986 lyhyen ajanjakson mittaustulosten perusteella Norjan eteläisempiä asemia korkeampi (Hoem ja Joranger 1988). Kuvassa 2 esitetään ilman rikkidioksidi- ja partikkelirikkipitoisuus kahdella Suomen (Virolahti ja Ähtäri) ja kahdella Pohjois-Norjan asemalla (Tustervatn ja Jergul) vuosina 1980 - 87.



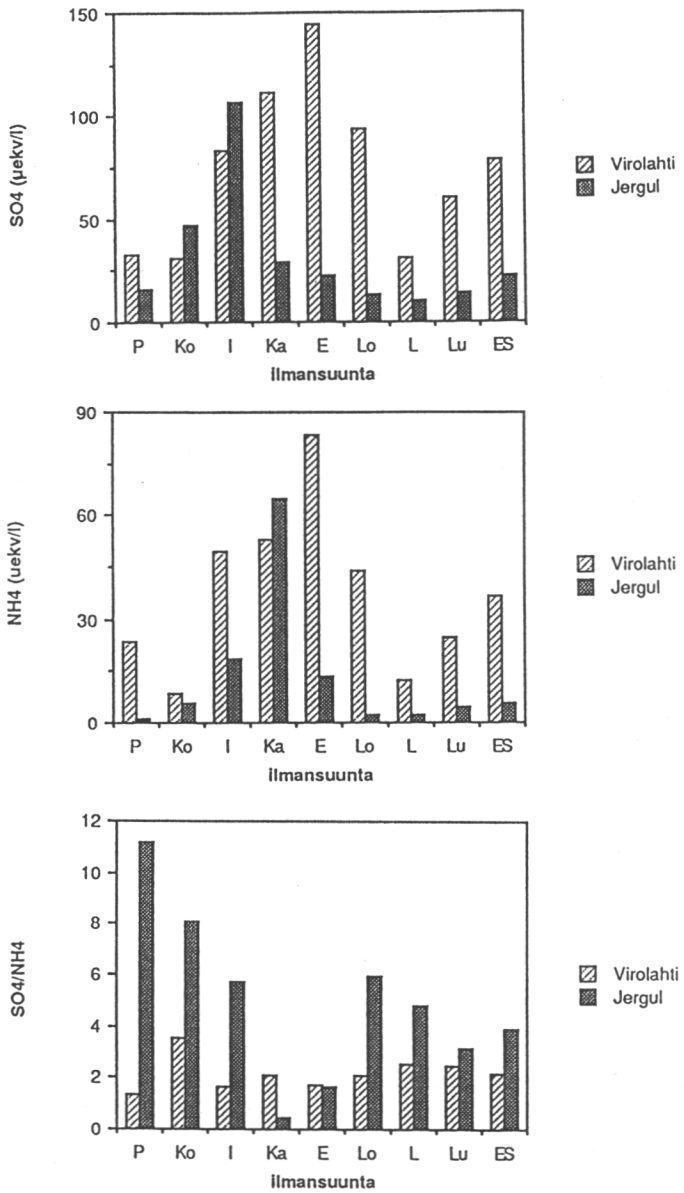
Kuva 2. Ilman rikkidioksidipitoisuuden ($\mu gS/m^3$) ja leijuman sulfaattirikin vuosikeskiarvot ($\mu gS/m^3$) 1980-87.

1950-luvun lopulla ammonium- ja nitraattitypen keskimääräinen vuosilaskeuma oli noin 60 mg/m^2 (Buch 1960). Vuonna 1986 olivat pelkästään ammoniumtypen märkälaskeuma-arvot Suomen eteläisillä asemilla Virolahdessa ja Ähtärissä 520 sekä 245 mg/m^2. Vastaavat arvot Pohjois-Norjan asemilla (Tustervatn ja Jergul) olivat 131 ja 56 mg/m^2 (Schaug ym. 1987). Etelä-Suomen meriasemalla (Haapasaari) typen kokonaislaskeuma (kuiva- ja märkälaskeuma) oli vuosina 1984 - 88 noin kaksi kertaa korkeampi kuin pohjoisella Hailuodon asemalla. Kuvassa 3 esitetään neljän aseman sulfaatin, nitraatin ja ammoniumin kokonaislaskeuma 1980-87.

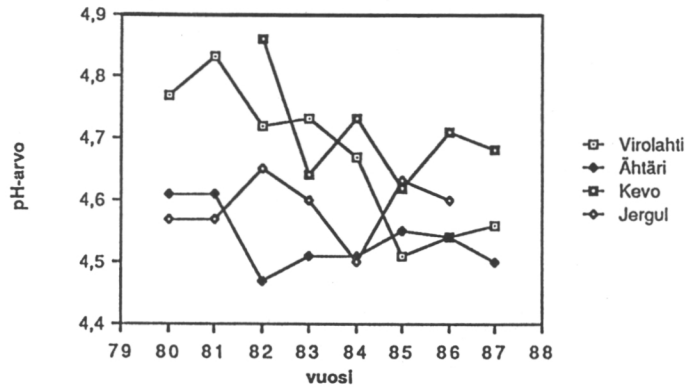


Kuva 3. Sulfaattirikin, nitraattitypen ja ammoniumtypen vuosittaiset kokonaislaskeumat (mg/m^2) Etelä- ja Pohjois-Suomen sekä Pohjois-Norjan asemilla 1980-87.

Kuvassa 4 on Jergulin ja Virolahden rikki- ja ammoniumlaskeumat sekä laskeumien suhde tuulensuuntien mukaan jaoteltuina vuodelta 1986. Koska ammoniumin katsotaan yleensä olevan pääasiallinen neutraloiva komponentti sadevedessä, on sulfaatin ja ammoniumin suhteella merkitystä myös sadeveden happamuuden kannalta. Yli puolet sulfaatin, nitraatin ja ammoniumin märkälaskeumasta tulee Virolahden ja Ähtärin asemille eteläisten ilmavirtauksien mukana (Laurila ja Joffre 1987).



Kuva 4. Kokonaislaskeuman sulfaatti, ammonium ja SO_4^{2-}/NH_4^+ -suhde (uekv/l) ilmansuunnan mukaan jaoteltuna Pohjois-Norjan ja Etelä-Suomen asemalla (ES=määrittelemätön osuus) 1986.



Kuva 5. Sadeveden pH:n vuosikeskiarvot Etelä- ja Pohjois-Suomen sekä Pohjois-Norjan asemilla 1980-87.

Vuoden 1985 päästötiedoista EMEP-mallilla arvioidussa rikin kokonaislaskeumassa Kuolan alueen suuret päästöt näkyvät jyrkkänä gradienttina Koillis-Suomessa. Neuvostoliiton rajan tuntumassa kokonaislaskeuma on yli 1 g(S) neliömetriä kohti vuodessa. Päästölähteitä lähestyttäessä kasvaa rikin kuivalaskeuman osuus (Tuovinen 1988).

Kuvassa 5 esitetään sadeveden pH:n vuosikeskiarvot Etelä- ja Pohjois-Suomen sekä Pohjois-Norjan asemilla 1980-87. Erityisesti Virolahden asemalla havaitaan pH-arvon jyrkkä lasku 1970-luvulta lähtien.

Otsoni

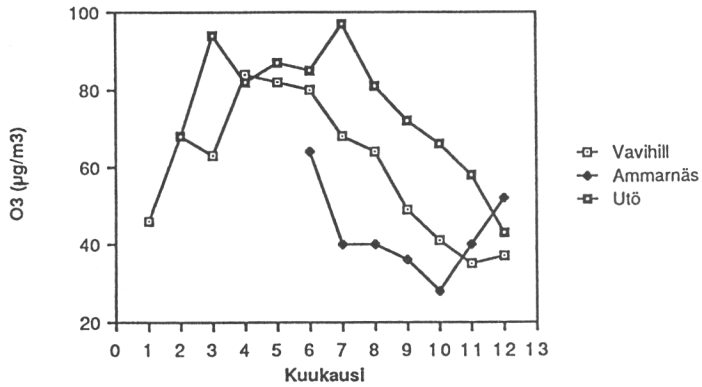
Pintailman otsoni on paljolti peräisin typen oksidien, hiilivetyjen ja hiilimonoksidin valokemiallisista reaktioista. Keväällä otsonipitoisuudet alkavat yleisesti kohota auringon säteilyn ja valokemiallisen tuotannon lisääntyessä. Etelä-Suomessa korkeita pitoisuuksia havaitaan erityisesti etelästä ja lounaasta tulevissa ilmamassoissa (Joffre ym. 1988).

Pintailman otsonimittaukset aloitettiin Suomessa Utössä heinäkuussa 1985, Ähtärissä vuoden 1986 syyskuussa ja Virolahdella kesällä 1988; yläilmakehän otsoniluotauksia tehdään Sodankylässa. Skandinavian pohjoisin pintailman otsonimittauksia tekevä asema on Ruotsin Ammarnäs (Granat 1987). Mantereisissa ja pohjoisessa sijaitsevilla havaintoasemilla ilman otsonipitoisuus poikkeaa Utön saaren mittaustuloksista: kesän ja syksyn 1986 otsonipitoisuudet olivat vuonna 1986 Ammarnäsissä noin puolet Utössä mitatuista pitoisuuksista (kuva 6). Otsonin kasvillisuudelle kriittisenä pidettävä päivittäinen seitsemän tunnin raja-arvo 50 $\mu g/m^3$ ylittyy Etelä-Suomessa kasvukauden aikana useinkin.

Vuosikeskiarvojen valossa ei Ruotsin eteläisen aseman (Rörvik) otsonipitoisuudessa ole tapahtunut muutosta 1981-87 (Dahlberg 1988). Keski-Euroopassa on kuitenkin myös taustaasemilla havaittu useamman kymmenen vuoden aikana pintailman otsonipitoisuuden nousevan vuosittain noin 1 - 3 % (Feister ja Warmbt 1987).

Raskasmetallit

Erilaisten polttoaineiden palamisen yhteydessä höyrystyvät raskasmetallit kondensoituvat pienhiukkasten pinnalle ja huuhtoutuvat ilmasta sadeveden mukana. Lyijy on pääasiallisesti



Kuva 6. Pintailman otsonipitoisuuden kuukausikeskiarvot ($\mu g/m^3$) Etelä-Suomen, Etelä-Ruotsin ja Pohjois-Ruotsin asemilla 1986.

peräisin bensiinistä. Nikkelin, vanadiinin, kadmiumin, arseenin, kuparin, sinkin, kromin ja mangaanin lähteitä ovat fossiiliset polttoaineet, terästeollisuus, sulattamot, jätteiden poltto ja fosfaattilannoitteet.

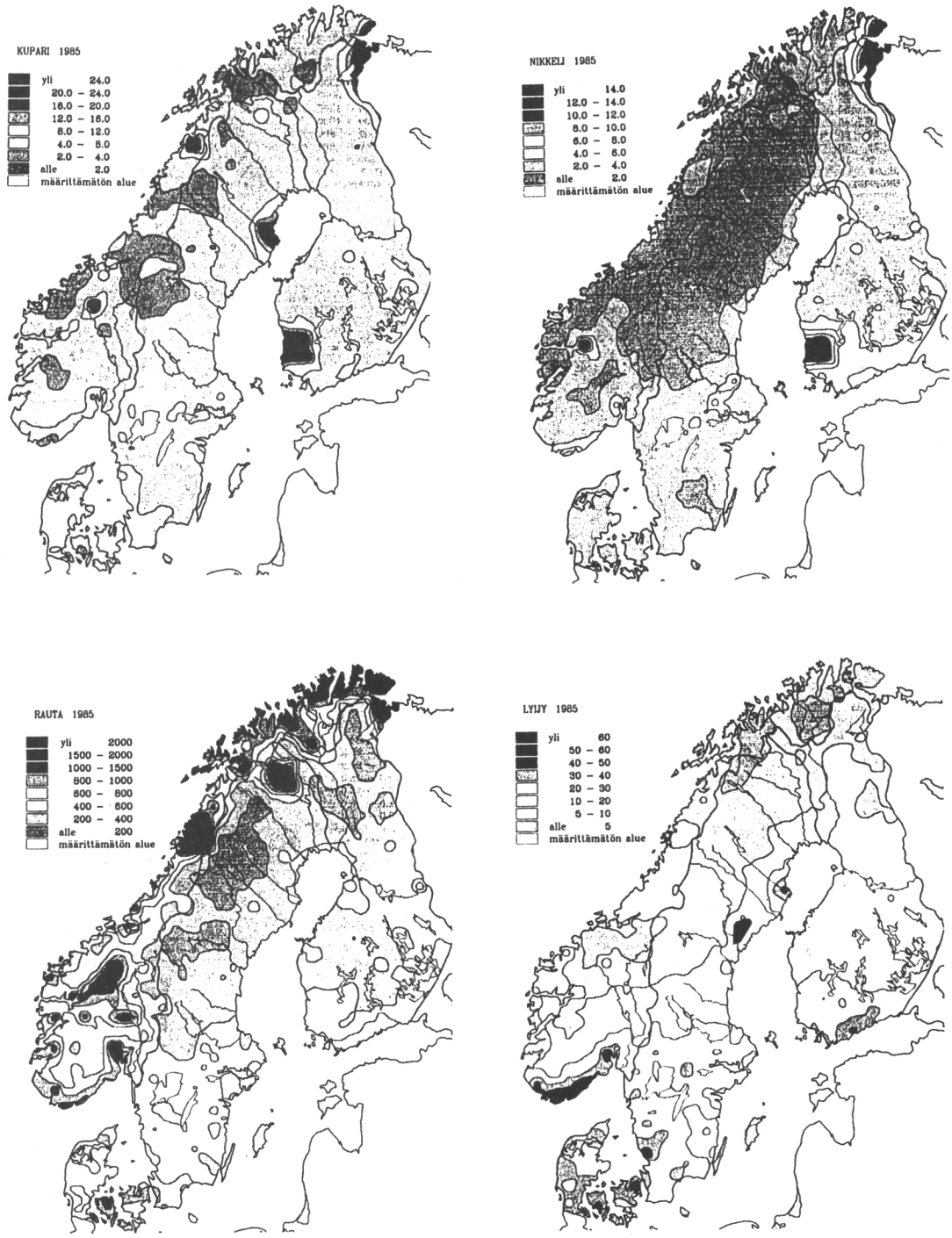
Sadeveden raskasmetallipitoisuuksia on seurattu Suomessa vain merellisillä asemilla (Haapasaari ja Hailuoto). Norjassa on vuodesta 1980 lähtien mitattu sadeveden lyijy-, kadmium- ja sinkkipitoisuuksia neljällä tausta-asemalla (STF 1987). Vuonna 1985 tehdyssä Pohjoismaisessa raskasmetallitutkimuksessa (Rühling ym. 1987) analysoitiin sammalnäytteistä yhdeksän metallin pitoisuudet. Norjan ja Suomen koillisosien kuparin, raudan ja nikkelin kohonneiden pitoisuuksien (kuva 7) arveltiin johtuvan Murmanskin alueen metallikombinaateista. Ruotsissa ja Tanskassa vastaavia tutkimuksia on tehty aikaisemmin (vuosina 1975 ja 1980) ja seuraava koko Pohjoismaat kattava on suunnitteilla vuodeksi 1990.

TAAJAMAKARTOITUS

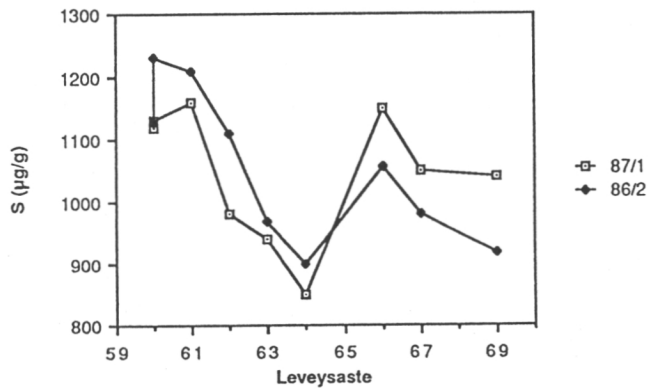
Kemin ja Keminmaan ilmanlaadun perusselvityksessä 1983 - 84 (Vaajama ym. 1986) saatiin vuoden 1983 rikkidioksidin päästötietoja käyttäen kohdealueen kokonaispäästöiksi noin 5 250 tonnia vuodessa. Kemin osuus oli noin 96% ja valtaosa eli noin 84% oli peräisin teollisuudesta. Leviämismallilla lasketut rikkidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvot olivat suhteellisen alhaisia; noin 60% valtioneuvoston päätöksen mukaisesta ohjearvosta (40 $\mu g/m^3$). Tunti- ja vuorokausipitoisuudet ylittivät paikoitellen ohjearvot (500 ja 200 $\mu g/m^3$), erityisesti sellutehtaiden läheisyydessä.

Työterveyslaitos tutki Rovaniemen ilmanlaatua vuosina 1972 - 75, jolloin rikkidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvot vaihtelivat välillä 18 - 26 $\mu g/m^3$. Ilmatieteen laitoksen perusselvityksessä vuosina 1983 - 84 (Kartastenpää ym. 1985) käytettiin hyväksi myös mäntyvauriokartoitusta epäpuhtauksien vaikutusten ja pitkäaikaisen leviämisen selvittämiseksi. Ilman rikkidioksidipitoisuuden vuosikeskiarvoiksi saatiin kahdella mittausalueella 18 $\mu g/m^3$ ja 16 $\mu g/m^3$. Rovaniemen rikkidioksidin pitkäaikaispitoisuudet olivat noin 4 - 5 kertaisia Sodankylän tausta-aseman samanaikaiseen vuosikeskiarvoon verrattuna. Mäntyvauriokartoituksen mukaan alueen voimakkaimpien vaurioiden vyöhykkeet olivat melko pieniä.

Kemijärven ilmanlaadun perusselvityksen raportti valmistunee kevään 1989 kuluessa.



Kuva 7. Sammalnäytteiden kupari-, rauta-, lyijy- ja nikkelipitoisuudet (mg/g) Pohjoismaissa 1985 (Rühling ym. 1987).



Kuva 8. Männynneulasten rikkipitoisuus (µg/g) Suomessa eri leveysasteilla (2/86 = vuoden 1986 toinen kasvukausi, 1/87 = vuoden 1987 ensimmäinen kasvukausi).

Taajamakartoitusten yhteydessä tehtävään bioindikaatiotutkimukseen liittyen on taustaasemilta kerätty männynneulasnäytteitä. Kuvassa 8 esitetään vuoden 1986 toisen kasvukauden ja 1987 ensimmäisen kasvukauden neulasten rikkipitoisuudet leveysasteen funktiona. Tuloksiin tullee kuitenkin suhtautua varauksella näytteenottoon liittyvien paikallisten tekijöiden vuoksi.

YHTEENVETO

Suomessa ilman epäpuhtaudet koko Skandinavian tapaan yleensä vähenevät etelä-pohjoissuunnassa sekä myös länsi-itäsuunnassa. Suuntauksesta poikkeavat Kaakkois-Suomi ja Lapin itäosa paikallisten ja lähialueiden päästöjen sekä kaukokulkeutumisen vuoksi.

Valtaosa tähänastisista mittauksista on keskittynyt happamoittaviin komponentteihin sekä rikki- ja typpilaskeumien määrittämiseen. Tutkimus on laboratoriokokeiden myötä yhä enemmän keskittymässä eri komponenttien yhteisvaikutuksen selvittämiseen myös luonnon olosuhteissa. Monipuoliset mittaukset ovat tarpeellisia myös kasvillisuuden, vesistön ja maaperän kriittisten kuormien kannalta.

Kirjallisuus

Buch, K. 1960. Zusammensetzung des atmosphärischen Niederschlages in Finnland. Societas Scientiarum Fennica XXIV 10.

Dahlberg, K., Lövblad, G. & Steen, B. 1988. Atmosfärskemisk övervakning vid IVL:s PMK-stationer, Rapport från verksamheten 1987. Naturvårdsverket, Rapport 3473.

Feister, U. & Warmbt, W. 1987. Long-term measurements of surface ozone in the German Democratic Republic. Journal of Atmospheric Chemistry 5. 21 s.

Granat, L. 1987. Luft- och nederbördskemiska stationsnätet inom PMK, Rapport från verksamheten 1986. Naturvårdsverket, Rapport 3328.

Hoem, K. & Joranger, E. 1988. Precipitation and air chemistry at the Norwegian background stations, 1986. Norwegian Institute for Air Research, NILU TR 1/88.

Joffre, S. M., Lättilä, H., Hakola, H., Taalas, P. & Plathan, P. 1988. Measurements of ozone at two background stations in Finland. I. S. A. Isaksen, ed. Tropospheric ozone. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht. s. 137-146.

Järvinen, O. 1986. Laskeuman laatu Suomessa. Vesihallituksen monistesarja, Nro 408, Helsinki.

Kartastenpää, R., Jokinen, J. & Pesonen, R. 1985. Rovaniemen ilmanlaadun perusselvitys. Ilmatieteen laitoksen raportti, Helsinki.

Laurila, T. & Joffre, S. M. 1987. Meteorological analysis of wet deposition in Finland. R. Perry, R. Harrison, J. Bell, J. Lester, eds. Acid rain: Scientific and Technical Advances. Selper Ltd, London, s. 167-174.
Odén, S. 1968. Nederbördens och luftens försurning, dess orsaker, förlopp och verkan i olika miljöer. Statens Naturvetenskapliga Forskningsråd. Ekologikommittén. Bulletin no. 1, Stockholm.
Rühling, Å., Rasmussen, L., Pilegaard, K., Mäkinen, A. & Steinnes, E. 1987. Survey of atmospheric heavy metal deposition in the Nordic countries in 1985. The Nordic Council of Ministers, Nord 1987:21.
Schaug, J., Hanssen, J. E., Nodop, K., Ottar, B. & Pacyna, J. M. 1987. Summary report from the Chemical Co-ordinating Centre for the third phase of EMEP. Norwegian Institute for Air Research, EMEP-CCC-Report 3/87.
Semb, A. & Dovland, H. 1986. Atmospheric deposition in Fenno-Scandia: Characteristics and trends. Water, Air and Soil Pollution 30: 5-16.
STF. 1987. Övervakning av langtransportert forurenset luft og nederbord. Årsrapport 1986. Statens forurensnigstilsyn, Rapport 296/87.
Tuovinen J-P. 1988. Sulphur pollution and its origin in Northern Fennoscandia. Workshop on the effects of air pollutants and acidification in combination with climatic factors on forests, soil and waters in Northern Fennoscandia. Rovaniemi 17. - 19.10.1988.
Vaajama, P., Rantakrans, E., Kartastenpää, R., Pesonen, R. & Häkkinen, A. J. 1986. Kemin ilmanlaadun perusselvitys. Ilmatieteen laitoksen raportti, Helsinki.
YM. 1988. Environmental Protection in Finland. Ministry of the Environment, Environmental Protection Department. National Report 1987. Series A, 67/88.

SUOMEN METSÄPUIDEN ELINVOIMAISUUS VUOSINA 1986-88

Eeva-Liisa Jukola-Sulonen

METSIEN KUNTO HEIKENTYNYT

Metsien elinvoimaisuus on heikentynyt kolmivuotiskautena 1986-88. Erityisesti kuuset ovat kärsineet, mutta myös männyt ja lehtipuut ovat lievästi heikentyneet. Heikkeneminen näkyy harsuuntumisen eli neulas- ja lehtikadon voimistumisena sekä latvuksen aukkoisuuden ja hätäoksien lisääntymisenä. Myös neulasvuosikertojen määrä on paikoin lievästi laskenut, ilmenee Metsäntutkimuslaitoksen Ilman epäpuhtauksien vaikutus metsiin -projektin uusimmista valtakunnallisista tuloksista.

Metsäntutkijat huolestuneita

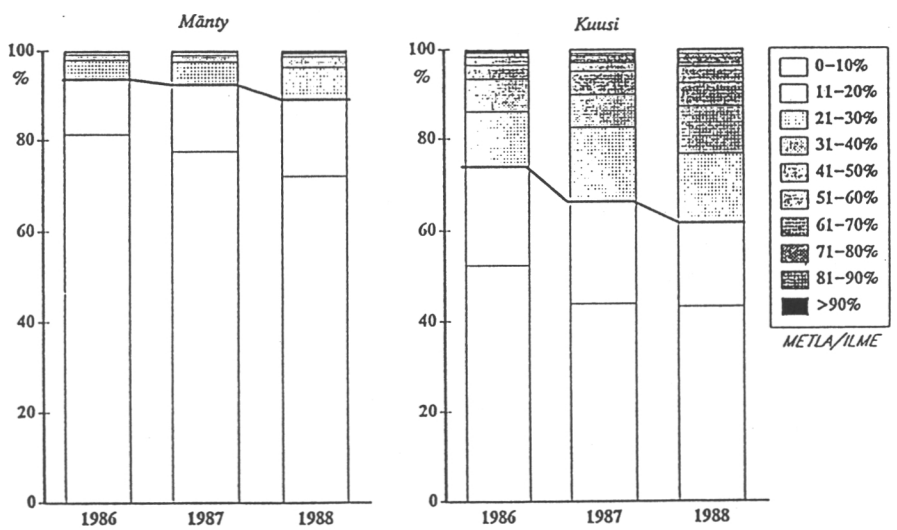
Metsäntutkimuslaitos on huolissaan Suomen metsien terveyden muutoksesta. Pitkän ajan suunnan ennustamiseksi kolmen vuoden havaintojakso on kuitenkin liian lyhyt. Vielä ei voida olla varmoja, onko puiden heikkeneminen osoitus pysyvästä muutoksesta. Neulaskato voi olla myös väliaikainen ja johtua metsäekosysteemin luonnollisista vaihteluista tai esimerkiksi viime vuosien poikkeuksellisista säistä. Neulasoireet samoin kuin muut bioindikaattorit (jäkälät) viittaavat kuitenkin siihen, että puiden heikkeneminen ei johdu pelkästään säästä.

Harsuuntuminen lisääntynyt

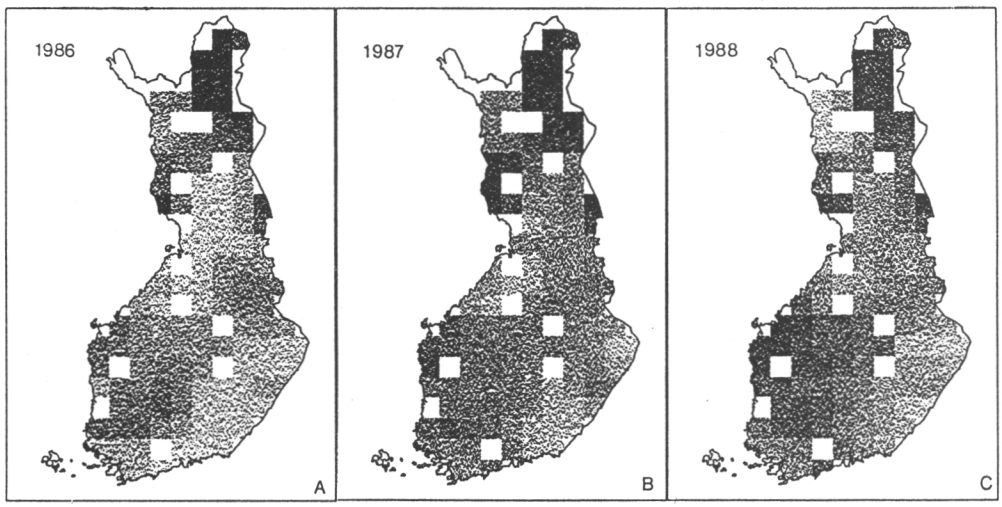
Harsuuntuneita - suhteellinen neulaskato yli 20 % - mäntyjä oli vuonna 1988 11 %, kuusia 38 % ja lehtipuita 15 % tutkituista puista (taulukko 1 ja kuva 1). Viimeisten kolmen vuoden

Taulukko 1. Taulukossa kerrotaan kangasmaiden seurantapuiden (3600 kpl) harsuuntuminen vuosina 1986, 1987 ja 1988. Tulos ilmoitetaan puiden jakaumana neulas- ja lehtikatoprosenttiluokissa (10 % luokat). Suurimmassa osassa puita neulas- tai lehtikato on alle 20 %. Harsuuntuneiden puiden osuus (yli 20 % neulaskato) on männyllä ja lehtipuilla alle 15 %. Kuusista harsuuntuneita on v. 1988 38 %.

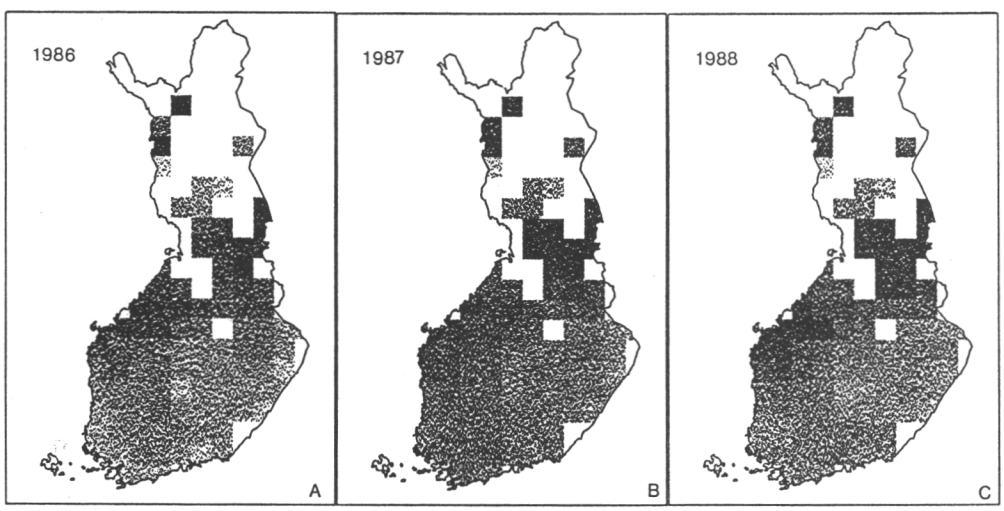
			Neulas- ja lehtikatoprosentti									
	V.	Kpl	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	>90%
Mänty	1986	2046	81,4	12,4	4,2	1,2	0,6	0,2	0	0	0	0
	1987	2046	77,5	-15,1	5,0	1,4	0,6	0,1	0,1	0,1	0	0,1
	1988	2046	72,0	16,9	7,3	2,5	0,7	0,3	0,1	0,1	0	0,1
Kuusi	1986	1353	52,4	21,7	12,0	7,2	3,2	1,8	0,8	0,4	0,3	0,1
	1987	1353	43,9	22,3	16,4	7,2	5,2	1,9	1,7	0,4	0,7	0,1
	1988	1353	43,2	18,6	14,8	10,5	5,3	3,6	2,0	1,0	0,8	0,2
Lehti-	1986	215	85,1	5,1	6,0	2,8	0,5	0	0	0,5	0	0
puut	1987	215	80,5	11,2	4,7	1,9	0,9	0,5	0	0,5	0	0
	1988	215	67,0	18,1	8,8	3,3	0,9	0,5	0,9	0	0	0,5



Kuva 1. Männyn ja kuusen harsuuntumisjakaumat kangasmailla on kuvattu pylväsdiagrammilla siten, että harsuuntuneiden (neulaskato yli 20 %) puiden osuus on paksun viivan yläpuolella. Kuvasta ilmenee, että harsuuntuminen on lievästi lisääntynyt kaikilla puulajeilla kolmen vuoden tutkimusjakson aikana. Diagrammi on piirretty taulukon 1 aineistosta.



Kuva 2. Männyn harsuuntuminen alueittain kangasmailla a) vuonna 1986, b) 1987 ja c) 1988. Harsuuntumista on kuvattu ruuduittain puiden neulaskatokeskiarvona. Mitä tummempi rasteri, sitä harsuuntuneempia ovat puut keskimäärin. Valkeilta ruuduilta ei ole riittävästi havaintoja. Ruutukoko on 50 x 50 km. Harsuuntuneimmat männyt ovat Itä-Lapissa ja läntisessä Suomessa. Neulaskato on lisääntynyt eniten tutkimuskautena läntisessä Suomessa.



Kuva 3. Kuusen harsuuntuminen alueittain kangasmailla a) vuonna 1986, b) 1987 ja c) 1988. Selitykset: Ks. kuva 2. Harsuuntuneimmat kuuset ovat Lapissa, Kainuussa ja Pohjanmaalla. Neulaskato on lisääntynyt tutkimusjakson aikana eniten Kainuussa, Etelä-Pohjanmaalla ja Kaakkois-Suomessa.

aikana harsuuntuneiden kuusten osuus on kasvanut 12, männyn sekä lehtipuiden 5 prosenttiyksikköä koko kangasmetsissä.

Harsuuntuneimpia kuuset ovat Kainuussa, Lapissa ja Pohjanmaalla (kuva 2c). Harsuuntuneimmat mäntymetsät taas sijaitsevat Itä-Lapissa, Etelä-Pohjanmaalla, Satakunnassa ja Pohjois-Hämeessä (kuva 3c).

Kuusen harsuuntuminen on lisääntynyt eniten Kainuussa, Etelä-Pohjanmaalla ja kaakkoisimmassa Suomessa (kuva 2). Männyn neulaskato on voimistunut Etelä-Pohjanmaan, Satakunnan ja Pohjois-Hämeen alueilla, joilla männynversosyöpäepidemia on ollut vakavin (kuva 3).

Lapin neulaskatomännyt elpyneet

Lapissa vuonna 1987 havaitusta vakavasta neulaskadosta kärsineet puut näyttävät uusien seurantatulosten mukaan olevan toipumassa. Sama tulos näkyy myös neulasvuosikertojen määrissä. Vuonna 1988 oli mäntyjen yläoksissa keskimäärin puoli vuosikertaa edellistä vuotta enemmän neulasia, ts. saman verran kuin vuonna 1986.

Kuusen neulasten "varoituskolmiot"

Etelä- ja Lounais-Suomen kuusissa on havaittu vuosina 1987-88 vanhojen neulasten keltakärkisyyttä. Samanlaisen oireen on Keski-Euroopassa havaittu kytkeytyvän puiden ravinnetalouden häiriöihin, joiden on todettu johtuvan ilmansaasteista. Myös Suomessa tutkitaan oireen yhteyttä ilman epäpuhtauksiin: oireen ilmenemisalueella rikki- ja typpilaskeumat ovat Suomen suurimmat.

Etelä-Suomen naavat katoamassa

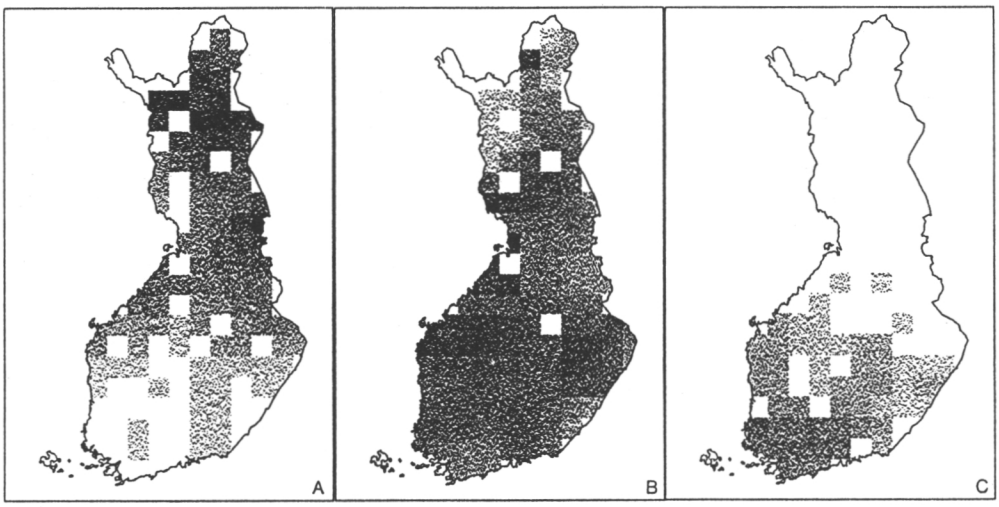
Etelä- ja Lounais-Suomen kuormitus näkyy myös puiden rungoilla kasvavien jäkälien määrässä. Ilmansaasteille herkät naavamaiset jäkälät ovat katoamassa Etelä-Suomesta, kun taas kestävämmät lehtimäiset jäkälät ovat säilyneet (kuva 4a ja b). Ilmansaasteille kaikkein kestävimmän jäkäläryhmän - vihersukkulajäkälä ja viherlevät - levinneisyysalue on neulasoirealueen lounaisimmassa osassa (kuva 4c).

Monistressioire

Harsuuntuminen on YK:n asiantuntijaelimien suosittelema menetelmä metsien terveydentilan kartoittamiseksi. Suomi on sopimuksin sitoutunut toteuttamaan kartoituksen sovituilla menetelmillä.

Harsuuntuminen ilmentää metsien yleistä elinvoimaisuutta, ei yksinomaan ilmansaasteiden vaikutusta. Neulasten ennenaikainen variseminen voi johtua myös puiden luonnollisesta ikääntymisestä, kasvupaikan ominaisuuksista tai ankarasta ilmastosta.

Koska neulaskatoluokitus on silmävarainen arviointimenetelmä, arvioijan subjektiivinen näkemys voi vaikuttaa tuloksiin. Harsuuntumisasteesta ja sen muutoksista voidaankin tehdä luotettavia johtopäätöksiä vain jaottelemalla neulaskato 20 %:n tai sitä suurempiin luokkiin (neulaskato 0-20 %, 20-40 %.



Kuva 4. Ilmansaasteilla eri tavoin herkkien runkojäkälien esiintymisrunsaus vuonna 1988 tarkasteltuna seurantapuiden (n=3600) rungoilta. Tummat rasterit kuvaavat jäkäläryhmän runsasta esiintymistä ja vaaleat niukkaa. Valkeilta alueilta ei ole jäkälähavaintoja. a) Naavamaiset jäkälät (naavat ja lupot) ovat kaikkein herkimpiä ilman epäpuhtauksille. Ne ovat katoamassa eteläisestä Suomesta, mutta Kainuussa ja paikoin Lapissa niitä esiintyy runsaasti. b) Lehtimäisiä jäkäliä, joista useimmat kestävät jossain määrin ilman epäpuhtauksia, on runsaiten Keski-Suomessa. c) Vihersukkulajäkälät ja viherlevä suosivat alueita, joilla ilman epäpuhtauskuorma erityisesti typen osalta on suuri. Näitä indikaattoreita esiintyy runsaana aivan etelä-lounaisosissa maata.

Tulokset saatu ILME-projektista

Metsäntutkimuslaitoksen ILME-projekti - Ilman epäpuhtauksien vaikutus metsiin - kartoittaa vuosittain Suomen metsien elinvoimaisuuden. Kolmena peräkkäisenä vuonna (1986-88) samat neljä henkilöä ovat tutkineet samat 4000 puuta valtakunnan metsien inventoinnin pysyviltä kivennäismaiden koealoilta.

Metsäntutkimuslaitos pitää tutkimusten jatkamista välttämättömänä. Metsävaurioiden valtakunnallinen kartoitus ja sen rahoitus tulisi turvata myös valtakunnallisen happamoitumisprojektin, HARPOn, päättymisen jälkeen vuodesta 1990 eteenpäin. Projekti laatii vuoden aikana loppuraportin, johon kootaan laitoksen tämän hetkinen tietämys ilman epäpuhtauksien vaikutuksista metsiin.

ILME-projektin jälkeinen tutkimustoiminta on vielä suunnitteluasteella, mutta selvää on, että seurantaa täytyy jatkaa ja Lapin koealaverkostoa tihentää. Syy-seuraus - tutkimuksiin ja luonnolle haitallisten pitoisuuksien eli kriittisten rajojen arviointiin tullaan kohdentamaan lisää tutkimusvoimavaroja.

MÄNTYJEN RAVINNETALOUS SALLAN PUUSTOVAURIOALUEELLA

Hannu Raitio, Eero Tikkanen ja Pekka Nöjd

JOHDANTO

Männynversosyöpä on tunnettu Suomessa 1800-luvulta lähtien (Karsten 1884). Se aiheutti 1960-luvulla pahoja tuhoja Pohjois-Suomen nuorissa männiköissä. Samoihin aikoihin ilmeni vakavia tuhoja myös Etelä-Suomen taimitarhoilla. Riukuasteen männiköissä versosyöpätuhoja todettiin Etelä-Suomessa jälleen 1970-luvun lopulla. Sittemmin nämä tuhot ovat lisääntyneet etenkin Suomenselällä (Norokorpi 1971, Kurkela 1981, Uotila 1989). Kesän 1987 jälkeen laajoja versosyöpätuhoja on havaittu myös Sallan koillisosassa riukuasteen ja sitä vanhemmissa männiköissä.

Mänty altistuu versosyövälle kylminä ja sateisina kasvukausina, jotka ovat otollisia taudinaiheuttajasienen kehitykselle ja leviämiselle. Kylmien kasvukausien vaikutus kärjistyy epäsuotuisilla kasvupaikoilla, missä vuorokautiset lämpötilan vaihtelut ovat suuret ja ilman kosteus on ympäristöään korkeampi (Kurkela 1981, Aalto-Kallonen ja Kurkela 1985, Uotila 1989). Mänty on altis versosyövälle kasvaessaan tiiviillä, hienojakoisilla mailla (Lähde 1974). Kasvupaikan ravinnetalous saattaa myös edistää versosyövän kehitystä (Kurkela 1981, Aalto-Kallonen ja Kurkela 1985, Kallio ym. 1985, Vasander ja Lindholm 1985).

Versosyövän yleistymisen eri puolilla Pohjois-Eurooppaa ja Suomea on usein katsottu olevan yhteydessä ilman epäpuhtauksiin, ennen kaikkea happamaan laskeumaan (esim. Barklund ym. 1983). Hollannissa on havaittu kanaloista peräisin olevien ammoniumpäästöjen edistäneen versosyöpätuhoja (Dam ja Kam 1984, Roelofs ym. 1985). Vastakkaisiakin tuloksia on olemassa, mm. Donaubauerin (1984) mukaan ilman rikkidioksidi-, typpioksidi- ja otsonipitoisuuksien, lumen ja sadeveden happamuuden sekä sembramännyn versosyöpäisyyden välillä ei ole havaittu yhteyttä Itävallan vuoristoissa. Toistaiseksi ei ole varmuutta versosyövän ja ilman epäpuhtauksien välisestä yhteydestä.

Tässä työssä oli tavoitteena tutkia männyn neulasista ja maasta tehdyin ravinneanalyysein Sallan koillisosassa kesän 1987 jälkeen havaittujen puustovaurioiden syitä. Tutkimuksesta vastasivat FL Hannu Raitio ja FL Eero Tikkanen. Vaurioituneiden puiden sädekasvua tutki MMK Pekka Nöjd.

AINEISTO JA MENETELMÄT

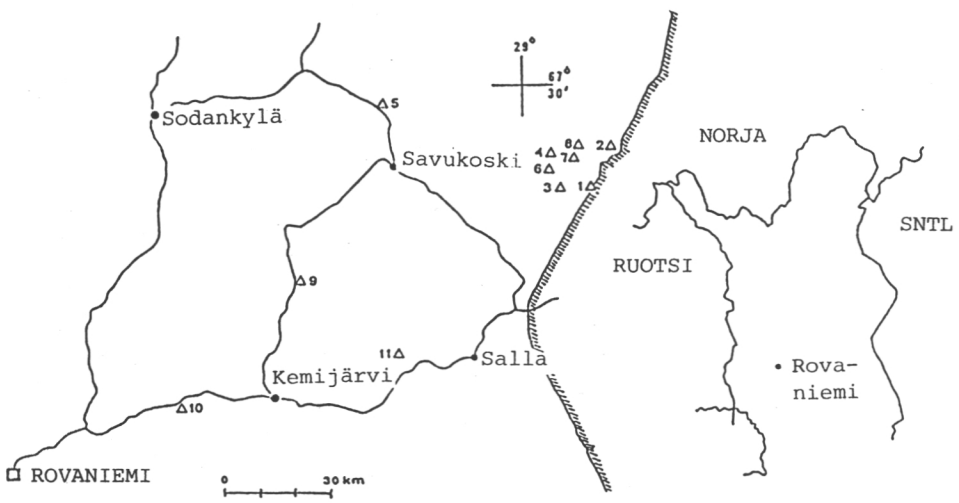
Neulasnäytteet kerättiin 10.-11. toukokuuta ja 14.-15. marraskuuta 1988 yhdestätoista riukuasteen tai sitä vanhemmasta kuivan kankaan männiköstä Sallan Naruskan, Sodankylän Värriön, Pelkosenniemen Pyhätunturin sekä Kemijärven Hyypiön ja Salmivaaran alueilta (kuva 1, taulukko 1). Tutkimuskohteista Sallan Sätsin ja Lautakotaojan metsiköt olivat pahoin versosyövän vaivaamia.

Kustakin männiköstä kerättiin erikseen 20 valta- tai lisävaltapuusta puukohtaiset näytteet. Näytteet kerättiin latvuksen ylimmän kolmanneksen etelän puoleisista oksista toukokuussa kolmesta ja marraskuussa viidestä nuorimmasta neulasvuosikerrasta. Kukin neulasvuosikerta käsiteltiin omana näytteenä. Yhteensä niitä kertyi 842 kpl. Neulasnäytteistä analysoitiin

typpi- happo-vetyperoksidimärkäpolton jälkeen fosfori-, kalium-, kalsium-, magnesium-, rikki-, rauta-, kupari-, sinkki-, mangaani- ja alumiinipitoisuudet plasmaemissiospektrofotometrisesti. Kokonaistyppipitoisuudet määritettiin Kjeldahl-menetelmällä (Halonen ym. 1983).

Taulukko 1. Näytealojen yleistiedot.

Keruuajankohta	Alue Näyteala	Sijainti Pohj. l.	 It. p.	m mpy.
Toukokuu 1988	Salla 1			
	Δ 1 Sätsi	67° 14' 26''	29° 26' 38''	305
	Δ 2 Lautakotaoja	67° 20' 07''	29° 31' 03''	295
	Salla 2			
	Δ 3 Suoltti	67° 15' 06''	29° 13' 22''	255
	Δ 4 Matalavaara	67° 19' 13''	29 08' 36''	280
	Vertailu			
	Δ 5 Karhuvaara	67° 26' 22''	28° 04' 37''	240
Marraskuu 1988	Salla			
	Δ 6 Suolttijoki	67° 17' 08''	29° 09' 02''	234
	Δ 7 Kenttälampi	67° 18' 40''	29° 19' 17''	260
	Δ 8 Naruska	67° 20' 13''	29° 22' 18''	285
	Vertailu			
	Δ 9 Kiemunkivaara	67° 00' 43''	27° 33' 43''	200
	Δ 10 Martinvaara	66° 41' 06''	26° 48' 08''	200
	Δ 11 Lakijänkä	66° 50' 13''	28° 11' 22''	210



Kuva 1. Näytealat (Δ) ja niiden sijainti.

Maanäytteet kerättiin syyskuun 13. päivänä 1988 toukokuun näytealoilta. Kultakin alueelta otettiin satunnaisesti valitun viiden pisteen kokoomanäyte erikseen podsoliprofiilin kerroksista. Näytteitä kertyi yhteensä 20 kpl. Happamasta ammoniumasetaattiuutoksesta (pH 4,65) määritettiin maan liukoinen fosfori-, kalium-, kalsium-, magnesium-, rauta-, kupari-, sinkki- ja mangaanipitoisuus (Halonen ym. 1983) sekä 0,05 M ammoniumoksalaattiuutoksesta alumiini-, rauta- ja mangaanipitoisuus (Hartikainen 1981). Liukoisen alumiinin pitoisuus määritettiin tuoreiden maanäytteiden 1 N kaliumkloridiuutoksesta titraamalla (Halonen ym. 1983). Lisäksi mitattiin maan pH tislattuvesiuutoksesta sekä 1 N kaliumkloridiuutoksesta (1:2,5) ja tehtiin raekoostumusanalyysi (Elonen 1971).

Sädekasvu mitattiin 25 valtapuusta rinnankorkeudelta kairatuista näytteistä Sätsin ja Lautakotaojan näytealoilta.

Aineisto testattiin varianssianalyysillä. Toukokuun aineistossa näytealat ryhmiteltiin kolmeksi eri tutkimusalueeksi ja marraskuun aineistossa kahdeksi. Toukokuun aineistossa näytealat 1 ja 2 edustivat versosyövän pahoin vaivaamia männiköitä Sallassa (Salla 1), näytealat 3 ja 4 normaalia metsää samalla alueella (Salla 2) ja näytealan 5 männikköä käytettiin vertailuun (Vertailu). Marraskuun aineistossa näytealat 6 - 8 edustivat Sallan puustovaurioalueen männiköitä (Salla) ja näytealojen 9 - 11 männiköitä käytettiin vertailuun (Vertailu).

TULOKSET

Neulasten alkuainepitoisuudet olivat toukokuussa magnesiumia ja mangaania lukuun ottamatta korkeimmat pahiten versosyövän vaivaamalla alueella (Salla 1) ja alhaisimmat vertailualueella (taulukko 2). Alueiden välinen ero oli kaikkien alkuaineiden osalta tilastollisesti erittäin merkitsevä. Neulasten typpi-, fosfori-, kalium-, magnesium-, rikki- ja kuparipitoisuus laski ja muiden tutkittujen alkuaineiden pitoisuus kohosi neulasten vanhetessa. Neulasvuosikertojen välinen ero oli kaikkien alkuaineiden osalta tilastollisesti erittäin merkitsevä.

Taulukko 2. Männyn neulasten keskimääräiset alkuainepitoisuudet neulasvuosikerroittain toukokuussa 1988.

Alkuaine	Alue ja neulasvuosikerta								
	Salla 1			Salla 2			Vertailu		
	1985	1986	1987	1985	1986	1987	1985	1986	1987
N %	1.09	1.10	1.15	1.00	1.00	1.10	0.84	0.84	0.96
P ‰	1.44	1.45	1.82	1.34	1.32	1.75	1.18	1.20	1.61
K ‰	3.87	3.88	5.30	3.59	3.55	4.85	3.30	3.37	4.96
Ca ‰	3.59	3.16	1.74	2.84	2.53	1.69	2.76	2.49	1.74
Mg ‰	0.81	1.01	1.05	0.62	0.82	0.98	0.78	0.97	1.14
S ppm	997	1006	1030	905	918	1057	924	936	1027
Fe ppm	77	70	55	66	60	48	63	57	45
Cu ppm	3.06	3.34	3.98	2.40	2.55	3.34	2.16	2.37	2.86
Zn ppm	62	64	49	45	50	46	45	49	45
Mn ppm	780	730	411	921	860	592	680	641	462
Al ppm	469	431	333	421	377	314	384	351	282

Versosyövän vaivaamalla alueella (Salla 1) neulasten rikki- ja sinkkipitoisuuden lasku neulasten vanhetessa oli huomattavasti pienempi kuin vertailualueella. Myös kalsiumpitoisuuden nousu oli alueella 1 huomattavasti voimakkaampi kuin vertailualueella (taulukko 2). Todetut yhdysvaikutukset olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä.

Taulukossa 3 on esitetty marraskuussa 1988 kerättyjen männyn neulasten keskimääräiset alkuainepitoisuudet neulasvuosikerroittain Sallan ja vertailualueen näytealoilla. Kaikilla näytealoilla neulasten typpi-, fosfori-, kalium-, rikki- ja magnesiumpitoisuus laski ja kalsium-, rauta-, sinkki-, mangaani- ja alumiinipitoisuus nousi neulasten iän kasvaessa. Sen sijaan neulasten kuparipitoisuus ei käyttäytynyt systemaattisesti iän funktiona. Neulasvuosikertojen väliset erot olivat kuparia lukuun ottamatta tilastollisesti erittäin merkitseviä. Neulasten keskimääräinen fosfori- ja magnesiumpitoisuus oli vertailualueella korkeampi ja muiden alkuaineiden pienempi kuin Sallan alueella. Alkuainepitoisuuksien väliset erot tutkimusalueiden välillä olivat rikkiä, alumiinia ja kalsiumia lukuun ottamatta tilastollisesti erittäin merkitseviä. Rikin ja alumiinin suhteen alueet erosivat toisistaan tilastollisesti melkein merkitsevästi, eikä kalsiumin suhteen eroa ollut lainkaan. Neulasten rikkipitoisuuden lasku neulasten vanhetessa oli huomattavasti pienempi Sallan alueella kuin vertailualueella. Yhdysvaikutus oli tilastollisesti melkein merkitsevä. Sen sijaan neulasten rauta-, sinkki- ja mangaanipitoisuuden nousu neulasten vanhetessa oli voimakkaampi Sallan alueella kuin vertailualueella. Raudan osalta yhdysvaikutus oli tilastollisesti erittäin merkitsevä sekä sinkin ja mangaanin osalta melkein merkitsevä.

Maasta tehdyt analyysit eivät osoittaneet näytealojen välillä tilastollisia eroja minkään alkuaineen suhteen (taulukko 4).

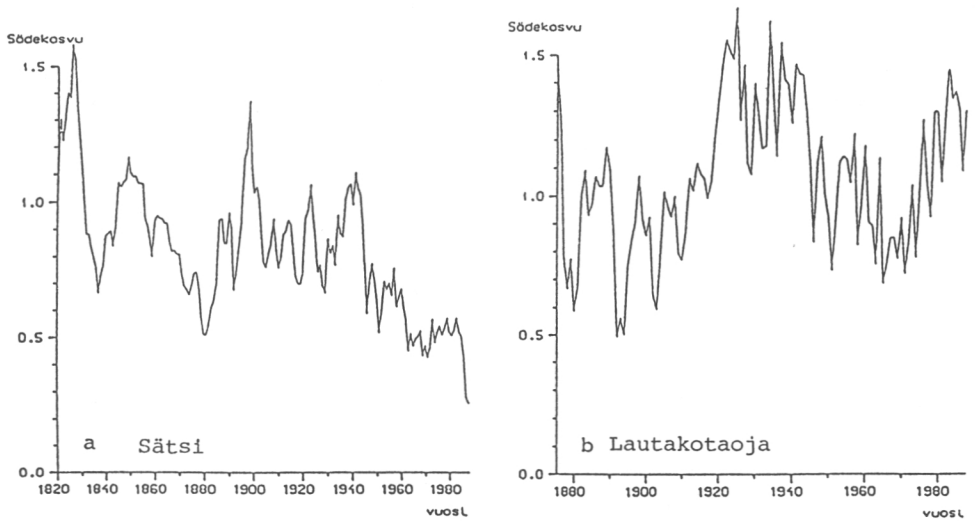
Sätsin männikössä keskimääräisen sädekasvun suunta on vuodesta 1940 lähtien ollut laskeva ja erityisen voimakas taantuma ilmeni vuoden 1985 jälkeen. Sen sijaan Lautakotaojalla sen suunta on vuodesta 1960 lähtien ollut kasvava (kuva 2).

Taulukko 3. Männyn neulasten keskimääräiset alkuainepitoisuudet sekä N/P- ja N/K-suhteet neulasvuosikerroittain marraskuussa 1988.

Alkuaine	Alue ja neulasvuosikerta									
	1984		1985		1986		1987		1988	
	Salla	Vert.	Salla	Vert.	Salla	Vert.	Salla	Vert.	Salla	Vert.
N %	1.13	0.99	1.18	1.08	1.20	1.11	1.21	1.12	1.33	1.25
P ‰	1.15	1.15	1.26	1.30	1.26	1.32	1.31	1.36	1.49	1.60
K ‰	3.31	2.97	3.69	3.57	3.81	3.62	4.18	3.95	4.82	4.73
Ca ‰	4.26	4.14	3.58	3.54	3.14	3.22	2.78	2.77	1.84	1.78
Mg ‰	0.62	0.61	0.64	0.70	0.75	0.87	0.88	0.97	1.07	0.90
S ppm	888	816	904	884	907	899	932	917	942	959
Fe ppm	80	55	76	55	71	57	62	51	40	35
Cu ppm	2.35	1.62	3.01	1.68	2.60	1.89	2.45	1.84	2.61	2.13
Zn ppm	64	48	61	51	61	53	57	51	48	44
Mn ppm	1157	819	1018	798	903	741	807	663	526	453
Al ppm	403	400	429	415	393	390	393	342	345	290
N/P	9.8	8.6	9.4	8.3	9.5	8.4	9.2	8.2	8.9	7.8
N/K	3.4	3.3	3.2	3.0	3.1	3.1	2.9	2.8	2.8	2.6

Taulukko 4. Maannoskerroksen paksuus, maalaji, maan pH sekä happamaan (pH 4,65) ammoniumasetaattiin uuttuvien ravinteiden, amorfisen mangaanin ($Mn_{oks.}$), raudan ($Fe_{oks.}$), alumiinin ($Al_{oks.}$) ja liukoisen alumiinin (Al^{3+}) pitoisuudet maannoskerroksissa.

Tutkimusalue ja maannos-kerros	Paksuus cm	Maalaji	$pH_{(H_2O)}$	$pH_{(KCl)}$	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Al	Fe	Mn	$Mn_{oks.}$	$Fe_{oks.}$	$Al_{oks.}$	Al^{3+}
					mg/kg												
Sätsi																	
Oh	3		4.2	2.8	8.01	369	810	126	0.6	10.8	39	6	84	52	36	440	75
Eh	7	Htm	4.7	3.3	0.23	19	33	5	0.3	1.4	86	21	2	2	18	260	110
Bs	17	HkHtm	5.0	4.3	0.39	46	20	3	0.3	1.6	800	73	9	5	48	4200	55
C	60	HkHtm	5.7	4.5	0.67	27	24	7	0.4	0.6	600	37	4	6	120	3400	39
Lautakotaoja																	
Oh	2		4.2	2.8	3.55	168	540	54	0.6	6.6	57	6	33	24	28	520	110
Eh	6	Hkm	4.9	3.5	0.18	10	16	3	0.3	0.8	64	5	1	1	8	200	70
Bs	19	Hkm	5.1	4.5	0.28	8	5	1	0.2	1.0	900	71	4	3	44	4400	29
C	67	SrHkm	5.5	4.8	0.27	5	4	1	0.3	0.4	190	11	1	10	24	1200	8
Suoltti																	
Oh	2		4.1	2.9	6.39	354	570	84	0.6	8.8	99	12	105	64	62	1400	160
Eh	7	HtHkm	4.5	3.3	0.30	22	17	5	0.4	2.4	110	27	3	3	38	400	145
Bs	17	HtHkm	5.3	4.5	0.43	13	6	2	0.4	1.8	1100	86	9	8	62	4400	50
C	56	HtHkm	5.7	4.7	0.40	10	6	1	0.5	0.6	600	20	4	16	58	3600	19
Matalavaara																	
Oh	3		3.9	2.7	10.95	543	660	147	0.9	13.8	96	15	129	80	72	1200	85
Eh	3	Htm	4.5	3.4	0.75	48	12	9	0.3	4.2	220	133	3	8	198	1400	285
Bs	15	Htm	4.9	4.6	1.28	13	3	2	0.2	1.6	800	66	10	12	74	4200	50
C	69	HkHtm	5.9	4.6	1.08	11	8	3	0.4	0.2	330	19	2	18	118	2400	22
Karhuvaara																	
Oh	4		3.7	2.8	10.06	414	690	105	0.3	10.0	63	15	72	46	54	760	100
Eh	5	HkHtm	4.6	3.6	0.24	14	11	3	0.2	1.2	100	36	2	2	32	340	85
Bs	17	HtHkm	5.2	4.6	0.39	13	8	2	0.3	1.2	800	80	11	9	74	4200	27
C	62	HtHkm	5.8	4.7	0.49	9	10	3	0.2	0.2	260	14	3	22	64	1800	14



Kuva 2. Keskimääräinen sädekasvu (mm) Sätsin ja Lautakotaojan näytealoilla.

Sallan alue on maamme kylmimpiä (Kolkki 1966, Suomen kartasto 1987). Sääolot ovat olleet Sallassa vuoden 1983 normaalikauteen 1931 - 1960 verrattuna poikkeuksellisen kylmiä ja sateisia. Kesäkuukausia lukuun ottamatta lounaistuulet ovat Koillis-Lapissa vallitsevia. Sen sijaan kesällä tuulee pääosin lounaasta, koillisesta ja pohjoisesta (Suomen kartasto 1987).

TULOSTEN TARKASTELU

Sallan alueella neulasten keskimääräiset alkuainepitoisuudet olivat fosforia ja magnesiumia lukuun ottamatta korkeammat kuin vertailualueella. Tämä johtunee osaltaan alueiden geokemiallisista eroista (Kautsky ym. 1986). Tässä tutkimuksessa ei maasta tehdyissä alkuaineanalyyseissä kuitenkaan ilmennyt alueiden välisiä eroja, mihin syy lienee pieni maa-analyysiaineisto.

Nuorimpien neulasten pääravinnesuhteiden perusteella kaikkien tutkittujen alueiden männyillä oli lievä typen puute suhteessa muihin pääravinteisiin (esim. Baule ja Fricker 1967, Paarlahti ym. 1971, Jukka 1988). Raitio (1987) on todennut, että liikkuvan ravinteen puutostilan vallitessa puut siirtävät yhtä aikaa kaikkia liikkuvia ravinteita vanhemmista neulasvuosikerroista nuorempiin. Siten liikkuvien ravinteiden puutos on parhaiten nähtävissä vanhimmista neulasvuosikerroista. Ainoastaan ankarat puutostilat paljastuvat tarkastelemalla yksistään nuorimpien neulasten ravinnepitoisuuksia. Myös tästä aineistosta ilmeni vanhimpien neulasten ravinnepitoisuuksia tarkasteltaessa, että puilla oli puute kaikista liikkuvista ravinteista. On myös mahdollista, että versosyövän vaivaamissa männyissä nuorimpien neulasten ravinnepitoisuudet ovat korkeampia kuin terveissä puissa, koska versosyövän vaivaamien puiden neulasisto on äkillisesti supistunut, mutta juuristo ei ole vielä sopeutunut ko. tilanteeseen.

Ilman rikkidioksidipitoisuuden on todettu heijastuvan neulasten rikkipitoisuudessa (esim. Materna 1981, 1985, Hällgren ym. 1982, Norby ja Kozlowski 1982, Huttunen ym. 1983). Sallan alueella neulasten keskimääräiset rikkipitoisuudet olivat suhteellisen alhaisia verrattuna teollisuusympäristöistä analysoituihin neulasiin (esim. Jokinen 1978, Linzon ym. 1979, Kartastenpää 1981). Mitatut rikkipitoisuudet olivan samansuuruisia kuin kuivan karun kankaan männyistä Etelä-Lapista analysoidut arvot (Tikkanen ja Raitio, käsikirjoitus). Se, että nuorimpien ja vanhimpien neulasten rikkipitoisuuden suhde oli pienempi Sallan alueella kuin

vertailualueella, antaa aiheen olettaa, että Sallan alueelle kohdistuisi suhteellisen pieni rikkidioksidikuormitus. Lyhyen akkumulaatioajan vuoksi se ei helposti ilmene analysoitaessa ainoastaan nuorimpia neulasia. Väitettä puoltaa se, että kasvit eivät kykene siirtämään puutostilan vallitessa rikkiä vanhemmista kasvin osista nuorempiin (Bouma 1967). Samantapaiseen johtopäätökseen viittaavat sekä Kubinin (1989) että Kärenlammen ja Oksasen (1989) saamat tulokset paisukarvejäkälän alkuaineanalyyseistä Lapin koillisosista. Sammalien raskasmetallipitoisuuksia koskevat kartoitukset ovat kuitenkin osoittaneet, että Tunturi-Lapin koillisosaan kulkeutuu ilman epäpuhtauksia Kuolan niemimaalta (Rühling ym. 1987), missä sijaitsee yksi Neuvostoliiton suurimpia kaivannaisteollisuuden keskittymiä.

Neulasten alumiinipitoisuudet olivat Sallan alueella suhteellisen korkeat (esim. Knabe 1984, Reigber ja Braun 1985, Huttunen 1986, Raitio ja Tikkanen 1989), mikä osaltaan johtunee alueen geokemiallisista ominaisuuksista (Kautsky ym. 1986). On myös muistettava, että maan happamoituessa alumiinin liukoisuus kasvaa (Reuss ja Johnson 1986). Kaikilla tutkituilla alueilla humus- ja huuhtoutumiskerroksessa liukoisen alumiinin pitoisuus oli korkea (Raitio ja Tikkanen 1989, Tikkanen ja Raitio, käsikirjoitus).

Analysoiduista hivenravinteista neulasten kuparipitoisuudet olivat kaikkialla alhaiset (Kolari 1979). Kuparin puute ilmenee kasveilla heikkona solukoiden puutumisena (Downes ja Turvey 1986), mikä osaltaan heikentää kylmänkestävyyttä.

Vakavat versosyöpätuhot Sallan Sätsin alueella havaittiin kesällä 1987. On kuitenkin ilmeistä, että versosyöpä on vaivannut puustoa tällä alueella jo usean vuoden ajan. Tähän viittaa ennen kaikkea 1980-luvun puolivälin jälkeen tapahtunut voimakas sädekasvun heikkeneminen. Sen sijaan Lautakotaojalla versosyövästä huolimatta puiden sädekasvussa ei ole tapahtunut taantumista, vaan päinvastoin se on lisääntynyt vuodesta 1960 lähtien. Sätsin männikkö oli tosin tutkituista kaikkein pahiten versosyövän vaivaama. Lautakotaojalla maa oli karumpaa ja karkeampaa kuin Sätsissä. Ilmeisesti osin tästä syystä puusto siellä oli huomattavasti harvempi kuin Sätsin männikössä. Lisäksi alueella todetut kannot viittasivat puuston harvennuksiin, joita Sätsissä ei ole tehty lainkaan. Pohjoiset olot ja maan laatu huomioon ottaen lieväkin puuston harvennus Lautakotaojalla lienee pääosin syynä sädekasvun voimakkaaseen kasvuun. Tämä ei johtune niinkään valon määrän kasvusta, vaan juuristokilpailun heikkenemisestä. Pohjoisilla karuilla metsätyypeillä puilla on erittäin laaja juuristo (Aaltonen 1920). Tosin on muistettava, että pohjoisissa oloissa Lautakotaojan tapaisilla karuilla kasvupaikoilla happaman laskeuman lannoittava vaikutus näkyy herkemmin kuin viljavammilla kasvupaikoilla.

Sädekasvua koskeva aineisto tässä työssä oli pieni. Tehdyt mittaukset yhdistettynä maasta ja neulasista tehtyihin ravinneanalyyseihin osoittivat, että valitsemalla ilmastollisesti kyllin äärevistä oloista viljavuudeltaan ja käsittelytavoiltaan erilaisia metsiköitä kasvututkimuksia varten voitaneen ilman epäpuhtauksien vaikutuksia arvioida paremmin kuin ilmastollisesti suotuisissa oloissa.

Sallan alueella puiden ravinnetilanne on pääosin maan luontaisten ominaisuuksien takia heikko. Mahdollisesti myös alueelle tuleva ulkopuolinen saastekuormitus on voinut vaikuttaa epäedullisesti puiden ravinnetalouteen joko kiihdyttämällä kasvua tai aiheuttaen ravinteiden huuhtoutumista. Kasvukauden sääolot vaikuttavat myös neulasten ravinnepitoisuuksiin: kylmän ja sateisen kasvukauden jälkeen puiden ravinnetilanne on normaalia heikompi (Humphreys ym. 1971, Raitio, käsikirjoitus). Puiden ravinnetilanne puolestaan vaikuttaa niiden pakkaskestävyyteen (ks. Alden ja Hermann 1972, Pellet ja Carter 1981). On ilmeistä, että puut ovat heikon ravinnetilanteen johdosta altistuneet versosyövälle maamme kylmimpiin kuuluvalla alueella Sallassa 1980-luvun poikkeuksellisen kylminä ja sateisina vuosina.

Kirjallisuus

Aaltonen, V. T. 1920. Über die Ausbreitung und den Reichtum der Baumwurzeln in den Heidewäldern Lapplands. Acta For. Fenn. 14. 55 s.

Aalto-Kallonen, T. & Kurkela, T. 1985. Gremmeniella disease and site factors affecting the condition and growth of Scots pine. Seloste: Versosyöpätauti ja ympäristö männyn kuntoon ja kasvuun vaikuttavina tekijöinä. Commun. Inst. For. Fenn. 126. 28 s.

Alden, J. & Hermann, R. K. 1971. Aspects of the cold-hardiness mechanism in plants. Stud. For. Suec. 93:37-142.

Baule, H. & Fricker, C. 1967. Die Düngung von Waldbäumen. München, Basel, Wien. BLV Bayerischer Landwirtschaftsverlag GmbH. 259 s.

Barklund, P., Axelsson, G. & Unestam, T. 1983. Is infection of *Gremmeniella abietina* on Norway spruce favoured by acid precipitation? Aquilo Ser. Botanica 19:64-67.

Bouma, D. 1967. Nutrient uptake and distribution in subterranean clover during recovery from nutritional stresses. II. Experiments with sulphur. Aust. J. Biol. Sci. 20:613-621.

Dam, B. C. van & Kam, M. de. 1984. *Sphaeropsis sapinea (Diplodia pinea)*, oorzaak van het afsterven van eindscheuten bij Pinus in Nederland. Summary: *Sphaeropsis sapinea*, cause of dieback of top shoot of Pinus in the Netherlands. Nederlands Bosbouwtijd schrijft 56:173-177.

Donaubauer, E. 1984. Experiences with Scleroderris canker on *Pinus cembra* L. in afforestations of high altitude. Teoksessa: Manion, P. D. (ed.) 1984. Scleroderris canker of conifers. Nijhoff /Junk Publ. s. 158-161.

Downes, G. & Turvey, N. D. 1986. Reduced lignification in *Pinus radiata* (D. Don). Aust. For. Res. 16:371-377.

Elonen, P. 1971. Particle-size analysis of soil. Acta Agr. Fenn. 122. 122 s.

Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121. 28 s.

Hartikainen, H. 1981. Uptake of soil P, Al, Fe, Mn, Mg and Ca by Italian rye grass (*Lolium multiflorum* LAM.) induced by syntethique chelating agent. J. Scient. Agric. Soc. Finl. 53:152-160.

Humphreys, F.R., Turner, J. & Watt, A.J. 1972. Annual foliar nutrient level variation in *Pinus radiata* over a nine year period. Julkaisussa: Boardmann, R. 1972. The Australian foresttree nutrition conference 1971. Contributed Papers. Forestry and Timber Bureau, Canberra 1972. s. 258 - 270.

Huttunen, S. 1986. Acid precipitation effects on *Pinus sylvestris* forests in southern Finland. Julkaisussa: Proceedings of the 18th IUFRO world congress in Ljubljana, Yugoslavia, Sep. 7-21, 1986. Div. 2, vol I:320-332.

Huttunen, S., Karhu, M. & Torvela, H. 1983. Deposition of sulphur compounds on forest in southern Finland. Aquilo Ser. Botanica 19:270-274.

Hällgren, J.-E., Linder, S., Richter, A., Troeng, E. & Granat, L. 1982. Uptake of SO_2 in shoots of Scots pine: field measurements of net flux of sulphur in relation to stomatal conductance. Plant, Cell and Environment 5:75-83.

Jokinen, J. 1978. Valkeakosken puustovauriot. Ilmatieteen laitos. Tutkimusseloste No 77, Ilmansuojelu. 25 s.

Jukka, L. (toim.) 1988. Metsänterveysopas. Metsätuhot ja niiden torjunta. 168 s. Helsinki. Samerka Oy.

Kallio, T., Häkkinen, R. & Heinonen, J. 1985. An outbreak of *Gremmeniella abietina* in central Finland. Eur. J. For. Pathol. 15: 216-223.

Karsten, P. A. 1884. Fragmenta mycologica. XIV - XVI. Hedwigia 23:57-63.

Kartastenpää, R., Häkkinen, A. J. & Jokinen, J. 1981. Lahden ilman rikki- ja leijumatutkimus. Ilmatieteen laitos. Tutkimusseloste No 84, Ilmansuojelu. 52 s.

Kautsky, G. 1986. Geochemical atlas of northern Fennoscandia. Mapped by The Geological Surveys of Finland (GTK), Norway (NGU) and Sweden (SGU) in cooperation with Swedish Geological Co (SGAB) and The Geological Survey of Greenland (GGU).

Knabe, W. 1984. Merkblatt zur Entnahme von Blatt- und Nadelproben für chemische Analysen. Allg. Forstzeitschr. 39:847-848.

Kolari, K. K. 1979. Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriöilmiö Suomessa. Kirjallisuuskatsaus. Summary: Micro-nutrient deficiency in forest trees and dieback of Scots pine in Finland. A review. Folia For. 389. 37 s.

Kolkki, O. 1966. Taulukoita ja karttoja Suomen lämpöoloista kaudelta 1931 - 1960. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan. Nide 65, osa 1a - 1965. 42 s. Tables and maps of temperature in Finland during 1931 - 1960. Supplement to the meteorological yearbook of Finland. Volume 65, part 1a - 1965. 42 s.

Kubin, E. 1989. Element content of *Hypogymnia physodes* in Finland. Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema.

Kurkela, T. 1981. Versosyöpä (*Gremmeniella abietina*) riukuasteen männiköissä. Summary: Canker and die-back of Scots pine at precommercial stage caused by *Gremmeniella abietina*. Folia For. 485. 12 s.

Kärenlampi, L. & Oksanen, J. 1989. Mountain summits as a posible risk area of acid deposition in eastern Lapland. In proceedings of the workshop "Effects of Air Pollutants and Acidification in Combination with Climatic Factors of Forests, Soils and Waters in northern Fennoscandia" on 17-19 October 1988 Rovaniemi, Finland. Painossa.

Linzon, S. N., Temple, P. J. & Pearson, R. G. 1979. Sulfur concentrations in plant foliage and related effects. J. Air Pollut. Cont. Assoc. 29:520-525.

Lähde, E. 1974. The effect of grain size distribution on the condition of natural and artificial sapling stand of Scots pine. Seloste: Maan lajitekoostumuksen vaikutus männyn luontaisten ja viljelystaimistojen kuntoon. Commun. Inst. For. Fenn. 84(3). 23 s.

Materna, J. 1981. Concentration of sulfur dioxide in the air and sulfur content in Norway spruce needles (*Picea abies* Karst.). Commun. Inst. For. Czechosloveniae 12:137-146.

Materna, J. 1985. Results of the research into air pollutants impact on forests in Czechoslovakia. Julkaisussa: Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiö (toim.) 1985. Papers presented at the symposium on the effects of air pollution on forest and water ecosystems, Helsinki, April 23-24, 1985. s. 127-137.

Norby, R. J. & Kozlowski, T. T. 1982. The role of stomata in sensitivity of *Betula pabyrifera* seedlings to SO_2 at different humidities. Oecologia 53:34-39.

Norokorpi, Y. 1971. Männyn viljelytaimistojen tuhoista Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 2:37-49.
Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. Seloste: Maa- ja neulasanalyysi turvemaiden männiköiden ravitsemustilan määrityksessä. Commun. Inst. For. Fenn. 74(5). 58 s.
Pellett, H. M. & Carter, J. V. 1981. Effect of nutritional factors on cold hardiness of plants. Horticultural Reviews 3:144-171.
Raitio, H. 1987. Neulasvuosikertojen merkitys neulasanalyysin tulkinnassa. Abstract: The significance of the number of needle year classes in interpreting needle analysis results. Silva Fenn. 21:11-16.
Raitio, H. (käsikirjoitus). The foliar chemical composition of young pines (*Pinus sylvestris* L.) with or without decline. Teoksessa: Kauppi , P., Kenttämies, K. & Anttila, P. (eds). 1990. HAPRO report on acidification in Finland. Springler-Verlag. BDR. Painossa.
Raitio, H. & Tikkanen, E. 1989. Nutritional disturbances of young pines in a dry heath forest. Plant and Soil 113:229-235.
Reigber, E. & Braun, G. 1985. Forstliche Bioindigatoruntersuchungen in Bayern. Methodik und erste Ergebnisse 1981/82. Forstliche Forschungsberichte München 68. 179 s.
Reuss, J. O. & Johnson, D. W. 1986. Acid deposition and the acidification of soils and waters. Springer Verlag. Ecol. Studies 59. 119 s.
Roelofs, J. G. M., Kempers, A. J., Honijk, A. L. F. M. & Jamen, J. 1985. The effect of airborne ammonium sulfate on *Pinus nigra var. maritima* in the Netherlands. Plant and Soil 84:45-56.
Rühling, Å., Rasmussen, L., Pilegaard, K, Mäkinen, A. & Steinnes, E. 1987. Survey of atmospheric heavy metal deposition in the Nordic countries in 1985 - monitored by moss analyses. Report prepared for The Steering Body for Environmental Monitoring, The Nordic Council of Ministers. Nord 21. 44 s.
Suomen kartasto. Ilmasto. Vihko 131. Julkaisijat: Maanmittaushallitus ja Suomen Maantieteellinen seura. 1987.
Tikkanen, E. & Raitio, H. (käsikirjoitus). Nutrient stress in young Scots pines (*Pinus sylvestris* L.) suffering from needle loss in a dry heath forest. Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema.
Uotila, A. 1989. Ilmastotekijöiden vaikutus männynversosyöpätuhoihin. Summary: The effect of climatic factors on the occurrence of Scleroderris cancer. Folia For. 721. 23 s.
Vasander, H. & Lindholm, T. 1985. Männynversosyöpätuhot Laaviosuon jatkolannoituskokeella. Summary: Damage caused by pine dieback (*Ascocalyx abietina*) on refertilization trial plots on Laaviosuo, Lammi, Southern Finland. Suo 36(4-5): 85-94.

VAURIOT LAPIN LUONNOSSA TALVEN 1986–87 JÄLKEEN

Risto Jalkanen

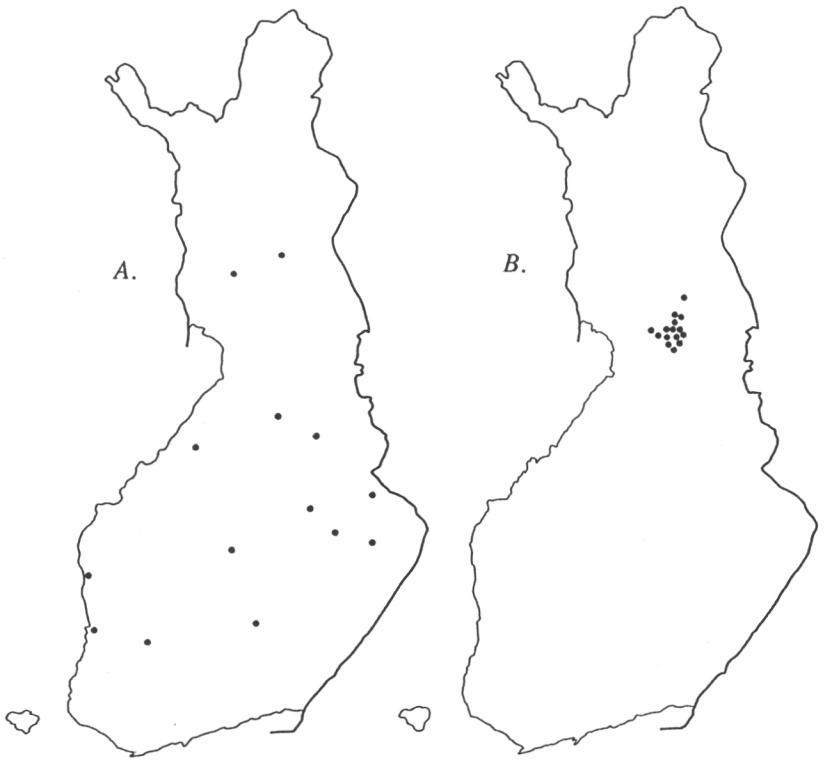
Poikkeuksellisen talven 1986/87 jälkeen kiinnitettiin huomiota lähes yksinomaan karujen kankaiden mäntytaimikoiden vanhimpien neulasten ennenaikaiseen karisemiseen. Talven poikkeuksellisuuden ymmärtämisen kannalta on kuitenkin syytä tarkastella asiaa neulaskatometsien kehityksen ohella myös muiden seuraamusten osalta.

Salla-Rovaniemi-Suomussalmi -alueelle keskittyneen keskikesän neulaskadon (Jalkanen 1988) ohella vanhoja neulasia kellastui runsaasti loppukesällä 1987 koko maassa. Kumpaankin ilmiöön ovat vaikuttaneet osin samat tekijät, voimakkaimmillaan nämä syyt johtivat keskikesän neulaskatoon, lievimmillään normaaliaikaiseen kellastumiseen loppukesällä.

Rovaniemen maalaiskunnan Hietaperänkankaalla pysyvien koealojen männyissä oli neulasvuosikertoja (kesän 1987 neulaset mukaan lukien) ennen neulaskatoa 5,2 - 5,9 ja sen jälkeen 2,9 - 3,6 taimikosta riippuen. Talvehtineista neulasista menetettiin keskimäärin 2,4 vuosikertaa (53 %) ja juuristressikoetaimikossa 3,0 (61 %). Sekä neulaskatoalueen viljavissa että sen ulkopuolisissa mäntytaimikoissa vuosikertoja jäi talveksi 1987/88 selvästi enemmän (4,1 - 4,3).

Ns. Lapin neulaskadon keskeisillä alueilla (Kemijärvellä - Posiolla) eräiden karujen, lajittuneiden maiden taimikoiden männyistä kuoli 10-20 % kesällä 1987. Kuolleissa taimissa oli neulasvuosikertoja enemmän kuin eloon jääneissä taimissa, mikä viittaa totaalisiin juurivaurioihin ja vesi- ja ravinnetalouden säätelyn täydelliseen estymiseen. Selviytyneiden taimien pinnallisista juurista osa tuhoutui. Vaikeimmissa olosuhteissa pieni määrä erikokoisia puita kuoli poikkeukselliseen kuivuuteen heinäkuun lopulla 1988 juuriston puutteellisen toiminnan takia. Hyönteistuhojen ei todettu lisääntyneen neulaskadon takia. Mäntyjen kylmänkestävyys kehittyi normaalisti talveen 1987/88. Neulaskatoiset metsiköt alkoivat toipua ilmiöstä kesän 1988 aikana mm. neulasten kokoa kasvattamalla ja kuolleita juuria uusilla korvaamalla, minkä hitaudesta johtuen toipuminen normaaliin kasvuun vie vuosia. Myös neulasvuosikertojen määrä kasvoi lähes yhdellä, koska kesän ja syksyn aikana ei ollut runsasta kellastumista. Neulaskatoalueen rämeillä tilanne on sen sijaan edelleen surkea.

Sienisato oli huono koko maassa kesällä 1987; Hietaperänkankaan neulaskatometsissä sieniä ei tullut lainkaan. Vuotta myöhemmin oli erinomainen sienisato lukuunottamatta neulaskatometsiä.



Kuva 1. Talven 1986/1987 aiheuttamia tuhoja puustossa. A. Niiden taimitarhojen sijainti, joilla menetettiin pakkasen takia taimitarhataimia, pääasiassa mäntyjä. B. Vakuutustilastoista poimitut paannejään aiheuttamat korvaustapaukset.

Poikkeuksellisten talviolosuhteiden laajuuden tutkimiseen sopivat hyvin taimitarhat, koska suojaa - tai sen puutetta - ajatellen taimitarhat ovat kaikkialla samassa tilanteessa: taimien suojattomuus riippuu vain lumipeitteen paksuudesta kovien pakkasten aikaan.

Epäilyt talven ankaruudesta ja taimivaurioista osoittautuivat oikeiksi jo ennen neulaskatoa taimien kuntoa kasvihuoneessa tutkittaessa. Taimissa nimittäin todettiin pahoja juuristovaurioita. Lievissä tapauksissa vauriot keskittyivät juurenniskaan. Osoittautui, että kylmyys vaurioitti taimia koko maassa (kuva 1a), mutta ankarimmat tuhot sattuivat kuitenkin ns. neulaskatoalueella; sen ulkopuolisella, pohjoisella Pakatin tarhalla Kittilässä ei ollut lainkaan vaurioita hyvän lumitilanteen takia. Yksityisten ja valtion taimitarhojen kokonaismenetykset pakkasvaurioiden takia olivat koko maassa tarhalla 20,7 miljoonaa tainta ja metsään kesällä 1987 viedyistä 6-7 milj. sekä vuonna 1986 istutetuista n. 10 milj. kpl eli yhteensä lähes 37 miljoonaa tainta. Pohjois-Suomen osuus kokonaismenetyksistä oli noin 73 % ja männyn 86 %. - Maastoon vietyjen taimien tilan myöhempi inventointi nostanee em. lukuja.

Vähälumisuuden ja kylmyyden esiintymistä tarkasteltiin myös paannejäämuodostuksena. Sen syntyhän on riippuvainen em. tekijöistä, kunhan virtaavaa vettä tulee maan pintaan. Talvella 1986/87 paantoi monin paikoin neulaskatoalueella. Kesällä 1987 havaittiin runsaasti 0,1 - 5,0 hehtaarin suuruisia paannejäätuhoaloja yhteisalaltaan noin 2000 ha. Suurin tietoon tullut paannejäätuhoalue (20 ha) oli Norvajokivarressa Rovaniemen maalaiskunnassa. Vakuutusyhtiöiden tietoon tulleet tapaukset keskittyivät yhtä Posion tapausta lukuunottamatta Pudasjärvelle (kuva 1b). Vastaavia tuhoja ei ollut vakuutusyhtiöiden tilastoissa viimeisten 20 vuoden ajalta.

Neulaskatoalueella havaittiin monenlaisia vaurioita kasvipeitteessä. Niistä silmiinpistävin oli yhtenäisten kanervikkojen tuhoutuminen niin karuilta kankailta kuin rämeiltäkin. Monivuotisten ruohojen ja puuvartisten koriste-, maatalous- ja puutarhakasvien vauriot, jotka useimmissa tapauksissa kohdistuivat juuristoon tai juurakkoon, keskittyivät neulaskatoalueelle. Esimerkkinä on apilan häviäminen Apukasta mutta säilyminen Sodankylässä.

Kun kesä 1987 oli lämpösummaltaan alhainen ja maan lämpeneminen sekä roudan sulaminen hidasta alkukesällä, kaiken neulaskatoalueen kasvillisuuden kasvuun lähtö juurivaurioiden vaikuttamina oli hidasta. Siitä seurasi keskenkasvuisuutta, mikä näkyi erityisesti rehevien kankaiden mäntytaimikoissa: rotanhäntämäisiksi muodostuneet latvakasvaimet vaurioituivat kevätahavaan keväällä 1988 etenkin neulaskatoalueen itäosissa. Heikosti talveentuneita männynkasvaimia vaurioitui jo elokuun 1987 halloissa.

Sallan Sätsijärven tuhon ja eteläisen Lapin kesän 1987 neulaskadossa ei ole kyse samasta ilmiöstä. Keskikesän varsinainen neulaskatoalue loppui kohta Sallan kirkonkylän koillispuolella, kuitenkin paljon ennen Sätsiä. Siitä huolimatta samat talven 1986/87 poikkeukselliset olot ovat olleet vaikuttamassa koko Lapin alueella, siis myös Sallan pohjoisosissa. Ne eivät kuitenkaan ilmenneet keskikesän neulaskatona.

Kirjallisuus

Jalkanen, R. 1988. Kovia kokeneet Pohjoisen puut. Teollisuuden Metsäviesti 1/1988: 8-11.

ILMASTOSTRESSI JA ILMANSAASTEET - KESÄN 1987 NEULASKADON SYITÄ

Eero Tikkanen ja Hannu Raitio

Pohjois-Suomen metsissä havaittiin alkukesällä 1987 odottamaton ilmiö: eri-ikäisten havupuiden neulaset alkoivat karista ennen aikojaan. Näin tapahtui monin paikoin turvemailla sekä lajittuneilla karuilla kivennäismailla. Kariseminen alkoi vanhimmasta neulasvuosikerrasta ja eteni nuorempiin. Aluksi neulaset kellastuivat ja muuttuivat myöhemmin ruskeiksi ennen karisemista. Paikoin puiden koko neulasisto tuhoutui. Neulaskato näkyi parhaiten männyissä, jotka menettivät yhdestä neljään neulasvuosikertaa ja jäljelle jäi yhdestä kolmeen. Tuhoa havaittiin mäntyjen ja kuusien lisäksi koivuissa ja pintakasvillisuudessa. Tuhot yleistyivät loppukesän 1987 aikana, jolloin niitä esiintyi myös viljavammilla kivennäismaiden kasvupaikoilla.

MENETELMÄT

Neulaskadon esiintymistä kartoitettiin kyselyllä, joka osoitettiin kaikille metsähallituksen Perä-Pohjolan piirikuntakonttorin alueen sekä osalle Pohjois-Pohjanmaan piirikuntakonttorin alueen suunnitteluteknikoille. Ilmiötä ja sen syitä alettiin tutkia kivennäismaalla heti sen puhjettua kesällä 1987.

Nuorten mäntyjen ravinnetilaa tutkittiin neulasista ja maasta tehtyjen ravinneanalyysien sekä lannoituskokeen avulla. Neulasnäytteet kerättiin samoista puista heinäkuussa ja joulukuussa 1987 sekä joulukuussa 1988, lannoituskoe perustettiin heinäkuussa 1987 ja maanäytteet kerättiin saman vuoden elokuussa. Puiden vesitaloutta tutkittiin mittaamalla neulasten vesipotentiaalia maastossa painekammiomenetelmällä aamulla ja iltapäivällä heinäkuussa ja elokuussa 1987. Juurinäytteitä kerättiin elokuussa 1987 ja syyskuussa 1988 juurien anatomisen rakenteen sekä syyskuussa 1988 juurien esiintymisen ja määrän sekä mykorritsan tutkimista varten. Lisäksi testattiin juurien elävyyttä TTC-menetelmällä (trifenyylitetrazoliumkloridi) näytteistä, jotka oli kerätty huuhtoutumis- ja rikastumiskerroksesta neulaskadosta kärsivien, terveiden ja vertailualueen puiden läheltä elokuussa 1987 ja syyskuussa 1988.

Ilmiön syiden selville saamiseksi tutkittiin myös neulasten vaharakennetta elokuussa 1987 kerätyistä neulasista ja mitattiin laskeuman laatua elokuusta 1987 alkaen sekä tarkasteltiin sääoloja Ilmatieteen laitoksen kuukausikatsauksista (Ilmatieteen laitos, kuukausikatsaus elokuu 1986 - syyskuu 1987). Aineistot mittauksia ja analyysejä varten kerättiin kolmesta mäntytaimikosta Hietaperänkankaalta (66°22' N, 26°43' E, 150 m mpy.) Rovaniemen maalaiskunnasta. Yksi taimikoista valittiin vertailualueeksi (V), jolla neulaskatoa ei esiintynyt heinäkuun puolivälissä. Muilla alueilla, neulaskatoalue 1 (K1) ja neulaskatoalue 2 (K2), oli neulaskadosta kärsiviä eli sairaita (S) ja terveitä (T) puita. Ravinneanalyysien, vesipotentiaalimittausten ja TTC-testien tulokset testattiin varianssianalyysillä.

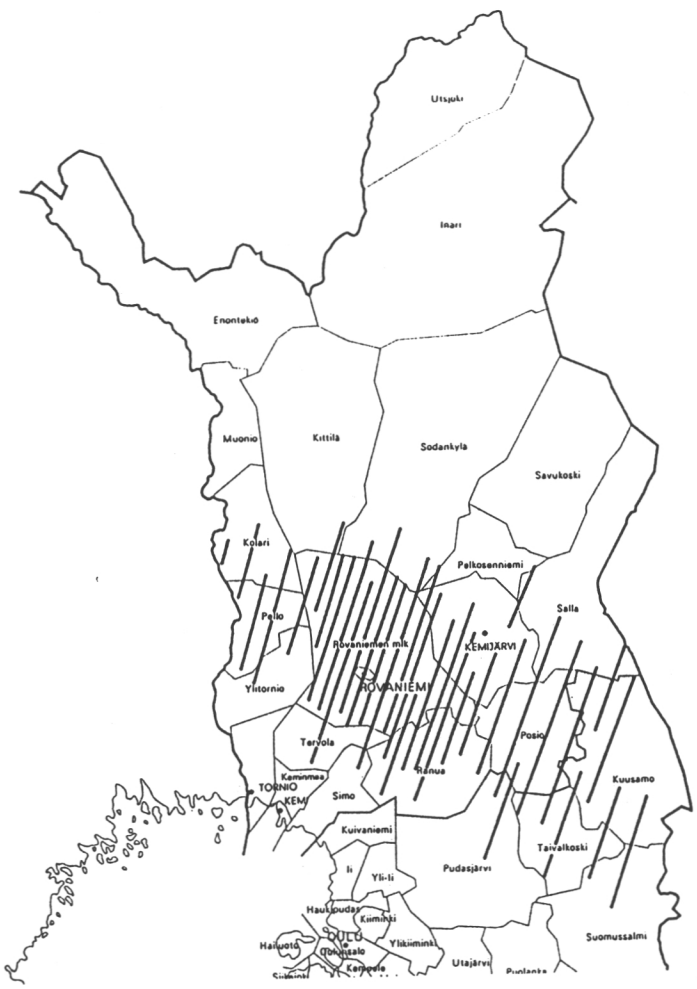
Tässä työssä tarkastellaan neulaskatoilmiötä ja sen syitä keskeisimpien tutkimustulosten valossa lannoituskoetta sekä juurien anatomista rakennetta ja mykorritsaa koskevia osia lukuun ottamatta.

TULOKSIA

Esiintyminen

Kyselyyn vastasi 42 henkilöä, joista 67 % oli havainnut ilmiötä. Sitä esiintyi eniten Etelä-Lapissa ja Kainuussa. Runsaimmin havaintoja tehtiin Rovaniemen maalaiskunnasta ja Pellosta sekä Ranuan pohjoisosasta ja Kemijärven länsiosasta (kuva 1). Kysely ei ollut kattava Kuusamon, Sallan, Posion, Kemijärven eikä nk. Lapin kolmion osalta, koska näillä alueilla vain pieni osa metsämaasta on valtion omistuksessa.

Selvästi eniten ilmiötä todettiin männyissä. Ensimmäiset oireet havaittiin useimmiten heinäkuun alkuun mennessä. Neulaskato keskittyi luontaisesti syntyneisiin taimikoihin ja ensiharvennusmetsiin. Kivennäismailla sitä esiintyi sekä lajittuneilla että moreenimailla.



Kuva 1. Neulaskadon esiintyminen Pohjois-Suomessa kesällä 1987.

Taulukko 1. Neulasten ravinnepitoisuus neulaskatoalueella 1 (K1) ja 2 (K2) terveissä (T) ja sairaissa (S) puissa sekä vertailualueen (V) puissa (n = 10).

Ravinne	Neulas-vuosi-kerta	Alue														
		K1						K2						V		
		T			S			T			S					
		15.7.	15.12.	7.12.	15.7.	15.12.	7.12.	15.7.	15.12.	7.12.	15.7.	15.12.	7.12.	15.7.	15.12.	7.12.
N (%)	1983	0.70			0.47			0.67			0.48			0.74		
	1984	0.66			0.56			0.63			0.52			0.73		
	1985	0.66	0.90		0.65	0.87		0.64	0.96		0.63	1.06		0.74	1.04	
	1986	0.70	0.94		0.75	0.97		0.70	1.03		0.81	1.14		0.80	1.08	
	1987	1.17	1.03		1.22	1.09		1.20	1.18		1.34	1.25		1.28	1.16	
	1988			1.15			1.13			1.19			1.29			1.22
P (‰)	1983	0.65			0.41			0.62			0.34			0.64		
	1984	0.64			0.49			0.61			0.41			0.66		
	1985	0.64	1.10		0.60	1.07		0.62	1.21		0.60	1.67		0.68	1.14	
	1986	0.69	1.12		0.70	1.12		0.67	1.23		0.79	1.36		0.72	1.19	
	1987	1.65	1.28		1.81	1.35		1.77	1.43		2.00	1.64		1.84	1.44	
	1988			1.32			1.17			1.17			1.37			1.31
K (‰)	1983	1.78			1.17			1.66			0.92			1.95		
	1984	1.86			1.50			1.73			1.16			2.05		
	1985	1.97	3.68		1.85	3.43		1.92	3.63		1.79	3.66		2.16	3.68	
	1986	2.19	3.72		2.18	3.54		2.15	3.64		2.31	4.08		2.58	3.95	
	1987	5.27	4.53		5.18	4.45		4.62	4.38		4.79	4.96		6.09	4.81	
	1988			4.47			4.19			4.07			4.79			4.52
Mg (‰)	1983	0.42			0.47			0.38			0.45			0.49		
	1984	0.50			0.55			0.48			0.54			0.56		
	1985	0.56	0.72		0.55	0.68		0.48	0.64		0.54	0.62		0.58	0.79	
	1986	0.69	0.93		0.73	0.86		0.65	0.86		0.70	0.85		0.76	0.99	
	1987	0.90	1.06		0.70	0.83		0.79	0.96		0.70	0.81		0.83	1.04	
	1988			1.25			1.23			1.16			1.09			1.18
Ca (‰)	1983	3.49			3.92			4.33			5.45			4.13		
	1984	2.65			2.87			3.03			3.74			3.16		
	1985	2.20	3.12		2.02	3.01		2.51	3.04		2.69	2.86		2.39	3.77	
	1986	1.58	2.45		1.53	2.38		1.91	2.41		1.88	2.51		1.94	2.93	
	1987	1.18	1.62		0.82	1.35		1.22	1.48		1.05	1.29		1.07	1.71	
	1988			2.02			1.76			1.88			1.69			2.06
Zn (ppm)	1983	48.7			60.4			56.3			74.9			53.7		
	1984	39.0			43.8			43.2			58.1			42.8		
	1985	33.8	59.0		33.2	49.9		40.4	53.8		45.5	49.9		33.8	57.7	
	1986	29.2	53.8		27.6	44.8		33.5	51.8		32.2	53.4		33.4	52.7	
	1987	31.4	49.4		26.8	37.9		30.8	43.8		27.5	36.8		28.0	44.4	
	1988			48.0			45.1			49.4			47.1			44.2

Talukko 2. Maan liukoinen alumiini (Al^{3+}) ja pH (KCl) Hietaperänkankaalla (n = 5) ja Hämeen- ja Pohjankankaalla Pohjois-Satakunnassa (n = 10).

Hietaperänkangas

Parametri	Maannos-kerros	Alue				
		K1		K2		V
		T	S	T	S	
Al^{3+} mg/100 g	Ao	9.4(3.0)	6.7(2.8)	-	7.8(2.8)	7.8(3.1)
(pH_{KCl})	A	5.8(3.6)	6.4(3.3)	-	7.0(3.6)	6.5(3.7)
	B	1.0(5.0)	1.4(4.9)	-	1.4(5.0)	5.2(4.4)
	C	0.4(5.6)	1.2(5.2)	-	0.5(5.4)	0.7(4.9)

Hämeen- ja Pohjankangas

Parametri	Maannos-kerros	Alue				
		1.		2.		V
		T	S	T	S	
Al^{3+} mg/100 g	Ao	13.2(2.9)	18.2(3.0)	-	15.0(2.9)	11.5(3.0)
(pH_{KCl})	A	14.7(3.6)	17.7(3.7)	-	19.4(3.7)	14.5(3.3)
	B	4.1(4.5)	2.3(4.7)	-	3.9(4.6)	5.6(4.4)
	C	1.2(4.5)	1.8(4.7)	-	1.3(4.5)	1.7(4.6)

Ravinnetila

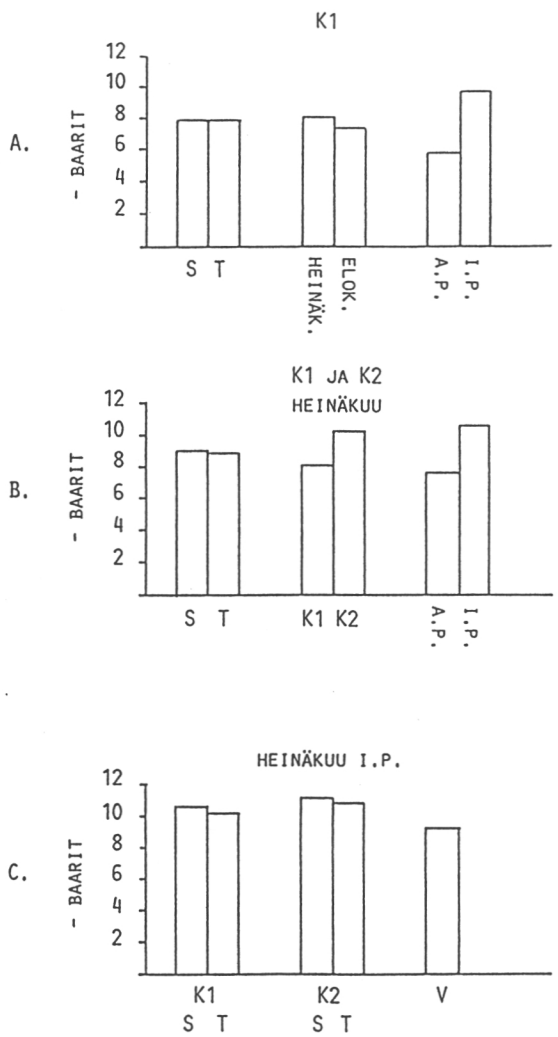
Nuoret männyt, joiden vanhimmat neulasvuosikerrat alkoivat kellastua kesä-heinäkuussa 1987 Hietaperänkankaalla, siirsivät neulasanalyysien perusteella liikkuvia ravinteita - typpeä, fosforia, kaliumia ja magnesiumia - nuorempiin kasvaviin osiin (taulukko 1). Heinäkuun puolivälissä nuorimpien versojen typpi- ja fosforipitoisuus oli sairailla puilla suurempi, magnesiumpitoisuus pienempi ja kaliumpitoisuus samalla tasolla kuin terveillä puilla. Vertailualueen puilla fosfori- ja kaliumpitoisuus oli korkeampi kuin terveillä puilla, mutta muiden liikkuvien ravinteiden pitoisuus oli samalla tasolla. Sen sijaan esim. kalsiumin ja sinkin pitoisuus nuorimmissa versoissa oli sairailla puilla pienempi kuin terveillä, koska mm. nämä ravinteet eivät siirry vanhimmista neulasista nuorempiin kasvinosiin. Neulasanalyysit osoittivat tämän eron pienentyneen joulukuussa 1987 ja hävinneen kokonaan joulukuun 1988 tulosten perusteella. Kaikki edellä mainitut erot neulasten ravinnepitoisuuksissa olivat tilastollisia (Tikkanen ja Raitio 1989).

Tutkimusalueiden maannos oli hyvin kehittynyt rautapodsoli ja maalaji lajittunutta hiekkaa. Humusta oli noin 3 cm, ja huuhtoutumiskerros oli keskimäärin 9 cm paksu. Rikastumiskerroksen alaosassa oli rauta-antura keskimäärin 40-50 cm:n syvyydessä. Maan ravinnepitoisuudet eivät poikenneet keskimääräisistä karukkokankaan arvoista (ks. Urvas ja Erviö 1974), mutta vertailualue oli kuitenkin muita alueita hieman viljavampi kasvupaikka. Liukoisen alumiinin pitoisuudet sen sijaan olivat Hietaperänkankaalla selvästi alhaisempia kuin vastaavalla metsätyypillä Hämeen- ja Pohjankankaalla Pohjois-Satakunnassa, vaikka maa oli molemmilla alueilla lähes yhtä hapanta (taulukko 2) (Tikkanen ja Raitio 1989).

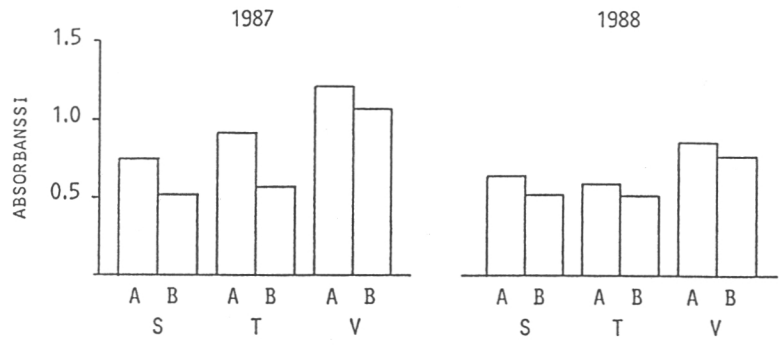
Vesitalous

Neulaskatoalueella 1 neulasten keskimääräiset vesipotentiaaliarvot olivat sairaissa ja terveissä puissa samansuuruiset (kuva 2a). Heinäkuussa arvot olivat negatiivisempia kuin elokuussa ja iltapäivällä negatiivisempia kuin aamulla. Erot olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä. Matalin yksittäinen arvo oli -14 baaria mitattuna iltapäivällä heinäkuussa ja korkein -3,2 baaria mitattuna aamulla elokuussa.

Heinäkuussa neulasten keskimääräiset vesipotentiaaliarvot olivat neulaskatoalueilla sairaissa ja terveissä puissa samansuuruiset. Alueella 2 arvot olivat kuitenkin negatiivisempia kuin alueella 1 ja iltapäivällä negatiivisempia kuin aamulla (kuva 2b). Erot olivat tilastollisesti erittäin merkitseviä. Matalin yksittäinen arvo alueella 2 oli -14,8 baaria ja korkein -6,6 baaria. Molemmat arvot mitattiin aamulla heinäkuussa.



Kuva 2 a-c. Neulasten vesipotentiaali. Neulaskatoalueella 1 (K1) ja 2 (K2) oli yhteensä kahdeksan tervettä (T) koepuuta heinäkuussa ja elokuussa vastaavasti viisi kumpiakin. Vertailualueella (V) koepuita oli viisi.



Kuva 3. Männynjuurissa pelkistyneen TTC:n absorbanssi. Sairaiden puiden (S) lähistöltä testattiin kymmenen juurinäytettä huuhtoutumiskerroksesta (A) ja kymmenen rikastumiskerroksesta (B) sekä terveiden (T) ja vertailualueen puiden (V) läheltä vastaavasti viisi.

Kaikkein negatiivisimmat vesipotentiaaliarvot mitattiin iltapäivällä heinäkuussa. Neulaskatoalueella 1 ja 2 keskimääräiset arvot olivat sairaissa ja terveissä puissa samalla tasolla, mutta vertailualueen puissa potentiaaliarvo ei ollut yhtä matala kuin katoalueiden terveissä puissa (kuva 2c). Terveyden vaikutus neulasten vesipotentiaaliin oli tilastollisesti merkitsevä (Tikkanen 1989).

Juuret

Männynjuurien määrä hehtaarilla oli vertailualueella paljon pienempi kuin neulaskatoalueilla. Kaikilla alueilla pääosa juurista oli mineraalimaan ylimmässä 10 cm:ssä; määrä kaikista hehtaarilla olevista männynjuurista oli 71 % neulaskatoalueella 1, 59 % neulaskatoalueella 2 ja 54 % vertailualueella. Humuksessa olevien männynjuurien määrä oli vertailualueella 7,3 %, mikä oli korkeampi kuin neulaskatoalueilla, so. 1,9 % alueella 1 ja 0,5 % alueella 2 (Tikkanen 1989).

Elokuussa 1987 sairaiden puiden läheltä otettujen männynjuurien elävyys oli heikompi kuin terveiden ja vertailualueen puiden läheltä otettujen. Sen lisäksi rikastumiskerroksesta otettujen juurien elävyys oli kaikissa tapauksissa heikompi kuin huuhtoutumiskerroksesta otettujen (kuva 3). Juurissa pelkistyneen TTC:n absorbanssi oli keskimäärin 0,75 sairaiden, 0,92 terveiden ja 1,21 vertailualueen puiden lähellä huuhtoutumiskerroksessa ja rikastumiskerroksessa vastaavasti 0,52, 0,57 ja 1,07. Terveyden vaikutus männynjuurien elävyyteen oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ja maannoskerroksen vaikutus suuntaa-antava.

Syyskuussa 1988 elävyyden absoluuttinen taso oli juurissa pelkistyneen TTC:n absorbanssin perusteella matalampi kuin elokuussa 1987 (kuva 3). Sairaiden ja terveiden puiden läheltä otettujen juurien elävyys oli syyskuussa 1988 samalla tasolla, mikä oli vähän matalampi kuin vertailualueen puiden läheltä otettujen. Juurissa pelkistyneen TTC:n absorbanssi oli nyt keskimäärin 0,62 sairaiden, 0,59 terveiden ja 0,85 vertailualueen puiden lähellä huuhtoutumiskerroksessa ja rikastumiskerroksessa vastaavasti 0,52, 0,51 ja 0,76. Terveyden vaikutus juurien elävyyteen oli suuntaa-antava. Maannoskerrosten välillä ero ei ollut enää tilastollinen (Tikkanen 1989).

Neulasten vaharakenne

Tutkimukset neulasten vaharakenteesta osoittivat sen kuluvan neulasten vanhetessa. Toistaiseksi ei ole havaittu eroa sairaiden, terveiden ja vertailualueen puiden neulasten vaharakenteen välillä. Jokaisessa ryhmässä puuyksilöiden väliset erot olivat suuria.

Laskeuman laatu

Laskeuman laatua on mitattu Hietaperänkankaalla elokuusta 1987 alkaen vesihallituksen käyttämällä menetelmällä (Järvinen 1986a). Kuukausilaskeuman pH-arvo on vaihdellut toukokuun 1988 arvosta 3,8 syyskuun 1987 arvoon 4,8. Keskimääräinen kokonaisrikin kuukausilaskeuma elokuusta 1987 heinäkuuhun 1988 oli 16,3 mg/m^2 ja kokonaistypen 21,3 mg/m^2.

Sääolot

Vuosien 1986-87 sää Suomessa poikkesi monin tavoin normaalikauden 1931-60 keskiarvoista. Vuonna 1986 loka- ja marraskuun sademäärät olivat Pohjois-Pohjanmaalla, Kainuussa ja Lapissa suurempia kuin samojen kuukausien keskiarvot normaalikautena. Keski- ja Pohjois-Lapissa marraskuun sade tuli pääosin lumena, mutta muualla Pohjois-Suomessa vetenä. Lumipeitteen syvyys oli Pohjois-Pohjanmaalla, Kainuussa ja Etelä-Lapissa joulukuussa 10-20 cm ja tammikuussa 20-30 cm tavallista pienempi. Sen sijaan Keski- ja Pohjois-Lapissa lumen syvyys oli joulukuussa suunnilleen yhtä suuri tai suurempi ja tammikuussa 10-20 cm pienempi kuin keskimäärin.

Loka- ja marraskuun 1986 keskilämpötilat olivat Pohjois-Suomessa normaalikauden keskiarvoja korkeampia. Joulu- ja tammikuun arvot olivat sen sijaan selvästi alhaisempia kuin normaalikautena 1931-60. Keskilämpötilan lasku oli marras-joulukuun vaihteessa erittäin jyrkkä. Myös vuoden 1987 tammi-, helmi- ja maaliskuun keskilämpötilat olivat normaalikauden arvoja alhaisempia. Lokakuun 1986 ja huhtikuun 1987 välisenä aikana kuukauden keskilämpötilan välinen erotus oli Pohjois-Suomessa suurin joulukuussa 1986. Metsämaan routaantuminen alkaa Pohjois-Suomessa yleensä loka-marraskuun vaihteessa. Talvikautena 1986-87 maa routaantui normaalia syvemmälle jo joulukuussa, koska joulukuu oli vähäluminen ja erittäin kylmä. Vuonna 1987 routa pysyi maassa tavallista kauemmin ja kasvukausi alkoi myöhään. Kesä oli tavallista viileämpi ja sateisempi.

POHDISKELU

Rovaniemen maalaiskunnan Hietaperänkankaalla kasvavista nuorista männyistä tehdyt neulasanalyysit osoittivat puiden ravinnetalouden häiriintyneen: sairaat puut siirsivät liikkuvia ravinteita nuorimpiin kasvaviin osiin. Sen sijaan sellaisten ravinteiden pitoisuudet, joita kasvit eivät kykene ravinnepuutostilan vallitessa siirtämään, olivat nuorimmissa versoissa sairailla puilla pienempiä kuin terveillä ja vertailualueen puilla.

Juuristovauriolla oli todennäköisesti osuutta puiden ravinnestressiin, koska maa-analyysien mukaan ravinnepitoisuudet tutkituissa taimikoissa eivät poikenneet karukkokankaan keskimääräisistä arvoista, mutta sairaiden puiden läheltä elokuussa 1987 otettujen juurien elävyys oli selvästi heikoin. TTC:n pelkistyminen oli sairaiden puiden läheltä huuhtoutumiskerroksesta otetuissa juurissa 38 % heikompi kuin vertailualueen puiden läheltä otetuissa, mikä oli osoitus juuristovauriosta. Mitygan ja Lamphearin (1971) ja Lindströmin ja Nyströmin (1987) mukaan 50 %:n lasku TTC:n pelkistymisessä merkitsee vakavaa juuristovauriota.

Tämän perusteella rikastumiskerroksesta sairaiden puiden läheltä otetuissa juurissa vaurio oli vakava, sillä niissä TTC:n pelkistyminen oli 52 % heikompi kuin samassa maannoskerroksessa vertailualueen puiden läheltä otetuissa. Se, että rikastumiskerroksesta otettujen juurien elävyys oli kaikissa tapauksissa heikompi kuin huuhtoutumiskerroksesta otettujen, voi johtua esim. korkeammasta raudan ja alumiinin pitoisuudesta tai hapettomuudesta. Käsitystä juuristovauriosta tuki myös neulasanalyysin tulos liikkumattomien ravinteiden osalta.

Juuristovaurio vaikutti stressaavasti myös puiden vesitalouteen, minkä neulasista mitatut vesipotentiaalit osoittivat. Larcherin (1983) mukaan ikivihreiden havupuiden ilmaraot alkavat sulkeutua neulasten vesipotentiaaliarvojen ollessa baarien -5 ja -10 välillä ja sulkeutuvat kokonaan baarien -10 ja -20 välillä. Keskimääräiset neulasten vesipotentiaaliarvot olivat Hietaperänkankaalla ensin mainituissa rajoissa. Kaikkein negatiivisimmat yksittäiset arvot, jotka useimmiten mitattiin heinäkuussa iltapäivällä, olivat kuitenkin viimeksi mainittujen rajojen sisällä. Neulaskatoalueilla kasvavien sairaiden ja terveiden puiden välillä erot olivat pieniä ja muistuttivat siten juurien TTC-testissä saatuja tuloksia. Heinäkuussa iltapäivällä vesipotentiaalit olivat terveissä puissa negatiivisempia kuin vertailualueen puissa, mikä täsmäsi juurien TTC-testitulosten kanssa osoittaen selvästi, että juuristovaurio vaikutti puiden vesitalouteen. Tämä vesistressi havaittiin neulaskatoalueilla kasvavissa männyissä, vaikkakin puiden vesitalous oli todennäköisesti kohentunut neulasten karistessa ja mitatut neulaset olivat vuoden 1986 neulasvuosikerrasta.

Syyskuussa 1988 ero sairaiden, terveiden ja vertailualueella kasvavien puiden läheltä otettujen juurien elävyydessä oli paljon pienempi kuin elokuussa 1987. Huuhtoutumiskerroksesta otetuissa juurissa ero TTC:n pelkistymisessä sairaiden ja vertailualueen puiden välillä oli 28 % ja rikastumiskerroksesta otetuissa vastaavasti 32 %. Sen mukaan juuret olivat toipumassa vauriosta, mikä näkyi myös joulukuun 1987 ja 1988 neulasanalyysissä liikkumattomien ravinteiden tuloksista. Pelkistyneen TTC:n absoluuttinen taso voi Yadavan ym. (1978) mukaan vaihdella testitilanteen ja -ajankohdan mukaan, mikä havaittiin tässäkin tutkimuksessa vuosien 1987 ja 1988 mittausten välillä.

Juuristovaurion syntyyn ovat voineet vaikuttaa mm. sääolot. Tätä oletusta tukee se, että neulaskatoa esiintyi voimakkaampana alueella, missä normaalia lämpimämmän ja sateisemman loka- ja marraskuun 1986 jälkeen lämpötila laski joulukuun alussa jyrkästi ja lähes lumeton maa routaantui nopeasti syvälle ankarien pakkasten seurauksena. Vielä tammikuussa 1987 lumipeitteen syvyys oli 20-30 cm pienempi kuin keskimäärin normaalikautena 1931-60. Käsitystä sään osuudesta vahvistaa se, että juurien kylmänkestävyys on heikompi ja niiden talveentuminen alkaa myöhemmin kuin versoilla (Sakai ja Larcher 1987). Boreaalisessa havumetsässä juuria normaalisti suojaavat talvella lumi ja humuskerros. Kuivissa kangasmetsissä humus on kuitenkin tyypillisesti ohut ja heikosti suojaava, minkä vuoksi vähälumiset talvet voivat olla niissä juurille tuhoisia. Vuoden 1986-87 kaltaisia ankaria talvia puustovaurioineen on Suomessa ollut muutamien kymmenien vuosien välein (Pohjakallio 1963).

Myös ilman epäpuhtauksien on oletettu aiheuttavan neulasten värinmuutoksia ja ennenaikaista varisemista (esim. Hüttl 1986). Hapan laskeuma voi aiheuttaa maan happamoitumista ja liukoisen alumiinin määrän lisääntymistä, mistä seuraa kasvien juuristovaurioita sekä ravinnetalouden häiriöitä (esim. Foy 1978, Evers 1983, Rost-Siebert 1983, Hüttermann 1985). Liukoisen alumiinin pitoisuudet maassa olivat Hietaperänkankaalla kuitenkin melko alhaisia ja alumiinin aiheuttamat puiden juuristovauriot siksi epätodennäköisiä. Käsitystä tukevat selvästi korkeammat alumiinin pitoisuudet vastaavalla metsätyypillä Hämeen- ja Pohjankankaalla, missä sen epäillään vaikuttaneen puustovaurion syntyyn (Raitio ja Tikkanen 1986). Tikkanen (1989) otaksuukin alumiinipitoisuuden eron näiden alueiden välillä johtuvan paljolti maan mineralogisista eroista.

Happaman laskeuman tiedetään vaurioittavan myös neulasten vaharakennetta (esim. Huttunen 1986). Tutkimukset neulasten vaharakenteesta Hietaperänkankaalta eivät ole toistaiseksi paljastaneet senkaltaisia vaurioita. Mm. happaman sateen ja otsonin epäillään myös aiheuttavan liikkuvien ravinteiden huuhtoutumista neulasista. Keskimääräinen kokonaisrikin

ja -typen kuukausilaskeuma elokuusta 1987 heinäkuuhun 1988 oli kuitenkin Hietaperänkankaalla pienempi, mutta sadeveden happamuus suurempi kuin vesihallituksen Etelä-Lapista ja Kainuusta vuosilta 1971-82 saamat vastaavat keskimääräiset arvot (Järvinen 1986b).

Tutkimus osoitti, että neulaskadosta kärsivillä männyillä oli Hietaperänkankaalla ravinne- ja vesistressi. Maassa ravinteita oli kuitenkin normaali määrä, mutta juuristoissa oli vikaa. Syynä oli joko ilmastosta tai ilmastosta ja ilmansaasteista johtuvien stressien aikaansaama juuristo- tai neulasvaurio. Sekin on mahdollista, että molemmat vauriot puhkesivat samanaikaisesti em. tekijöiden vaikutuksesta. Tämän tutkimuksen tulokset tukevat kuitenkin käsitystä, jonka mukaan juuristovaurio olisi ollut ensisijainen ja sen pääasiallinen syy ilmastostressi.

Kirjallisuus

Carson, E. W. (ed.) 1974. The plant root and its environment. Charlottesville. University Press of Virginia. 691 s.

Evers, F. H. 1983. Ein Versuch zur Aluminium-Toxizität bei Fichte. Ergebnisse eines Gefässkulturversuchs mit bewurzelten Fichtenstecklingen. Forst- und Holzwirt. 12:305-307.

Foy, C. D. 1978. Effects of aluminium on plant growth. Teoksessa Carson, E. W. (ed.) 1974. The plant root and its environment. s. 601-642.

Huttunen, S. 1986. Acid precipitation effects on *Pinus sylvestris* forests in southern Finland. Proceedings of the 18th IUFRO World Congress. Forest plants and forest protection. Division 2, vol. 1:320-332.

Hüttermann, A. 1985. The effects of acid deposition on the physiology of the forest ecosystem. Experientia 41:584-590.

Hüttl, R. F. 1986. "Neuartige" Waldschäden und Nährelementversorgung von Fichtenbeständen (*Picea abies* Karst.) in Südwestdeutschland. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen, Heft. 16. 195 s.

Järvinen, O. 1986a. Laskeumakeräimen ja sademittarin sadantien vertailu. Vesihallituksen monistesarja no. 427. 25 s.

Järvinen, O. 1986b. Laskeuman laatu Suomessa 1971-1982. Vesihallituksen monistesarja no. 408. 142 s.

Larcher, W. 1983. Physiological plant ecology. 303 s. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo. Springer-Verlag.

Lindström, A. & Nyström, C. 1987. Seasonal variation in root hardiness of container-grown Scots pine, Norway spruce, and lodgepolepine seedlings. Can. J. For. Res. 17:787-793.

Mityga, H. G. & Lamphear, F. O. 1971. Factors influencing the cold hardiness of *Taxus cuspidata* roots. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 96:83-86.

Pohjakallio, O. 1963. Kasvipatologia 2. Tarttuvat kasvitaudit. 375 s. Porvoo, Helsinki. Werner Söderström Osakeyhtiö.

Raitio, H. & Tikkanen, E. 1986. Nuorten mäntyjen kalsium- ja magnesiumtalouden häiriö kuivalla kankaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 225. 21 s.

Rost-Siebert, K. 1983. Aluminium-Toxizität und -Toleranz an Keimpflanzen von Fichte (*Picea abies* Karst.) und Buche (*Fagus silvatica* L.). Allg. Forstzeitschr. 38 (26-27):686-689.

Sakai, A. & Larcher, W. 1987. Frost survival of plants. Responses and adaptation to freezing stress. 321 s. Ecological studies, Vol. 62. Analysis and synthesis. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo. Springer-Verlag.

Tikkanen, E. 1989. Root vitality and water stress of young Scots pines with needle losses. Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema.

Tikkanen, E. & Raitio, H. 1989. Nutrient stress in young Scots pines suffering from needle loss in a dry heath forest. Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema.

Urvas, L. & Erviö, R. 1974. Metsätyypin määräytyminen maalajin ja maaperän kemiallisten ominaisuuksien perusteella. Summary: Influence of the soil type and the chemical properties of soil on determining of the forest type. Maataloustieteellinen aikakauskirja 46:307-319.

Yadava, U. L., Doud, S. L. & Weaver, D. J. 1978. Evaluation of different methods to assess cold hardiness of peach trees. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 103:318-321.

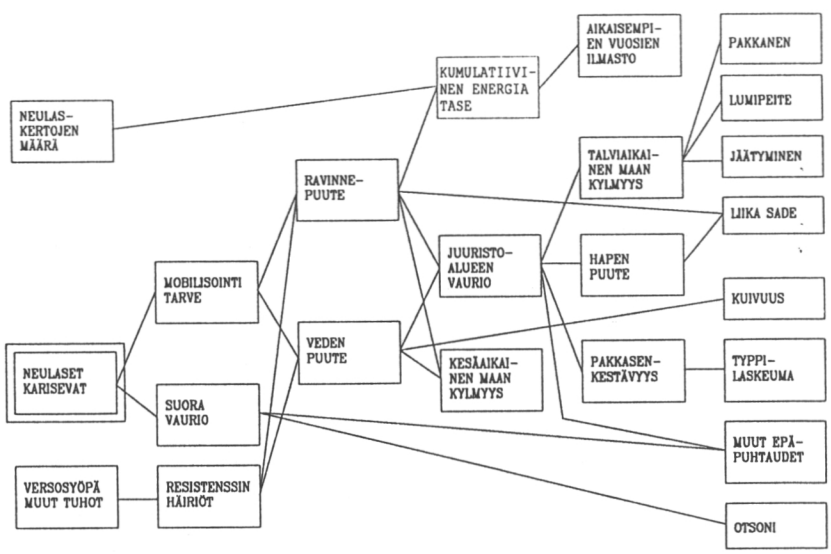
JUURTEN JÄÄDYTYSKOKEET HIETAPERÄNKANKAALLA

Risto Jalkanen, Kirsti Airaksinen ja Kaarina Niska

Ilmansaasteet ovat merkittävin uhka Suomen metsille sitten jääkauden. Epäpuhtauksien, erityisesti otsonin (Norokorpi 1988, Sutinen 1988) on väitetty olleen keskeisesti osallisena myös ns. Lapin neulaskadossa. Neulaskadolla tarkoitetaan tässä yhteydessä männyn vanhimpien neulasten äkillistä kellastumista kesken parhaan kasvukauden kesällä 1987. Voimakkainta neulaskato oli karuilla, lajittuneilla kasvupaikoilla eteläisessä Itä-Lapissa, Koillismaalla ja Kainuussa (Jalkanen 1988). Neulaskatoon johtaneet tekijät lienevät vaikuttaneet puuston tilaan kuitenkin myös huomattavasti laajemmalla alueella. Luonnossa todettiin tapahtuneen myös muita poikkeuksellisia ilmiöitä, joita on tarkasteltu neulaskadon yhteydessä (Jalkanen 1990). Neulaskatoa ja muiden vaurioiden ilmenemistä edelsi epätavallisen lumeton ja kylmä talvi (Ritari 1989).

HYPOTEESI

Talven 1986-87 poikkeukselliset sääolot ovat aiheuttaneet keskikesän 1987 neulaskadon. Ilmaston vaikutukset kohdistuvat ensisijaisesti juuristoon ja vasta välillisesti maanpäällisiin osiin. Edelleen oletettiin, että epäpuhtauksien ollessa pääsyynä neulaskatoon puuston tila rappeutuu johtaen taimikoiden kuolemiseen. Metsiköt eivät voisi siten toipua merkittävästi. Neulaskatoon johtaneista syistä ja riippuvuussuhteista on rakennettu alustava malli (kuva 1).



Kuva 1. Lapin neulaskadon 1987 neulasten karisemismalli.

AINEISTO JA MENETELMÄT

Koska talven 1986-87 poikkeuksellisuus oli selkeä, olosuhteita katsottiin voitavan jäljitellä kenttäkoeolosuhteissa metsässä. Kohteeksi valittiin neulaskadosta kärsinyt lajittunut mäntykangas Rovaniemen maalaiskunnan Hietaperänkankaalla. Syksyllä 1987 perustettiin esikoe, jonka tarkoituksena oli kehittää menetelmällisiä mahdollisuuksia männyn juuriston stressaamiseksi epäedullisilla säätekijöillä. Samalla testattiin hypoteesia. Taustalla oli ilman epäpuhtauksien merkityksen tutkimiseen tähtäävä laajempi koesarja, jota kaavailtiin toteutettavaksi talvella 1988-1989.

Juuria stressattiin a) estämällä lumen tulo maahan keskitalvella tai b) luomalla kastellen massiivinen jääkerros maanpinnalle. Kumpikin käsittely toistettiin kahdesti. Lumentulo ruuduille estettiin rakentamalla kyljistä auki olevia muovihuoneita. Muovi oli paikoillaan marraskuulta huhtikuun 18. päivään estäen siten lumisuojan myös neulasilta. Massiivinen lumen sekainen jääkerros, jonka paksuus vaihteli 10 cm:stä 15 cm:iin, syntyi neljällä kastelukerralla 16.12. ja 22.12.1987 sekä 18.1. ja 19.2.1988. Kastelusta liian kovalla pakkasella alaoksille levinnyt vesi ja voimakas höyry lienevät syynä huhtikuussa ilmenneisiin alaoksien neulasten ruskettumisiin ja oksien kuolemiseen.

Kummankin käsittelyn toisella toistolla hidastettiin maan lämpenemistä ja roudan sulamista kattamalla ruudut 5-10 cm paksuisella sahajauhokerroksella huhtikuun lopulta heinäkuun alkuun. Edellisten ruutujen lisäksi esikokeeseen sisältyi myös kontrolliruudut, joille ei aiheutettu keinollista lisästressiä. Kaikkien käsittelyruutujen koko oli 100 m^2. Runkoluku vaihteli 3150 puusta 7300 puuhun hehtaarilla. Lähes kaikki puut olivat luontaisesti syntyneitä mäntyjä. Käsittelyruutujen puustojen keskipituus oli 2,3 m vuonna 1987. Keski-ikä, jota ei määritetty, oli n. 35 vuotta.

Kaikilla käsittelyillä seurattiin maan ja ilman lämpöoloja, routaa ja lumen syvyyttä jatkuvasti automaattisesti ja/tai viikoittain manuaalisesti joulukuulta 1987 kesäkuulle 1988. Tässä yhteydessä tarkastellaan ainoastaan manuaalisia viikoittaisia lämpötilamittauksia ilmasta ja 20 cm syvyydestä maasta keskeisen juurikerroksen alapuolelta.

Kasvukauden lopulla mitattiin kaikkien käsittelyruutujen elävien puiden pituuskasvut vuosilta 1986-1988. Kuolleet puut luettiin. Vihreiden, kellastuneiden ja karisseiden neulasten määrät selvitettiin 0,25 neulasvuosikerran tarkkuudella heinä-elokuun vaihteessa ja syksyllä 1988. Saadun datan avulla laskettiin vuosikertojen määrät myös talvelle 1987-88.

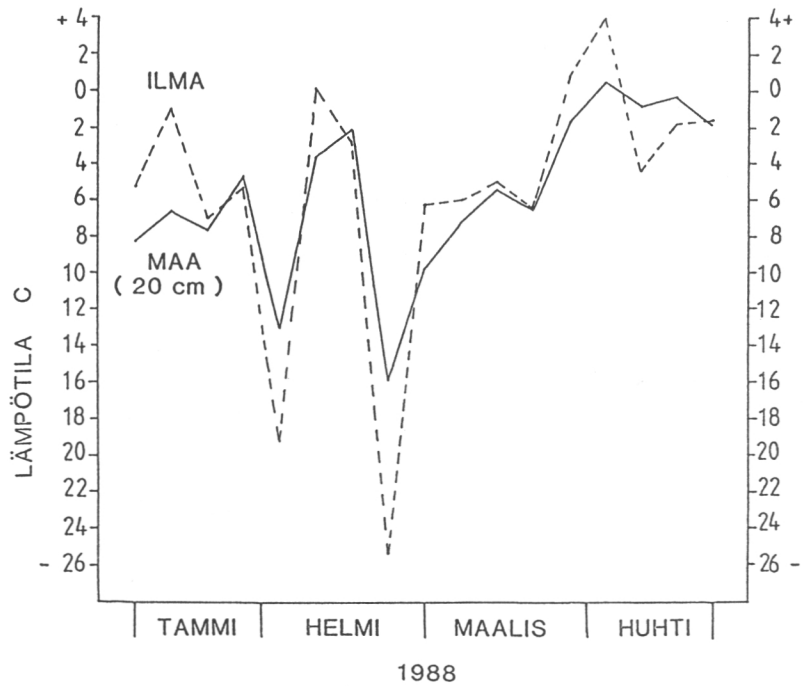
TULOKSIA

Talvi 1987/88 oli leuto verrattuna edelliseen. Maan lämpötilalla oli selvä taipumus seurata ilman lämpötilan muutoksia. Kylmimmillään maan lämpötila 20 cm syvyydessä lumettomalla ruudulla ja viikoittain mitattuna oli $-16^{o}C$, kun ilman lämpötila oli samalla hetkellä $-26^{o}C$ (kuva 2).

Stressattujen puiden vanhimpia neulasia alkoi kellastua heinäkuun 4. päivä, ja viikon kuluttua kellastuminen oli selvästi muuttanut muuten normaalin vihreän puiden yleisvärin. Kuten kesällä 1987, nytkin kesken kasvukauden kellastuneet neulaset karisivat nopeasti niin, että ne olivat irronneet elokuun puoliväliin mennessä. Talven 1987-88 aikana puissa oli keskimäärin 2,9 neulasvuosikertaa, mitä määrää on pidettävä tutkimukseen kuuluneiden puiden osalta tilana, johon männyt vajosivat kesän 1987 neulaskadon tuloksena. Kun kesällä 1988 syntyi uusi neulasvuosikerta kaikkiin puihin, teoreettinen vuosikertamäärä ilman uutta karisemista olisi ollut keskimäärin 3,9. Kuitenkin ilmastostressattujen puiden neulasten talvikannasta menetettiin 17,2 - 24,1 % (0,5-0,7 neulasvuosikertaa) käsittely-yhdistelmästä riippuen. Luontainen poistuma (vertailuruudut) oli vain 3,6 % (0,1). Kesän 1988 jälkeen neulasia oli siten eniten stressaamattomissa puissa (taulukko 1).

Taulukko 1. Juurten kylmästressikäsittelyn vaikutus männyn neulasvuosikertojen määrään. Koe suoritettiin talvella 1987-88 Hietaperänkankaalla Rovaniemen maalaiskunnassa.

	Neulasvuosikertojen määrä			
	Talvi 1987/88 kpl	Kellastuminen heinäkuu 1988 kpl	%	Syksy 1988 kpl
Lumeton	2.9	0.5	17.2	3.4
Jääkenttä	2.9	0.7	24.1	3.2
Käsittelemätön	2.8	0.1	3.6	3.7



Kuva 2. Ilman ja maan (20 cm syvyydessä) lämpötilojen vaihtelu lumettomalla käsittelyruudulla Hietaperänkankaalla tammi - huhtikuussa 1988. Tulokset perustuvat viikottaisiin manuaalisiin mittauksiin.

Neulaskatokesän 1987 pituuskasvut olivat 54,2 - 63,6 % edellisen kesän arvoista. Pituuskasvu taantui edelleen kesällä 1988 kaikilla ruuduilla; suhteellisesti alhaisimmaksi (23,1 - 28,4 % vuoden 1986 tasosta) kasvu jäi kuitenkin ruuduilla, joissa puiden juuristoa oli stressattu keinollisesti estämällä lumen tulo tai luomalla jääkerros. Hitainta taantuminen oli käsittelemättömillä ruuduilla (taulukko 2). Sahajauhokate voimisti käsittelyn vaikutusta, koska lyhimmät v. 1988 kasvaimet käsittelyn sisällä olivat sahajauhokatteisilla ruuduilla.

Kaikilla käsitellyillä ruuduilla osa taimista kuoli. Kaikki käsittelemättömät puut säilyivät hengissä (taulukko 2).

Taulukko 2. Juurten kylmästressikäsittelyn vaikutus männyn kasvuun ja kuolleisuuteen. Koe suoritettiin talvella 1987-88 Hietaperänkankaalla Rovaniemen maalaiskunnassa.

	Vuotuinen pituuskasvu, %			Kuolleisuus
	1986	1987	1988	%
Lumeton	100	54.2	23.1	7.8
Jääkenttä	100	63.6	28.4	11.7
Käsittelemätön	100	62.1	35.0	0.0

TULOSTEN TARKASTELU

Tulokset osoittavat, että asetettu hypoteesi oli oikea. On siten käynyt toteen, että männyn juuriston altistaminen epäedullisilla ilmastotekijöillä aiheuttaa ennenaikaista vanhojen neulasten kellastumista keskikesällä. Kylmäkäsittelyn tuloksena stressaantuneet puut joutuivat monin tunnuksin mitattuna heikompaan tilaan kuin käsittelemättömät puut. On toki korostettava, että puun kannalta kielteisiä vaikutuksia ovat lisänneet kesän 1987 neulaskatoon johtaneet tekijät.

Se, että käsittelemättömät männyt, joiden maanpäälliset (mutta eivät maanalaiset) osat olivat samassa ilmastossa (pakkasessa) kuin muutkin puut, eivät menettäneet neulasiaan, osoittaa neulaskadon johtuneen muutoksista maan alla. Koska juuristressipuiden kasvu taantui jo neulasten karistessa, puiden juuristolla on täytynyt olla toimintavaikeuksia. Pelkkä uusimmankaan neulasvuosikerran menetys ei nimittäin heikennä kasvua merkitsevästi neulasten poistumisvuonna (Jalkanen 1986).

Koska jo – 15°C pakkanen tuhoaa merkittävästi männyn juuristoja (Lindström ja Nyström 1987) ja koska tutkimuksessa juuristokerroksen maan lämpötila laski alle mainitun arvon, juurien ja/tai mykoritsojen toiminnan on täytynyt hankaloitua kylmyydestä. Tämän seurauksena puun normaali vesi- ja ravinnehuolto luonnollisesti vaikeutuu. Aivan maan pintaosissa lämpötila on vielä alhaisempi ja karulla lajittuneella maalla männyn juuret, etenkin ohuimmat ja puun kannalta tärkeimmät osat, ovat keskittyneet tähän ylimpään pintakerrokseen. Niinpä uuden kasvun turvaamiseksi etenkin ravinteita siirretään vanhoista osista. Koska ravinteiden tarve on akuutein kasvun alkaessa, niiden siirto neulasista johti neulasten ennenaikaiseen kellastumiseen. Vaikka maanpinta sulaa nopeasti karulla kankaalla, puut eivät saaneet vettä ja ravinteita maasta juurten vaurioitumisen takia.

Nyt saadut tulokset vahvistavat sitä olettamusta, että keskikesän 1987 neulaskato johtui ratkaisevasti ilmastollisista tekijöistä, joiden keskinäisestä merkityksestä kuin myös ilmansaasteiden vaikutuksen tasosta saadaan tarkempia arvioita jatkotutkimuksissa. Kun juurten kylmänkestävyys on huomattavasti huonompi kuin versojen ja neulasten, juuristot lienevät vaurioituneet ilman lämpötilan laskettua joulukuun alussa äkillisesti jopa 30°C:lla samalla, kun lumi oli lauhan syksyn jälkeen sulanut pois. Vaurioitumisesta oli viitteenä myös täydellinen mykoritsasienikato keskeisillä neulaskatokankailla. Lumettoman maan lämpötilan alhaisuus on loogista, onhan Lapin karuilla kankailla minimaalisen vähän suojaa, kun humuskerros on lähes olematon ja porot ovat kuluttaneet valtakasvilajiston eli jäkälät. Niinpä lumipeitteellä oli ratkaiseva merkitys lämpöoloihin talvella 1986-87.

Kirjallisuus

Jalkanen, R. 1986. *Lophodermella sulcigena* on Scots pine in Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 136. 41 s.
Jalkanen, R. 1988. Kovia kokeneet Pohjoisen puut. Teollisuuden Metsäviesti 1/1988: 8-11.
Jalkanen, R. 1990. Vauriot Lapin luonnossa talven 1986-1987 jälkeen. Julkaisussa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347:31-33.
Lindström, A. & Nyström, C. 1987. Seasonal variation in root hardiness of container-grown Scots pine, Norway spruce, and lodgepole pine seedlings. Can. J. For. Res. 17, 787-793.
Norokorpi, Y. 1988. Lapin mäntyjen neulaskato. Muistio 6.6.1988. 4 s.
Ritari, A. 1989. Temperature, snow and soil frost conditions in northern Finland during winter 1986-1987, viewed against a longer recording period. Nord (painossa).
Sutinen, S. 1988. Metsävaurioiden syistä. Muistio 6.6.1988. 6 s.

TALVEN 1986-87 SÄÄOLOJEN POIKKEUKSELLISUUS JA PAKKASVAURIOT POHJOIS-SUOMESSA

Aulis Ritari

Ilmastotekijöiden merkitys ja osuus Lapin neulaskatoon talven 1986-87 jäljiltä on herättänyt tutkijoiden kesken vilkasta keskustelua eri tiedotusvälineissä. Eräissä kannanotoissa on koulukuntamaisesti väheksytty pakkasen merkitystä ja todettu säätilan vaihtelun edustaneen vain normaalitilannetta. Perustellusti voidaan kuitenkin olla sitä mieltä, että ei ole tappeen leimaamalla ja mystifioimalla hämärtää sellaisia asioita, joita voidaan mitata ja lähestyä kvantitatiivisestikin. Tällaisia ovat useimmat ilmastotekijät.

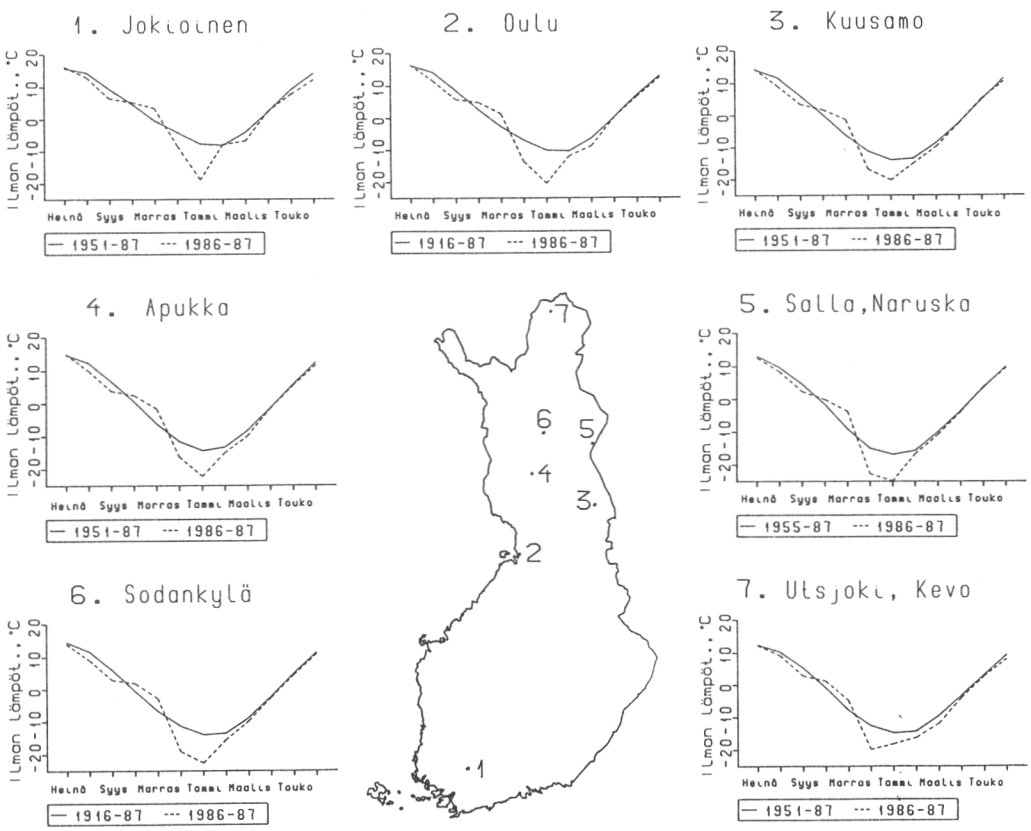
Ilmastotekijät vaikuttavat jatkuvasti puiden elintoimintoihin ja eräitä niistä on mitattu maassamme aina vuosisadan alkupuolelta lähtien. Karkealla tasolla voimme arvioida tilannetta myös puiden biologisen sietokyvyn kannalta. Huomio kohdistuu tällöin erityisesti ilman ja maan lämpötiloihin sekä puiden kehitysvaiheesta riippuvaan pakkaskestävyyteen.

Esityksessä tarkastellaan graafisesti karttapohjalla sekä taulukkoina ilmaan ja maahan liittyviä pitkäaikaisia meteorologisia aikasarjoja Pohjois-Suomesta. Vertailun vuoksi mukana on myös joitakin Etelä-Suomen havaintopaikkoja. Ilman ja maan lämpötilahavainnot on tehnyt Ilmatieteen laitos Maatalouden tutkimuskeskuksen Apukkaa lukuunottamatta. Lumi- ja routahavainnot on tehnyt Vesi-ja ympäristöhallituksen hydrologian toimisto (ks. lähemmin sivu 57).

Syksyllä 1987 perustettiin Rovaniemen tutkimusaseman toimesta Kivalon tutkimusalueen Hietaperänkankaalle koe, jossa maa pidettiin keinotekoisesti muovikatoksen avulla lumesta vapaana yhdessä käsittelyssä, toisessa maanpintaa kasteltiin talvella ja kolmantena oli normaali lumipeitteinen käsittely. Tarkoituksena oli stressata karulla hiekkakankaalla kasvavia nuoria mäntyjä ja katsoa, mitä siitä seuraa. Tässä kokeessa ja myöhemmissä jatkokokeissa ilman ja maan lämpötiloja on mitattu ja rekisteröity automaattisen tiedonkeruulaitteen avulla. Tunnin välein tehtyjen havaintojen avulla on mahdollista saada varsin tarkka kuva lämpötilan vaihtelusta ilmassa ja eri syvyydellä maassa. Lumi- ja routatilannetta on seurattu kerran viikossa tehdyin havainnoin.

TALVEN 1986-87 SÄÄOLOT POHJOIS-SUOMESSA VERRATTUNA PITKÄN AIKAJAKSON KESKIARVOIHIN

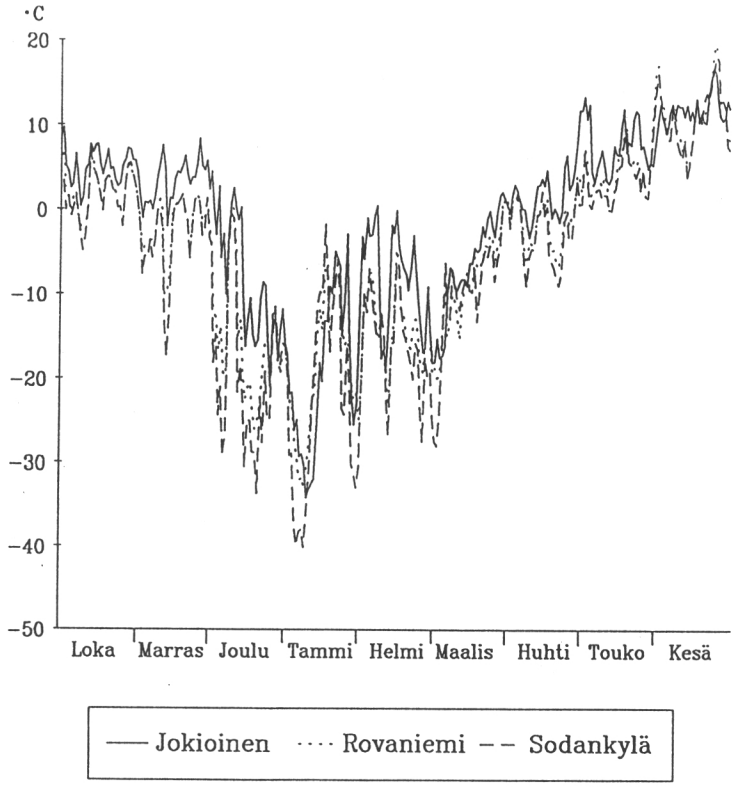
Kuukauden keskilämpötila 2 m korkeudella ilmassa oli marraskuussa 1986 3-4 °C normaalin yläpuolella eri puolilla maata. Joulu-tammikuun keskilämpötilat olivat sitä vastoin 5-10 °C normaalia kylmempiä huolimatta siitä, että jaksoon sisältyi kolme keskimääräistä lämpimämpää ajankohtaa (kuvat 1 ja 2).



Kuva 1. Kuukauden keskilämpötila 2 m korkeudella ilmassa eräillä mittausasemilla talvikautena 1986-87 ja erikseen pitkänä ajanjaksona. Havainnot on tehnyt Ilmatieteen laitos ja Maatalouden tutkimuskeskuksen Lapin tutkimusasema (Apukka).

Vuoden 1986 elokuun ja marraskuun sademäärät ylittivät selvästi pitkän ajanjakson keskiarvot Utsjoen Kevoa lukuunottamatta. Sade tuli marraskuussa myös Pohjois-Suomessa vetenä (kuva 3).

Lumipeitteen kesto muodostui talvella epätavalliseksi: lumi tuli useissa mittauskohteissa noin kuukauden myöhässä ja kevään sääoloista johtuen suli pari viikkoa pitkän jakson keskiarvoa aikaisemmin. Helmi-huhtikuussa lumipeitteen syvyys oli lähellä normaaliarvoja (kuva 4).

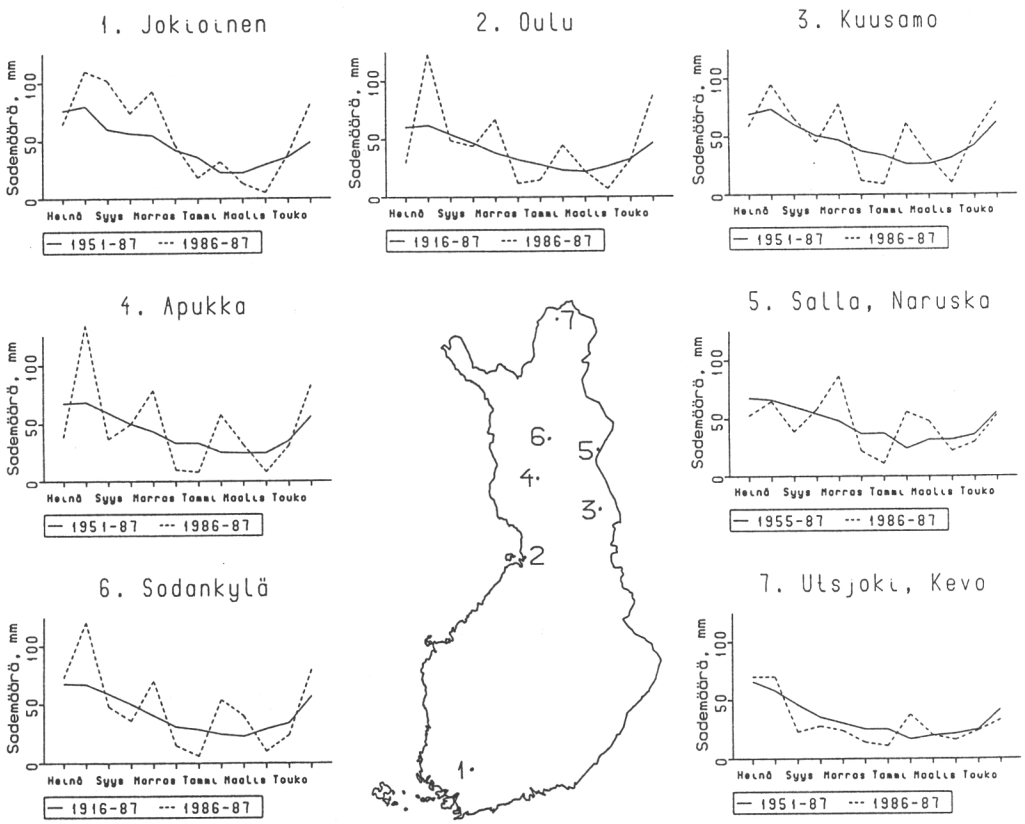


Kuva 2. Päivittäisen ilman keskilämpötilan vaihtelu vuosina 1986-87 kolmella mittausasemalla: Jokioinen, Rovaniemi, Sodankylä. Havainnot on tehnyt Ilmatieteen laitos.

Kuvaan 5 on merkitty eräille paikkakunnille se aika talvella 1986-87, jolloin pysyvä lumipeite muodostui ja vastaavasti suli. Lumentulo- ja sulamisaikaa vastaava todennäköisyys on laskettu kauden 1911-60 havaintojen avulla. Niiden paikkakuntien osalta, jotka ovat kuvan ylälaidassa, tilanne oli harvinaislaatuinen. Toisin sanoen lumipeite muodostui epätavallisen myöhään tai suli aikaisin. Vastaavalla tavalla on mahdollista tarkastella myös esimerkiksi ilman ja maan minimilämpötilojen toistuvuutta.

Lumipeitteen ohuudesta tai puuttumisesta oli seurauksena se, että lämpötilat maassa laskivat voimakkaasti joulukuun alussa ilman kylmettyä. Pitkän aikajakson arvoihin verrattuna viiden vuorokauden keskilämpötilat 20 cm syvyydellä maassa olivat n. 5 °C alempia. Merkille pantavaa on, että maa jäähtyi normaalia voimakkaammin myös Etelä-Suomessa (kuva 6).

Maan routaantuminen viivästyi marraskuun lauhojen säiden vuoksi, mutta eteni nopeasti joulukuussa lämpötilojen laskettua (ks. kuva 3). Voidaan sanoa, että roudan maksimisyvyys oli kääntäen verrannollinen alkutalven lumipeitteen paksuuteen ja riippui vahvasti matalista ilman lämpötiloista. Eräillä Pohjois-ja Keski-Lapin mittausasemilla (Utsjoki, Inari, Sodankylä, Kemijärvi) roudan syvyys ylitti metsässä ja aukealla kivennäismaalla helmi-toukokuussa 2 m, mikä on selvästi enemmän kuin pitkän ajan keskiarvo. Eräissä mittauspaikoissa routa viipyi heinä-elokuuhun saakka tai pitempään (esim. Inarin Angeli, Kemijärvi). Roudan maksimipaksuuteen vaikuttavat lumipeitteen ohella humuskerroksen ja maan laatu sekä pohjavesiolosuhteet, jotka täytyy huomioida eri paikkakuntien tietoja keskenään vertailtaessa.



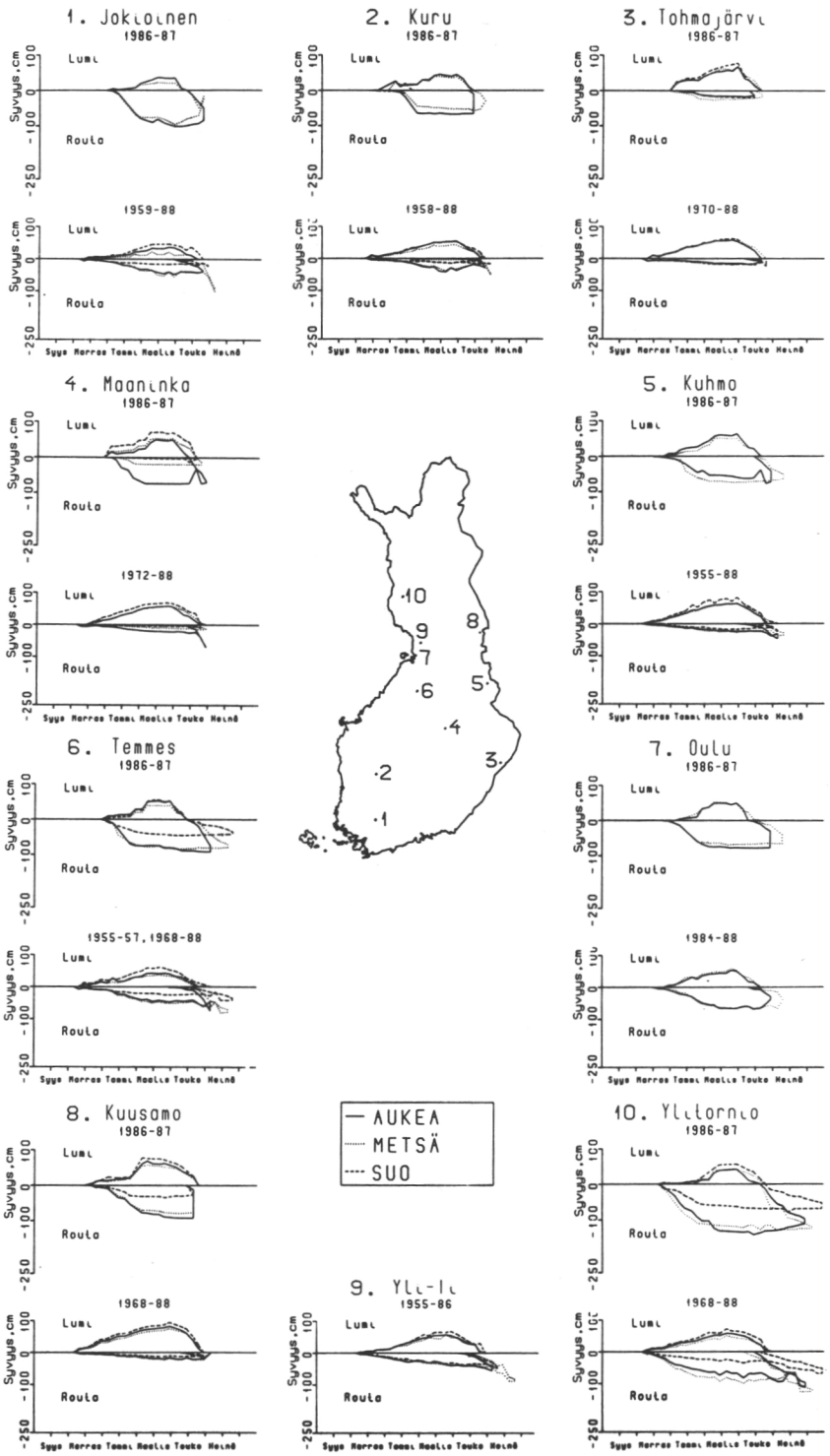
Kuva 3. Kuukauden sademäärä eräillä mittausasemilla vuosina 1986-87 ja erikseen pitkänä ajanjaksona. Havainnot on tehnyt Ilmatieteen laitos ja Maatalouden tutkimuskeskuksen Lapin tutkimusasema.

VUOSISADAN PAKKASTALVET

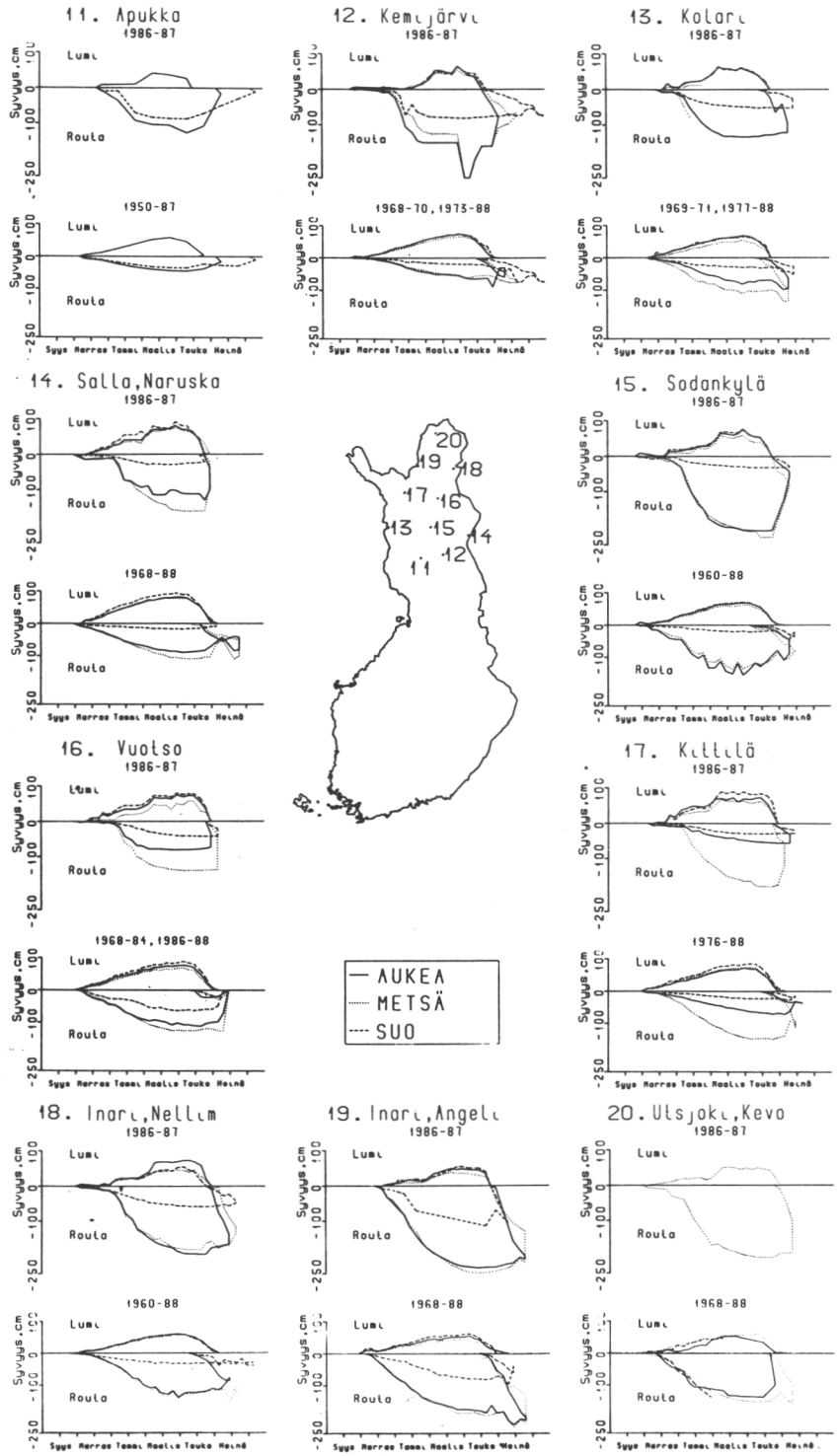
Talvien ankaruutta on mahdollista verrata toisiinsa usein eri perustein. Taulukon 1 vuodet on laitettu järjestykseen joulu-maaliskuun keskilämpötilojen mataluuden perusteella. Samassa taulukossa on esitetty kuukausittain myös roudan maksimisyvyys, lumen keskisyvyys sekä minimilämpötila maassa 20 cm syvyydellä. Pitkät aikasarjat ovat Suomen 35:ltä ilmanlämpötilan mittausasemalta, 20 lumi-ja routa-asemalta sekä 8 maanlämpötilan mittausasemalta. Havaintojenteon alkamisajankohta näkyy mukana olevien havaintopaikkojen osalta kuvissa 1, 3, 4 ja 6. Vanhimmat ilman lämpötilahavainnot ovat vuodelta 1916 (Sodankylä). Maanlämpötiloja on mitattu vuodesta 1961 lähtien (Vuotso), ja lumi- ja routahavaintoja on aina vuodesta 1950 (Apukka).

Ankaria talvia on ollut etenkin 1960-ja 80-luvuilla useita. Talvi 1939-40 ei ollut erityisen ankara kuukausittaisten ilman keskilämpötilojen avulla tarkasteltuna (lumi-, routa- ja maanlämpötilahavainnot puuttuvat). Kuitenkin talven jäljiltä on raportoitu pakkasvaurioita sattuneen eri puulajeille sekä Suomessa että muualla Euroopassa (Linkola 1940, Münch 1948).

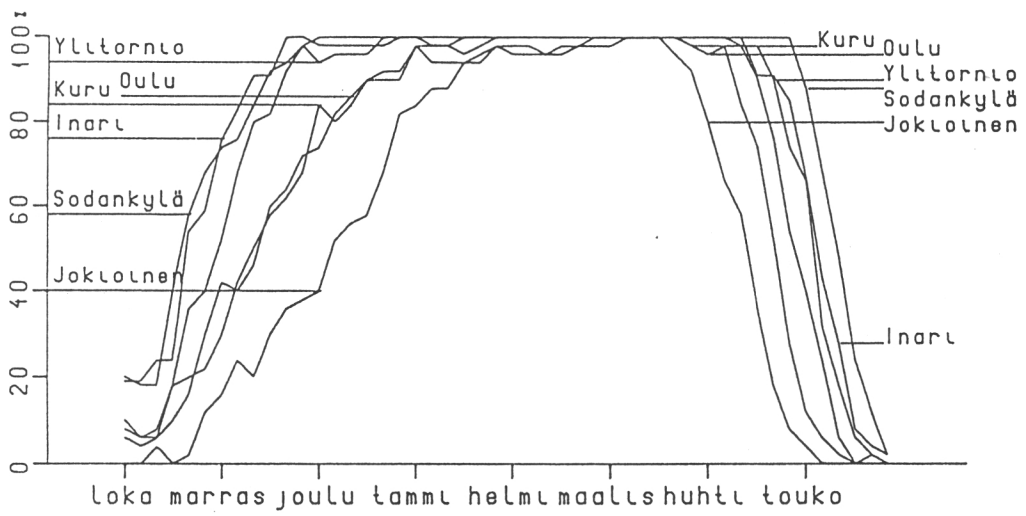
4a)


1. Jokioinen
1986-87
1959-88
2. Kuru
1986-87
1958-88
3. Tohmajärvi
1986-87
1970-88
4. Maaninka
1986-87
1972-88
5. Kuhmo
1986-87
1955-88
6. Temmes
1986-87
1955-57, 1968-88
7. Oulu
1986-87
1984-88
8. Kuusamo
1986-87
1968-88
9. Ylitornio
1955-86
10. Ylitornio
1986-87
1968-88
Syvyys,cm
100
0
-100
-250
Luml
Routa
Syys Marras Tamm Helmi Touko Heinä
AUKEA
METSÄ
SUO

4b)



Kuva 4a ja 4b. Lumipeitteen ja roudan syvyys eräillä mittausasemilla vuosina 1986-87 ja erikseen pitkänä ajanjaksona. Havainnot on tehnyt Vesi- ja ympäristöhallituksen hydrologian toimisto sekä Maatalouden tutkimuskeskuksen Lapin tutkimusasema.



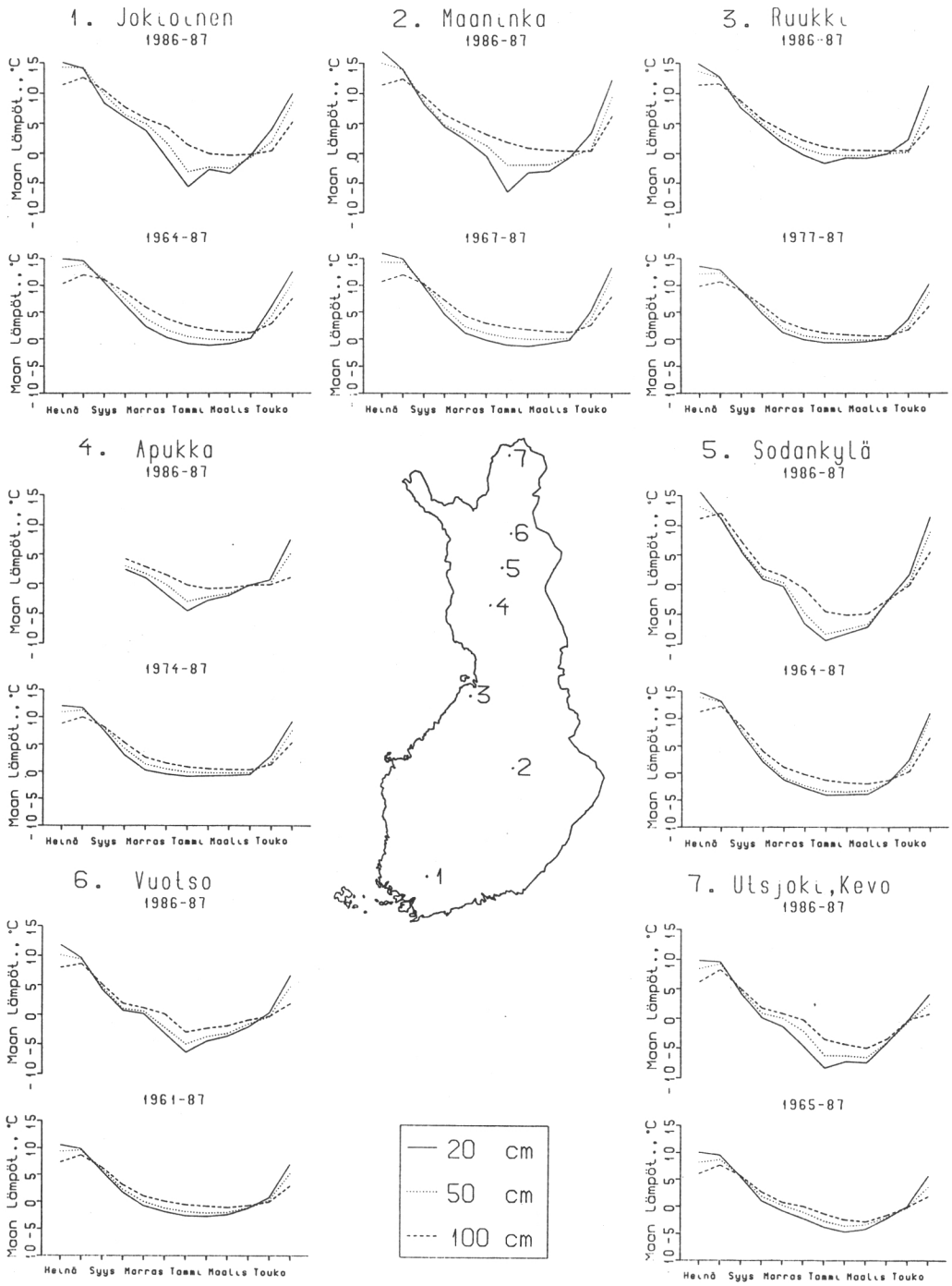
Kuva 5. Lumipeitteen esiintymisen todennäköisyys aukealla alalla eräillä paikkakunnilla. Ilmatieteen laitoksen keräämä havaintoaineisto kattaa vuodet 1911-60.

Talvi 1986-87 erottuu selvästi muista maan minimilämpötilojen ja roudan syvyyksien perusteella. Havinto on tärkeä siitä syystä, että talven merkitystä kasvillisuudelle ei ole syytä arvioida pelkästään ilman lämpötilojen perusteella. Keski- Euroopassa saman talven jälkeen todettu havupuiden neulasten punertuminen ja neulaskato on kytketty poikkeuksellisiin ilmasto-oloihin kuten lämpötilan nopeaan laskuun pakkasen puolelle ja välillä esiintyneisiin suojasäihin (Verrötungen... 1988).

PAKKASVAURION SYNTYYN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Kuvassa 7 on esitetty periaate lämpötilan vaikutuksesta pakkasvaurion syntyyn. Pääkysymyksiä on ainakin kolme: mikä merkitys on kasvin kehitysvaiheella, mikä merkitys on lämpötilan muutosnopeudella, ja mikä on kasvin eri osien absoluuttinen sietokyky alhaisille lämpötiloille. Levitt'n (1972) mukaan nopea lämpötilan lasku nostaa pakkasvaurion synnyn edellytyksenä olevaa kynnyslämpötilaa.

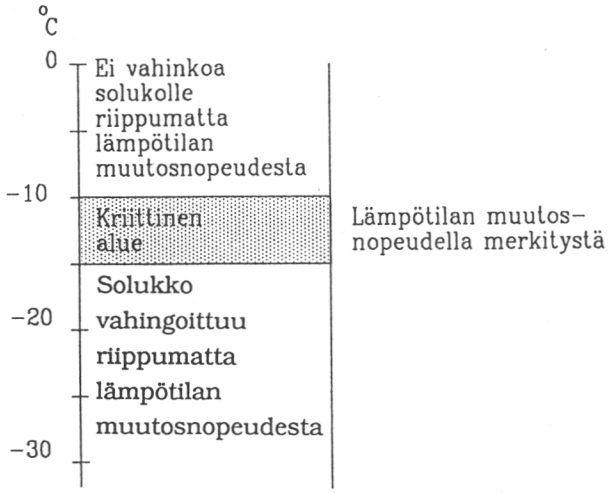
Kasvuympäristöönsä sopeutumisen seurauksena juurten pakkaskestävyys kehittyy heikommaksi kuin maanpäällisten kasvinosien. Kokeellisesti on mahdollista löytää pakkaskestävyyden raja-arvot eri kasvinosille niiden eri kehitysvaiheissa ja jonkin verran asiasta jo tiedetään myös männyn osalta (Lindström ja Nyström 1987, Sutinen 1986). Tehtyjen lämpötilahavaintojen mukaan sekä nopea lämpötilan muutos että alhaiset lämpötilat etenkin maassa alkutalvesta 1986-87 ovat voineet aiheuttaa juuriston vaurioitumisen seurauksena Pohjois-Suomen neulaskatoilmiön.



Kuva 6. Kuukausittainen maan keskilämpötila eräillä mittausasemilla vuosina 1986-87 ja erikseen pitkänä ajanjaksona syvyyksillä 20 cm, 50 cm ja 100 cm. Havainnot on tehnyt Ilmatieteen laitos ja Maatalouden tutkimuskeskuksen Lapin tutkimusasema.

Taulukko 1. Kuukausittainen ilman keskilämpötila (2 m kork.) ja maan minimilämpötila (20 cm syv.) aukealla sekä roudan maksimisyvyys ja lumipeitteen paksuus metsässä Suomen 35:llä ilman lämpötilan ja 8:lla maanlämpötilan mittausasemalla sekä 20:llä lumi- ja routa-asemalla. Aineistossa on mukana koko olemassa oleva mittausjakso. Vuosien järjestys määräytyy joulu-maaliskuun ilman keskilämpötilan mataluuden perusteella.

Vuosi	kuukausi	KESKILÄMPÖTILA, °C, ilma 2m, aukea	ROUTA, maksimi, cm metsä	LUMIPEITE, keskia., cm metsä	MINIMILÄMPÖTILA, °C, maa, syv. 20cm aukea
1965	11	-9.1	23.0	9.7	-4.2
1965	12	-11.6	42.0	31.6	-3.1
1966	1	-19.5	110.0	39.7	-5.0
1966	2	-21.2	110.0	55.2	-6.8
1966	3	-12.4	117.0	63.4	-4.9
1986	11	-1.1	38.0	4.4	-3.9
1986	12	-16.5	110.0	14.1	-11.2
1987	1	-21.2	176.0	21.7	-13.9
1987	2	-13.8	192.0	44.6	-9.9
1987	3	-9.4	240.0	48.3	-9.7
1962	11	-1.7	6.0	9.1	0.1
1962	12	-13.1	24.0	16.6	-2.0
1963	1	-14.5	78.0	32.0	-4.0
1963	2	-14.6	84.0	47.7	-3.4
1963	3	-12.6	95.0	52.8	-2.7
1967	11	0.1	5.0	5.4	0.0
1967	12	-16.2	60.0	9.2	-3.0
1968	1	-19.3	80.0	24.3	-8.5
1968	2	-13.3	100.0	45.8	-5.8
1968	3	-6.0	110.0	51.3	-5.2
1980	11	-10.3	112.0	19.3	-7.8
1980	12	-12.4	112.0	43.2	-6.6
1981	1	-11.1	165.0	59.5	-9.3
1981	2	-13.3	140.0	66.0	-7.7
1981	3	-12.7	233.0	72.7	-11.0
1984	11	-5.7	64.0	13.6	-6.6
1984	12	-6.9	108.0	18.2	-5.8
1985	1	-22.7	142.0	27.5	-9.8
1985	2	-21.6	185.0	37.7	-10.1
1985	3	-5.7	218.0	46.8	-9.7
1941	11	-5.5	-	-	-
1941	12	-16.4	-	-	-
1942	1	-19.0	-	-	-
1942	2	-13.5	-	-	-
1942	3	-12.4	-	-	-
1978	11	-5.3	72.0	9.3	-4.7
1978	12	-18.7	148.0	17.6	-9.0
1979	1	-15.9	189.0	31.8	-9.8
1979	2	-13.9	190.0	47.0	-9.8
1979	3	-5.4	220.0	50.8	-9.5
1961	11	-1.6	5.0	8.8	0.0
1961	12	-11.6	22.0	19.6	-0.2
1962	1	-11.6	43.0	40.3	-1.5
1962	2	-9.7	71.0	60.3	-1.2
1962	3	-13.3	64.0	55.8	-2.0
1985	11	-6.2	48.0	10.7	-1.4
1985	12	-16.6	114.0	22.2	-5.2
1986	1	-16.8	157.0	40.2	-9.8
1986	2	-14.5	185.0	47.2	-7.5
1986	3	-3.0	210.0	49.7	-7.3
1939	11	-0.8	-	-	-
1939	12	-9.3	-	-	-
1940	1	-16.1	-	-	-
1940	2	-15.9	-	-	-
1940	3	-12.1	-	-	-



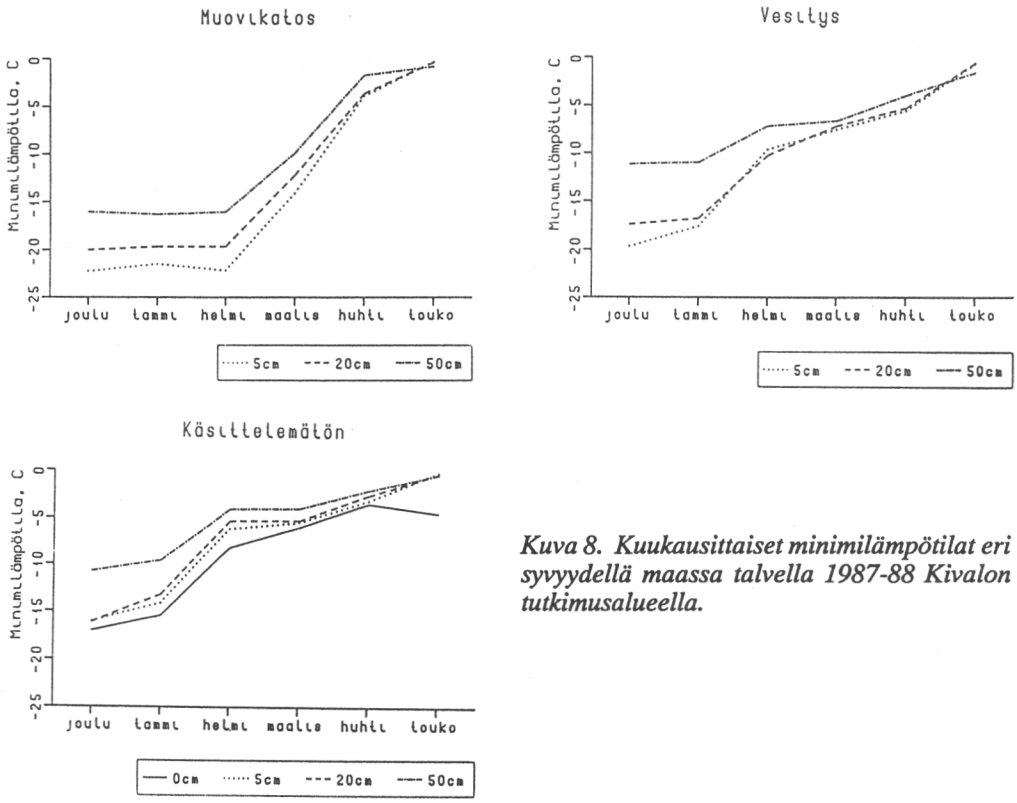
Kuva 7. Periaatteellinen kuva kasvisolukon vaurioitumisesta nopean lämpötilamuutoksen ja alhaisen lämpötilan seurauksena kohtalaisesti karaistuneella kasvilla Levitt'n (1980) mukaan.

ALUSTAVIA TULOKSIA LÄMPÖTILAMITTAUKSISTA KIVALON TUTKIMUSALUEESSA TALVELLA 1987-88

Kuvassa 8 näkyvät talven 1986-87 kuukausittaiset minimilämpötilat maanpinnalla ja eri syvyydellä maassa Hietaperänkankaan koekentällä. Koeruudulla, jolla lumentulo estettiin muovikatteella, lämpötilat laskivat useamman kerran −20 °C tuntumaan puiden juuristokerroksessa. Myös vesitysruudulla minimilämpötilat olivat selvästi alempia kuin lumipeitteisellä kontrolliruudulla.

Taulukko 2. Mitattuja minimilämpötiloja 20 cm syvyydellä maassa talvina 1986-87 ja 1987-88 kahdella mittausasemalla (Apukka ja Kivalo).

APUKKA, heinänurmi				
	8.1.1987	-5.5 °C	18.12.1987	-1.2 °C
	13.1.1987	-5.8 °C	23.12.1987	-1.2 °C
KIVALO, kuiva kangas				
Käsittelemätön			18.12.1987	-14.9 °C
			23.12.1987	-13.4 °C
Vesistys			18.12.1987	-14.8 °C
			23.12.1987	-13.0 °C
Katos			18.12.1987	-16.7 °C
			23.12.1987	-16.3 °C



Kuva 8. Kuukausittaiset minimilämpötilat eri syvyydellä maassa talvella 1987-88 Kivalon tutkimusalueella.

Kun tilannetta verrataan Apukan matalimpiin maanlämpötiloihin (syv. 20 cm) esimerkiksi 18 ja 23.12.1987, ero Kivalon arvoihin on 12-15 °C (taulukko 2). Ero selittynee lumen, karikkeiden ja humuskerroksen paksuuden sekä kivennäismaan lämpökapasiteetti- ja lämmönjohtavuuseroilla. Kun talvella 1986-87 minimilämpötilat maassa olivat Apukassa poikkeuksellisen alhaisia, on tilanne täytynyt olla puiden juuristojen kannalta kriittinen myös Kivalon tutkimusalueella. Jo tehtyjen ja suunniteltujen lämpötilamittausten sekä mallintamisen avulla asiantila voitaneen jatkossa varmistaa.

Aineistolähteet: Ilmatieteen laitoksen säähavainnot on julkaistu sarjoissa: Suomen meteorologinen vuosikirja, Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon ja Havaintoja maan lämpötilasta. Vesihallituksen lumi- ja routahavainnot on julkaistu vuoteen 1977 saakka sarjassa: Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja. Muilta osin tiedot ovat aikaisemmin julkaisemattomia.

Kirjallisuus

Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. Vol. 1. New York - London, Academic Press. 497 s.

Lindström, A. and Nyström, C. 1987. Seasonal variation in root hardiness of container-grown Scots pine , Norway spruce, and lodgepole pine seedlings. Canadian Journal of Forest Research 17:787-793.

Linkola, K. 1940. Pakkastalven 1939-40 vauriot kotimaisilla puu- ja pensaslajeilla olivat Etelä- ja Keski-Suomen eri osissa melkoisesti erilaiset. Luonnon Ystävä 5-6:105-119.

Münch, E. 1948. Forstliche Frostschäden im Winter 1939/40. Forstwissenschaftliche Central-Blatt 67:10-17.

Sutinen, M-L. 1986. Kennotaimien juurten pakkasvaurioista. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 249:67-71.

Verrötungen immergruner Nadelbäume im Winter 1986/87 in der Schweiz. 1988. Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Berichte 307. 90 s.

LAPIN VESISTÖJEN HAPPAMOITUMINEN

Kari Kinnunen

JOHDANTO

Vanhin Lapin vesistöjen tilaa kuvaava seuranta on aloitettu v. 1918, jolloin valtion Hydrografinen toimisto otatti Kemijoen suusta näytteet kerran kuukaudessa (Holmberg 1935). Näytteistä analysoitiin lähinnä veden väriominaisuuksia sekä puskurikykyä. Näistä viimeksimainittu on vertailukelpoinen nykyisen vesianalytiikan kanssa. Jostain tuntemattomasta syystä seuranta lopetettiin v. 1931, mikä oli todella suuri vahinko. Varsinainen vesistöjen tilan alueellisesti ja ajallisesti kattava seuranta aloitettiin Lapissa 1960-luvun alkupuolella, jolloin luotiin ns. valtakunnallisten järvisyvänteiden ja virtahavaintopaikkojen verkosto. Lapin alueella seurattavia järvisyvänteitä on 14 ja virtahavaintopaikkoja on 23.

Seurannan pääperiaate on se, että seurantapaikoilta otetaan tietyin väliajoin näytteet ja niistä tehdään analyysit siten, että saatavat tulokset ovat jatkuvasti vertailukelpoisia keskenään. Näin voidaan arvioida vesiympäristön tilassa mahdollisesti tapahtuvat muutokset ja niiden suunnat. Valtakunnallisten seurantojen lisäksi Lapin vesi- ja ympäristöpiiri tekee runsaasti omia seurantatutkimuksia eri puolilla Lappia. Kaiken kaikkiaan Lapin alueen vesistä tehdään vuosittain n. 60 000 pääosin fysikaalis-kemiallista analyysiä.

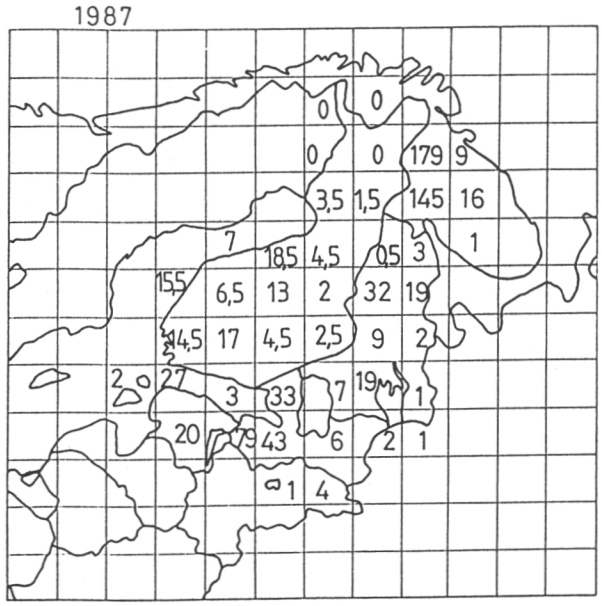
Koska Lapin aluetta on totuttu pitämään lähes luonnontilaisena alueena, jonne teollisuuden vaikutus ei ulotu, ei esimerkiksi valtakunnallisen HAPRO-projektin aktiviteetti ulottunut juurikaan Lappiin saakka.

Lapin vesi- ja ympäristöpiirin omat happamoitumistutkimukset aloitettiin v. 1982 Inarin ja Utsjoen kuntien koillisosissa, jolloin keskityttiin lähinnä lumen ominaisuuksien tutkimuksiin sekä asennettiin Inarin koillisosaan sedimentoituvan materiaalin keruuastioita. Samoin alueelle perustettiin jatkuvasti seurattavia vesiekosysteemin koealoja. Viimeksimainituilla pyrittiin selvittämään, ulottuuko Petsanganikkelin kaivoskombinaatin vaikutus Suomen puolelle saakka. Alustavien tutkimustulosten perusteella tutkimuksen painopistettä suunnattiin yhä enemmän happamoitumisilmiön alueelliseen inventointiin ja erityisesti lumen sulannan aikaisen pH-shokin tutkimuksiin jokivesistöissä. Ensimmäiset konkreettiset Lapin vesistöjen happamoitumista koskevat tulokset julkaistiin keväällä 1987, jonka jälkeen Lapin vesi- ja ympäristöpiirin tutkimuksen painopiste on suunnattu yksiselitteisesti happamoitumistutkimuksiin.

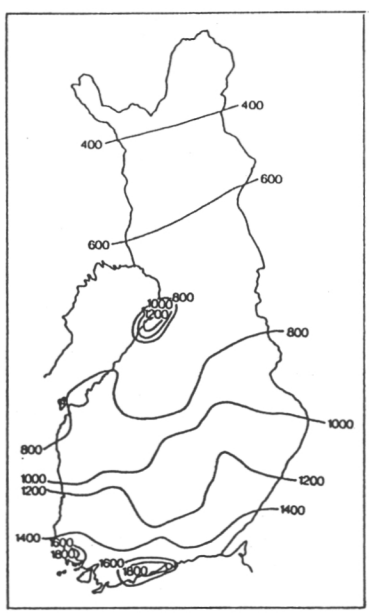
PÄÄSTÖT JA LASKEUMAT

Jotta ympäristön happamoituminen käynnistyisi, tarvitaan päästöjä ilmakehään. Päästöt kulkeutuvat ilmavirtauksien mukana hyvinkin kauas päästölähteistä ja laskeutuvat maahan tai vesiin joko märkälaskeumana tai kuivalaskeumana. Lapin alueella muodostuu merkittäviä ilmapäästöjä vain Kemin-Tornion teollisuusalueella sekä Kemijärvellä. Pohjois-Norjassa ja Pohjois-Ruotsissa ei ole teollisuutta, joka aiheuttaisi merkittäviä päästöjä ilmakehään. Pohjoisen kalottialueen ylivoimaisesti suurimmat päästöt muodostuvat Kuolan alueella olevista kahdesta suuresta nikkelikombinaatista, Petsanga Nikkelistä ja Severo Nikkelistä (kuva 1).

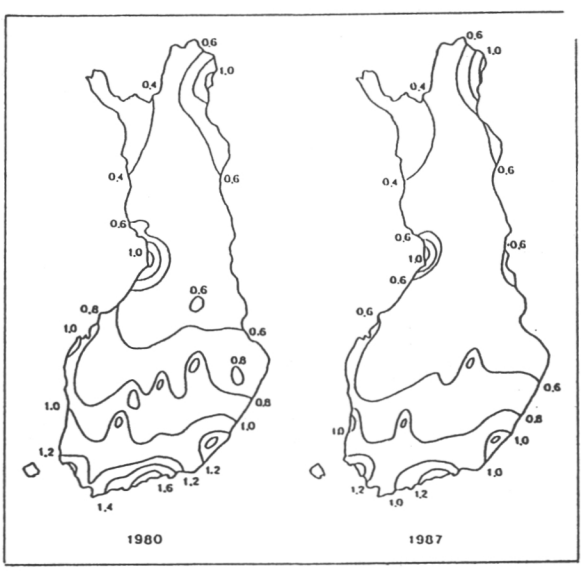
Päästöjen kulkeutuminen riippuu täysin ilmavirtojen liikkeistä. Lapissa vallitsevat ilmavirtaukset ovat onneksi lounaisia eli kohti päästölähteitä. On kuitenkin selvää, että esiintyy



Kuva 1. Suomen ja Neuvostoliiton Suomen rajan läheisten alueiden rikkipäästöt vuonna 1987. Ruudun sivun pituus on 150 km ja luku kuvaa rikkipäästöä kyseisestä ruudusta (1000 tn/a) (Kulmala 1989; Sarkkinen 1989).



Kuva 2. Suomen vuotuinen rikkilaskeuma v. 1980 (mg/m^2) (Kauppi ym. 1987, perustuu Ilmatieteen laitoksen laskelmaan).



Kuva 3. Suomen vuotuinen rikkilaskeuma vuosina 1980 ja 1987 (g/m^2) (Pekka Kauppi/HAPRO-projekti, henkilökohtainen tiedonanto, perustuu IL/VTT mallilaskelmaan).

myös tilanteita, joissa ilmavirtaukset ovat itäisiä tai koillisia ja tuovat merkittäviäkin määriä epäpuhtauksia Suomen puolelle.

Lapin alueelle tulevien laskeumien mittausverkosto on erittäin harva, joten laskeumien määrää joudutaan arvioimaan lähinnä laskeuman leviämismallien avulla. Vielä niinkin myöhään kuin 1987 oletettiin Lapin rikkilaskeumien olevan hyvin alhaisella tasolla (kuva 2) ja laskeumagradienttien kulkevan kaakosta luoteeseen. Happamoitumistutkimuksista syntyneen julkisen paineen ja Neuvostoliitosta saatujen tarkempien päästötietojen perusteella on laskeuma-arvioita tarkennettu ja gradienttien kulkusuuntaa muutettu (kuva 3).

Kuten kuvista 2 ja 3 voidaan havaita, käsitys Lappiin tulevasta rikkilaskeumasta on muuttunut viime vuosina erittäin merkittävästi. Käytännössä Koillis-Lapin ja Kaakkois-Suomen rikkilaskeumat ovat samaa suuruusluokkaa.

LAPIN VESISTÖJEN HAPPAMOITUMISTILANNE

Happamoittavan laskeuman vaikutukset ympäristössä riippuvat ennen kaikkea laskeuman suuruudesta ja kestosta sekä laskeuma-alueen kyvystä eliminoida happamoittavaa laskeumaa. Viimeksimainittua voidaan kutsua myös alueen happamoitumisherkkyydeksi. Vesistöjen valuma-alueiden osalta on happamoitumisherkkyyttä arvioitu käyttäen hyväksi mm. kivilajitietoja, maaperän ominaisuuksia, valuma-alueiden kaltevuutta sekä valuntatietoja (kuva 4). Kuten kuvista 3 ja 4 voidaan havaita, on suurten rikkilaskeumien alueilla myös erittäin herkkiä valuma-alueita.

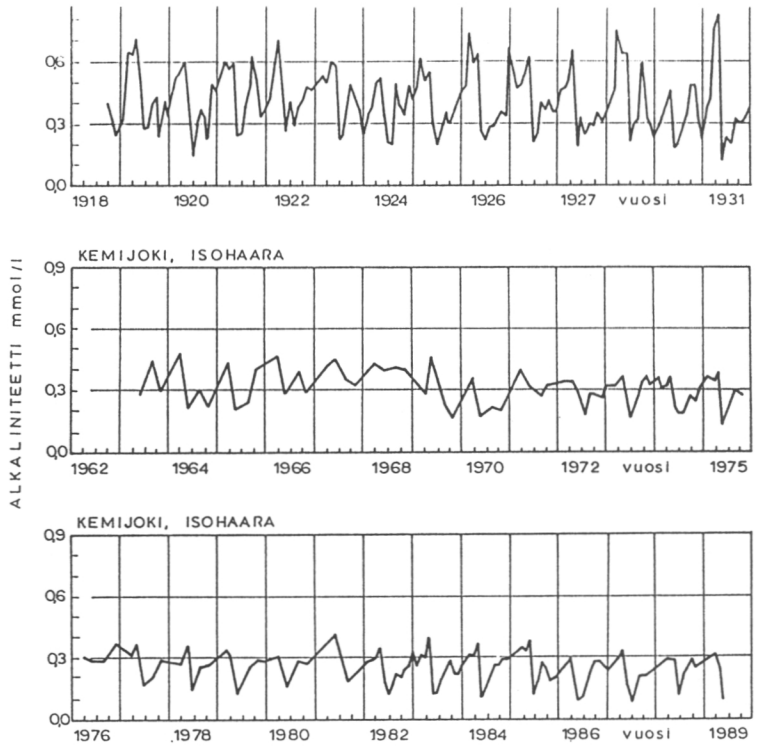
Vanhimman Lapin alueelta käytettävissä olevan veden laatua kuvaavan analyysisarjan (Holmberg 1935) ja vesiviranomaisen 1960-luvun alkupuolella aloittaman virtahavaintoseurannan tulosten perusteella voidaan todeta, että Kemijoen alkaliniteettina mitatun puskurikyvyn huippuarvot ovat laskeneet noin puoleen siitä, mitä ne olivat vuosisadan alkupuolella (kuva 5). Tämä on toistaiseksi vakavin merkki siitä, että happamoitumista on tapahtunut hyvin laajoilla alueilla Lapissa.



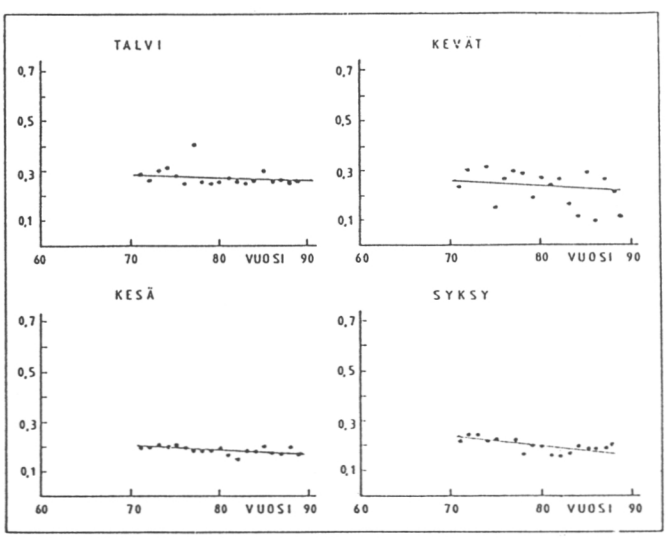
Kuva 4. Pintavesien suhteellisen happamoitumisherkkyyden alueellinen jakauma. Herkimmät alueet on esitetty tummina (Kämäri 1986).

Vesiviranomaisen virtahavaintopaikkaseurannan tuloksia analysoimalla on voitu todeta, että alkaliniteetin laskeva trendi on Lapissa vallitseva piirre (Kinnunen, jukaisematon aineisto). Trendi on erittäin selkeä hydrologisesti stabiileimpina kausina kesällä ja syksyllä. Esimerkiksi Utsjoen (kuva 6) ja Inarinjärven luusuan (Virtaniemi, kuva 7) virtahavaintopaikoilla trendit ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä. Vaikka linearisointi onkin yleensä erittäin kyseenalainen menettely luonnonilmiöitä kuvattaessa, se on alkaliniteetin trendiä arvioitaessa puolustettavissa, koska kyseessä on kemiallinen, stökiömetrinen tapahtuma. Aikajänne, jolloin puskurikyky alkaa loppua kyseisillä virtahavaintopaikoilla on n. 20 vuotta edellyttäen, että alueelle tuleva happamoittava laskeuma ei merkittävästi pienene.

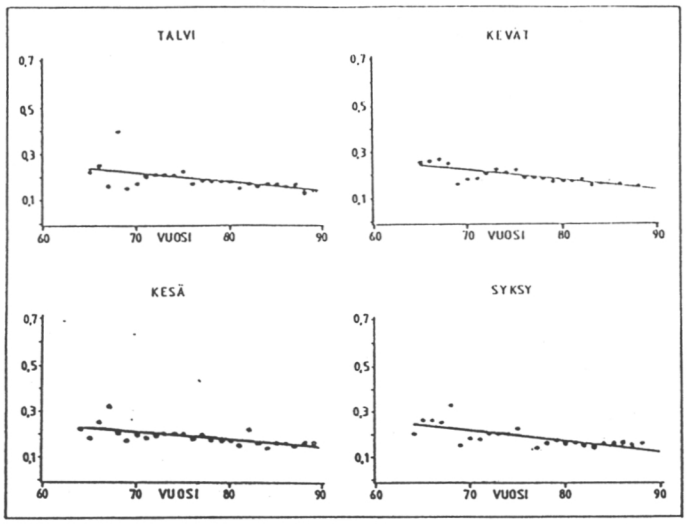
Virtahavaintopaikka-aineistojen analyysissä on havaittavissa myös hidas mutta selkeä nouseva trendi pH:n ja kokonaisfosforin suhteen kasvukauden aikaisissa näytteissä (Kinnunen, julkaisematon aineisto). Tämä viittaa siihen, että



Kuva 5. Alkaliniteetin kehitys Kemijoen alaosassa vuosina 1918 - 1931 (Holmberg 1935) ja 1963 - 1989 (Lapin vesi- ja ympäristöpiiri).



Kuva 6. Alkaliniteetin kehittyminen Utsjoen valtakunnallisella virtahavaintopaikalla vuodesta 1971 vuoteen 1988.



Kuva 7. Alkaliniteetin kehittyminen Inarinjärven luusuan (Virtaniemi) virtahavaintopaikalla vuodesta 1964 vuoteen 1988.

valuma-alueilta liukenee fosforia, mikä lievästi rehevöittää vesistöjä. Kyseinen kehitys on havaittavissa myös pohjoisimmilla kohdealueilla, missä ei ole tehty voimakkaita toimenpiteitä valuma-alueiden maaperän muokkaamiseksi ja joilla ei ole merkittävää pistekuormitusta. Tämäkin havainto viittaa happamoitumiseen vesistöjen valuma-alueilla.

Lapin vesi- ja ympäristöpiirin alueella on tehty myös järvien happamoitumisen kartoitusta syystäyskierron aikaisissa olosuhteissa. Vuoden 1988 syksyn loppuun mennessä oli kartoitettu n. 650 järven tila. Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että puskurikyvyttömiä järviä löytyy erityisesti Ranuan-Posion alueilla, Enontekiöltä sekä Koillis-Lapista (Kinnunen, julkaisematon aineisto). Järvien happamoitumistilanteen inventointi Lapin alueella on vielä kesken. Se saataneen valmiiksi vuonna 1991, jolloin Lapin alueelta on alueellisesti kattava järviaineisto happamoitumistilanteen arvioimiseksi.

Happamoitumisen vaikutuksista Lapin vesiekosysteemeihin ei toistaiseksi ole käytettävissä tietoja, koska esimerkiksi valtakunnallisen HAPRO-projektin vesiekosysteemitutkimukset eivät ulottuneet Lappiin saakka. Tulevaisuudessa tämän puutteen korjaaminen olisi ehdottoman tärkeää.

JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Lapin vesistöjen pitkäaikaisten seurantojen ja alueella tehtyjen inventointitutkimusten perusteella voidaan todeta, että vesistöjen happamoituminen on erittäin vakava ongelma myös Lapissa. Jos Lapin alueelle tulevaa happamoittavaa laskeumaa ei saada merkittävästi pienennetyksi, tulevat hyvin laajat vesistöalueet menettämään puskurikykynsä noin 20 vuoden aikana. Tällä on erittäin haitallinen vaikutus kyseisten vesistöjen ekosysteemeihin. Toisaalta happamoitumisongelmaa ei ole syytä eriyttää Lapissa vesistöjen ongelmaksi, vaan kysymys on koko alueen ja ekosysteemin happamoitumisesta. Vesistöjen veden laatu ja laadun kehittyminen riippuu ennen kaikkea vesistöjen valuma-alueiden ominaisuuksista ja niissä tapahtuvista muutoksista.

Koska vesistöissä havaitaan selkeä happamoitumiskehitys, ovat myös niiden valuma-alueet silloin happamoitumassa. Kun vesistöissä havaitaan kokonaisfosforipitoisuuden nousevan alueilla, joilla ei ole merkittävää piste- tai hajakuormitusta, on lisäfosfori todennäköisesti

suurimmaksi osaksi peräisin valuma-alueilta. Näin ollen vesistöissä havaitun happamoitumiskehityksen luulisi huolestuttavan myös metsäntutkijoita ja metsien tilasta vastuussa olevia viranomaisia.

Tulevaisuudessa happamoitumisen seuranta- ja inventointitutkimuksissa tulisi tehdä erityisen paljon yhteistyötä ja yhdentää seurantoja alueellisesti. Tärkeimmät yhteistyöosapuolet olisivat ilman laadun seurannasta vastaavat viranomaiset, metsäntutkijat, geologit ja vesiviranomaiset. Jos edellä mainitut tahot saataisiin työskentelemään yhdessä, voitaisiin muodostaa luotettava kuva Lapin alueen happamoitumisesta kokonaisuutena eikä vain eräistä osa-alueista kuten nykyään.

Kirjallisuus

Holmberg, L. 1935. Ergebnisse optischer und chemischer Wasseranalysen 1911-1931. Hydrografisen toimiston tiedonantoja V. 54 s.

Kauppi, P., Kenttämies, K., Oikarinen, S. & Valli, R. 1987. Happamoituminen Suomessa. Ympäristöministeriö. Ympäristön- ja luonnonsuojeluosasto. Sarja A. 57/1987. Helsinki. 97 s.

Kulmala, A. 1989. Sulfurdioxide emissions in the northwestern regions of USSR (corrected). Muistio 11.01.1989. Ilmatieteen laitos/Ilmanlaatuosasto. 5 s.

Kämäri, J. 1986. Sensitivity of surface waters to acidification in Finland. Aqua Fennica. 16:211-219.

Sarkkinen, S. 1989. Suomen ja Neuvostoliiton yhteistyö ilman pilaantumisen ehkäisemiseksi; päästöarvioita. Muistio 05.01.- 1989. Ympäristöministeriö. 2 s.

MICROSCOPICAL ASPECTS OF PREMATURELY YELLOWING NEEDLES IN LAPPISH TREES

Siegfried Fink

Needles from healthy looking Lappish pines, from those with premature yellowing syndrome, and from some pines after artificial freezing trials were collected in July 1988. Furthermore, needles from fertilization experiments with affected pines were sampled in winter 1988-89. The material was fixed, dehydrated, embedded in resin, and sectioned at 1-2 µm thickness for subsequent light microscopical evaluation. Some samples were also processed for electron microscopy.

The microscopically visible symptoms were compared to those found in other studies (according to the literature) and in own studies with yellowing spruce needles from the Black Forest ("forest decline"), with needles from different fumigation trials and nutrient-deficiency experiments, and with pine needles from areas with known ozone-damage in the San Bernadino Mountains (California). Special emphasis was laid not only upon the static evaluation of single symptoms, but especially upon the dynamic evolution of microscopical as well as macroscopical symptoms with regard to the sequence of events and their chronological appearance.

The results sofar support the hypothesis that shortages of water and mineral nutrients during springtime lead to a latent mineral deficiency and premature yellowing of the oldest needles. Microscopically this can be shown by preferential damage to the phloem tissue in the vascular bundle of those needles. There was no indication of extensive mesophyll damage which would be typical for direct impact of sulfur dioxide or ozone as the primary causal factor. An indirect contribution of these agents cannot be ruled out, however. The investigation of needles from fertilized trees stresses the importance of the root/nutrient-factor as the probably decisive factor in the ontogeny of the yellowing syndrome.

MÄNNYN NEULASTEN RAKENNEVAURIOT JUURISTON JÄÄDYTYSKOKEILLA HIETAPERÄNKANKAALLA

Toini Holopainen

TAUSTAA

Kesällä 1987 havaittiin Lapissa Rovaniemen, Sallan ja Sotkamon alueella neulasten ruskettumista erityisesti männyissä (Jalkanen 1987). Neulaskato oli voimakkainta karuilla, lajittuneilla kangasmailla ja karuilla rämeillä. Ilmiön aiheuttajana on pidetty pääosin talven 1986-87 ankaruutta, mutta kaasumaisten ilmansaasteiden osuudesta puustovaurioihin on myös keskusteltu.

Juuriston jäätymisen osuutta neulaskadon synnyssä lähdettiin selvittämään syksyllä 1987 aloitetuissa kenttäkokeissa. Kokeet suoritettiin Metsäntutkimuslaitoksen toimesta Kivalon tutkimusalueella sijaitsevalla erittäin karulla Hietaperänkankaalla. Koejärjestelyssä oli 6 lohkoa, joista kaksi oli käsittelemättömiä kontrollilohkoja, kaksi oli katettu muovilla lumen kerääntymisen estämiseksi ja kahdelle lohkolle oli syksyllä -87 johdettu vettä. Yhdellä vesitys- ja muovikatelohkolla maa oli peitetty sahajauholla, koska haluttiin maan pysyvän roudassa keväällä normaalia pitempään.

Alueen puusto on nuorta n. 2,5 - 4 m:n pituista männyn taimikkoa. Puissa oli alkukesällä 1988 pääsääntöisesti 3 vuosikerran neulasia, joten yleiskuva oli harsu. Neulasissa esiintyi yleisesti lievää laikuttaista keltaisuutta. Erityisoireena havaittiin yksittäisissä puissa käsittelylohkoilla sekä kankaan muilla osilla neulasten oranssia väriä, joka ensin muodostui neulasen tyvelle ja levisi siitä kärkeen päin. Oire esiintyi erityisesti v. -86 syntyneessä neulasvuosikerrassa. Vesityslohkojen taimissa esiintyi alaoksien voimakasta ruskistumista n. 1,5 m:n korkeudelle asti. Vaurio alkoi neulasten kärkien kellastumisena ja ruskistumisena leviten nopeasti tyveen päin.

Jäädytys- ja kontrollilohkoilta kerättiin alkukesällä 1988 näytteet neulasvaurioiden hienorakennetutkimusta varten. Työ oli luonteeltaan esitutkimus mahdollisen laajemman selvityksen pohjaksi. Tavoitteena oli erityisesti selvittää, löytyykö muovikate- ja vesityslohkojen neulasista tyypillisiä juurten jäätymiseen liittyviä rakennemuutoksia.

AINEISTO JA MENETELMÄT

Näytteet hienorakennetarkastelua varten kerättiin 20.6. 1988 uuden vuosikasvaimen ollessa pituuskasvunsa alkuvaiheessa. Näytteet otettiin käsittelemättömältä, muovikate- ja vesityslohkolta (kustakin yhdeltä lohkolta), kultakin 10 puusta, jotka edustivat lohkon suurikokoisimpia yksilöitä. Kustakin taimesta otettiin näyteneulanen 1,5 - 1,8 m:n korkeudella olevasta pohjoisenpuoleisesta oksasta kolmesta vuosikerrasta erikseen (-85, -86 ja -87 puhjenneet neulaset). Kukin näyteneulanen edustaa siis eri puuyksilöä. Erikseen otettiin näytteet oransseista tyviosista sekä samojen neulasten kärjistä kontrolli- ja muovikatelohkoilta. Vesityslohkolta kerättiin tyypillisellä tavalla ruskistuneita neulasia, joista näyte leikattiin ruskean ja vihreän osan väliseltä keltaiselta vyöhykkeeltä. Kustakin näytteestä on tarkasteltu 4 toistoa. Kaikkiaan aineistosta on tarkasteltu n. 60 neulasnäytettä, jotka ovat peräisin n. 20 eri puuyksilöstä.

Maastossa näyteneulaset laitettiin suoraan glutaraldehydi-fiksatiiviin ja 3 tunnin kuluessa niistä leikattiin laboratoriossa n. 1 mm:n pituiset palat kärkikolmanneksen tyviosasta ja kiinnitettiin edelleen glutaraldehydissä 10 tuntia ja osmiumtetroksidissa 6 tuntia. Valomikroskooppileikkeet värjättiin toluidiinisinisellä ja EM-leikkeet uranylasetaatilla ja lyijysitraatilla.

TULOKSET

Valomikroskopia

Yleisväriltään vihreiden neulasten mesofyllisolukon rakenne oli ehjä kaikissa ikäluokissa, selviä aukkoja esim. ilmarakojen lähistöllä ei esiintynyt. Silmiinpistävänä piirteenä oli erittäin suurten tärkkelysjyvästen esiintyminen mesofyllisolukon kaikissa osissa, mutta myös johtojännetupessa (endodermi) ja transfuusioparenkyymasolukossa johtojännetupen sisäpuolella. Myös suuria rasvakeräymiä oli jo VM-tarkastelussa havaittavissa kaikissa em. solukoissa.

Vihreissä neulasissa johtojännetuppi, transfuusiosolukko, nila ja jälsi olivat rakenteeltaan ehjiä. Monissa neulasissa oli kuitenkin havaittavissa tukisolukon, sklerenkyymin, heikko kehittyminen ja joskus jopa ontelon esiintyminen keskuslieriössä.

Oranssityvisissä neulasissa oli havaittavissa mesofyllisolujen kokoon painumista erityisesti neulasen kuperalla puolella, jossa oranssi väri myös oli selvin. Näiden neulasten johtojännetuppi oli myös selvästi tummunut ja transfuusioparenkyymasolukossa oli hajoavia soluja. Johtojänteiden nilaosassa havaittiin solujen turpoamista muutamissa näytteissä. Tärkkelysjyväset olivat erittäin suuria hajoavissa soluissa kaikissa solukoissa.

Vesitysvaurioneulasten keltaisessa osassa esiintyi myös kasaan painuneita mesofyllisoluja, mutta tärkkelysjyvästen määrä näissä soluissa oli selvästi pienempi kuin oransseissa neulasissa.

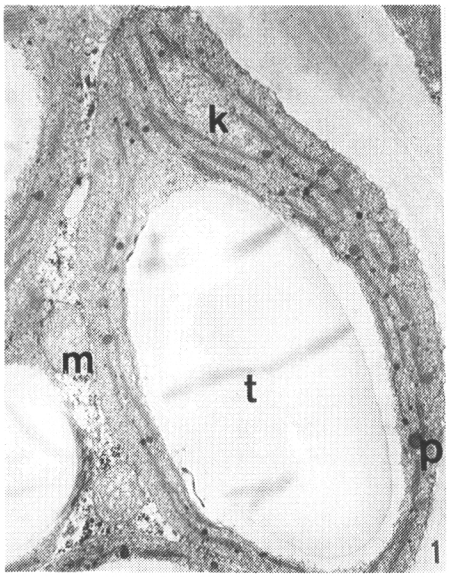
Elektronimikroskopia

EM-tarkastelussa havaittiin kaikissa näytteissä, käsittelemättömissä ja käsitellyissä, yhtenäinen vauriotyyppi, joka oli varsin pitkälle kehittynyt jo yksivuotiaissa neulasissa, mutta paheni edelleen vanhemmissa vuosikerroissa.

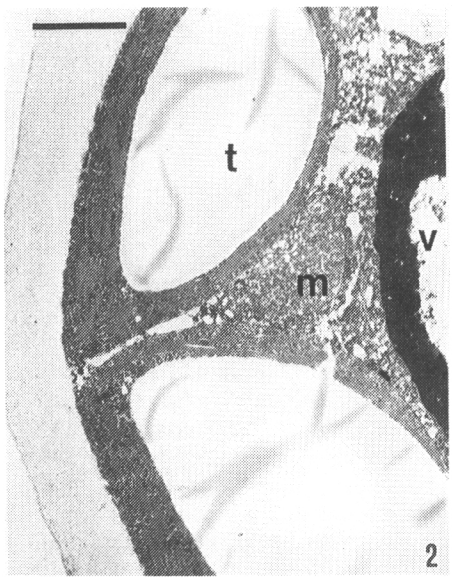
Yksivuotiaat neulaset

Vuonna -87 puhjenneissa neulasissa osa mesofyllisoluista oli rakenteeltaan suhteellisen ehjiä (kuva 1). Kuitenkin näissäkin soluissa oli viherhiukkasissa havaittavissa ensimmäisiä vaurio-oireita, ulkokalvo oli normaalia heikommin erottuvissa ja plastoglobulit värjäytyivät normaalia vaaleammiksi. Solujen vakuolisysteemi oli laajentunut, mm. pieniä vakuoleja oli runsaasti solun reunoilla, ja vakuolin kalvo oli hyvin epäsäännöllinen.

Yksivuotiaissa neulasissa esiintyi yleisesti myös vaurion myöhempiä asteita, joille oli tyypillistä viherhiukkasten perusaineen tummuminen ja rakeistuminen, yhteyttävien kalvojen vähittäinen rappeutuminen ja plastoglobulien asteittainen vaaleneminen (kuva 2). Vaurion edetessä viherhiukkasen ulkokalvo hävisi myös näkyvistä. Kun viherhiukkasten tummuminen oli selvästi näkyvissä, oli yleensä havaittavissa myös mitokondrioiden turpoaminen ja ribosomien kasautuminen solulimassa. Viherhiukkasissa oli erittäin suuret tärkkelysjyväset koko vauriokehityksen ajan. Solulimassa ja vakuoleissa näkyi runsaasti rasvakeräymiä, jotka olivat joissakin soluissa erittäin suuria kooltaan (kuva 3).



Kuva 1. Normaalirakenteinen viherhiukkanen (k) yksivuotiaan männyn neulasen mesofyllisolusta (kontrollilohko). Kuvassa näkyy suuri tärkkelysjyvänen (t), yhteyttävää kalvostoa ja plastoglobuleja (p) viherhiukkasen sisällä; m = mitokondrio.



Kuva 2. Yksivuotiaan neulasen vaurioituneita viherhiukkasia (kontrollilohko). Perusaine on tummaa, yhteyttävät kalvot ja ulkokalvo rappeutuneita, solulima viherhiukkasten ulkopuolella rakeistunut ja mitokondriot (m) vaurioituneita.

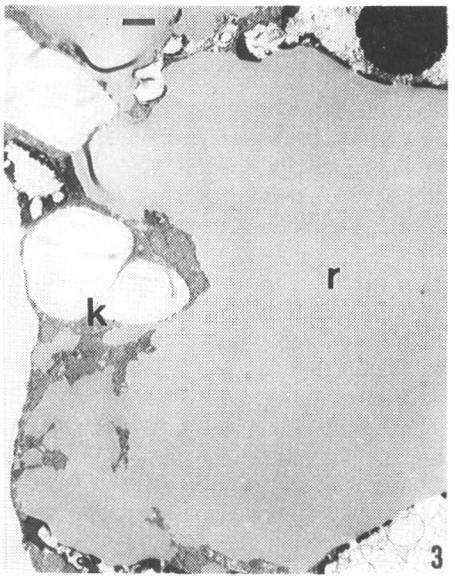
Havaittu vaurio oli tyypiltään samanlainen mesofylli-, endodermi- ja transfuusioparenkyymasolukoissa. Kuitenkin johtojännetuppi ja sen sisäpuoliset solut olivat selvemmin vaurioituneita kuin mesofyllisolukko. Erityisen silmiinpistävää oli tärkkelyksen ja rasvan kerääntyminen transfuusioparenkyymasolukkoon ja johtojännetuppeen.

Kaksi- ja kolmevuotiaat neulaset

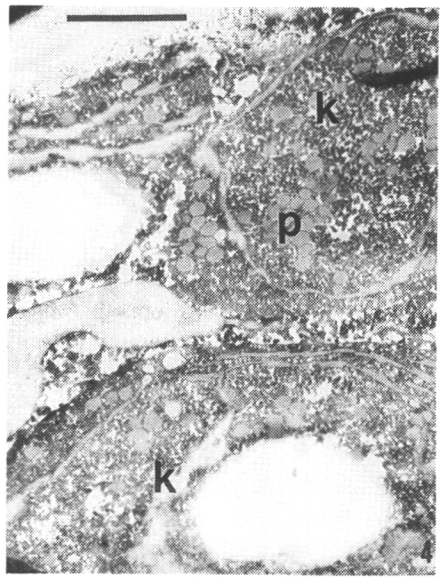
Vanhemmissa neulasissa edellä kuvattu vaurio esiintyi voimakkaana tai erittäin voimakkaana kautta linjan. Keskusvakuoli oli selvästi laajentunut ja sisälsi suhteellisen runsaasti tanniinia. Viherhiukkasissa oli edelleen erittäin suuret tärkkelysjyväset ja soluliman ja vakuolien rasvakeräymät olivat vielä suurempia kuin yksivuotiaissa neulasissa. Tutkitussa aineistossa oli havaittavissa suuntaus, että v. -86 syntyneet neulaset olivat huonompikuntoisia kuin niitä vuotta vanhemmat v. 85 syntyneet neulaset. Vanhemmissa neulasissa plastoglobulien määrä oli selvästi lisääntynyt.

Viherhiukkasten ja tärkkelysjyvästen pituudessa ei havaittu merkitseviä eroja eri vuosikertojen välillä.

Kaksi ja kolmevuotiaissa neulasissa ero mesofylli- ja transfuusioparenkyymasolukon vaurioituneisuuden välillä ei ollut enää selvä, koska vaurio oli pitkälle kehittynyt kaikissa solukoissa.



Kuva 3. Suuria rasvakeräymiä (r) yksivuotiaan neulasen mesofyllisolussa; k = viherhiukkanen. Mittajana = 1 µm kaikissa kuvissa.



Kuva 4. Pahoin vaurioituneita viherhiukkasia (k) oranssityvisen kaksivuotiaan neulasen tyviosasta (vesityslohko); p = vaalenneita plastoglobuleja.

Oranssit ja ruskeat neulaset

Tyviosastaan oransseissa (-86) neulasissa perusvaurio sama kuin muissa tutkituissa neulasissa, kuitenkin asteeltaan erittäin paha kautta linjan (kuva 4). Näytteissä oli lisäksi runsaasti kokoon painuneita soluja, jotka sijaitsivat rykelmissä erityisesti neulasen kuperalla puolella. Näissä soluissa soluelimet, mm. viherhiukkaset, olivat pitkälle hajonneita ja vakuolin kalvo selvästi rikkoutunut. Suuret tärkkelysjyväset ja rasvakeräymät olivat kuitenkin selvästi erotettavissa. Vaurion sijainti ja luonne selittää hyvin silminhavaittavan vaurion. Tällaisissa soluissa klorofyllit ovat todennäköisesti hajonneet ja läsnäoleva runsas tärkkelys saattaa vaikuttaa oranssin värin muodostumiseen keltaisen ja ruskean sijaan. Oranssityvisissä neulasissa endodermi- ja transfuusioparenkyymasolut olivat hajoamistilassa, myös neulasten vihreissä kärkiosissa.

Kärjistään ruskeissa vesityskokeen neulasissa perusvaurio oli myös sama ja kasaan painuneita soluja oli runsaasti. Erona oransseihin neulasiin oli tärkkelysjyvästen pieni koko tai puuttuminen. Vaurioalueen soluissa oli havaittavissa erittäin pieniä kutistuneita viherhiukkasia, joiden tylakoidisysteemi oli usein verkkomaisesti turvonnut.

Muovikate- ja vesityskäsittelyt

Koska perusvaurio oli kuvatun kaltainen ja varsin voimakas koko tutkimusalueen puustossa, ei käsittelyjen aiheuttama juuriston stressivaikutus tullut riittävän selvästi esille tarkastellussa aineistossa. Erityispiirteenä muovikate- ja vesityslohkojen puiden neulasissa oli oire, jossa viherhiukkasten tylakoidikalvostossa oli rakkulamaisia turpoamia ja myös mitokondriot olivat turvonneita. Tällaista oiretta esiintyi siellä täällä mesofyllisolukossa perustyyppisen vaurion rinnalla.

TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimusalueen puustossa tavattiin varsin yhtenäinen ja vakava solutason vaurio, joka johti solujen kuolemaan ja siten neulasten vähittäiseen ruskettumiseen ja irtoamiseen. Näkyvänä oireena havaittu neulasten voimakas oranssi väri osoitti soluvaurion loppuvaihetta, jolloin keskuslieriön ja mesofyllin solut olivat kuolleet laajoilta alueilta neulasen sisältä. Neulasten kuolleisiin soluihin jääneet suuret tärkkelysjyväset estivät solukoiden täydellisen luhistumisen ja ilmeisesti aiheuttivat myös oranssin värin heijastumisen kuolleista solukoista ruskean sijasta.

Kuvatussa hienorakennevauriossa on kolme pääpiirrettä. Ensimmäisenä voidaan pitää johtojännetupen ja sen sisäpuolisten solukoiden vaurioitumista ennen mesofyllisoluja, mikä oli selvästi näkyvissä yksivuotiaissa neulasissa. Tällaiset oireet on eräissä tutkimuksissa liitetty nimenomaan ravinnehäiriöiden vaikutuksiin (Parameswaran ym. 1985, Fink 1988). Tutkitussa aineistossa ei tosin tavattu vihreissä neulasissa nilasolukon luhistumista eikä jälsin solujen turpoamista, joita on pidetty tärkeimpinä ravinnepuutteiden osoittajina kuusen neulasen solukoissa (Fink 1988).

Toisena pääpiirteenä oli yhteytystuotteiden kertyminen neulasiin tärkkelyksen ja rasvan muodossa. Tämä osoittaa yhteytystoiminnan olleen jatkuvasti jossain määrin käynnissä kevään ja alkukesän aikana. Tässä aineistossa tärkkelyksen ja rasvan kertymisen syy on todennäköisesti yhteytystuotteiden kuljetuksen estyminen, joka voi johtua keskuslieriön solukoiden vaurioitumisesta, juuriston vastaanottokyvyn heikkenemisestä ja/tai kuljetusprosessien entsyymien toiminnan heikkenemisestä. Yhteytystuotteiden kuljetuksen estymistä on havaittu sekä ravinnepuutteiden että kaasumaisten ilmansaasteiden (mm. O_3, SO_2) vaikutusten yhteydessä (Huber 1984, Darrall 1989).

Kolmas selkeä oire ilmeni viherhiukkasissa, ulkokalvon, perusaineen ja yhteyttävien kalvojen rappeutumisena. Samantyyppistä rappeutumista on kuvattu otsonikaasutusten vaikutuksesta kuusella (Sutinen 1987), mutta myös hallavaurion loppuvaiheissa männyllä (Holopainen ja Holopainen 1988). Leveälehtisillä kasveilla, mm. tupakalla, vastaavantyyppinen rappeutuminen on kuvattu lehtien irroituksesta johtuvan nälkiintymisen seurauksena (Ragettli ym. 1970). Tupakalla lehtien irroitus johti myös tärkkelyksen kertymiseen. Tällä hetkellä ei vielä ole kokeellista tietoa männyn neulasten solutason reaktioista useiden ravinteiden samanaikaiseen puutteeseen juuriston voimakkaan vaurion yhteydessä.

Vaurio alkoi yksivuotiaissa neulasissa vakuolin laajentumisella ja vakuolin kalvon epäsäännöllisyydellä. Tällaiset oireet on kuvattu männyllä kokeellisesti aiheutetun K-puutteen seurauksena (Holopainen ja Nygren 1989). Kalium on neulasissa määrällisesti runsas ja helposti liikkuva ravinne, joten sen puute voi helposti kehittyä vanhemmissa neulasissa ravinnevarastojen siirtyessä uuden vuosikasvaimen käyttöön. Muiden yksittäisten ravinteiden osalta emme vielä tunne riittävästi puutostiloihin liittyviä solutason oireita. Neulasten sklerenkyymisolukossa havaittu heikkous ja ontelot liittynevät puuston krooniseen hivenravinteiden, erityisesti boorin, sinkin ja kuparin, vajaukseen (Raitio ja Rantala 1977).

Koska puuston peruskunto oli heikko, voitiin juuriston jäädytyksestä aiheutuneen stressin solutason vaikutuksia havainnoida vain rajoitetussa määrin kasvukaudella -88. Koejärjestelyn onnistumiseen tarvittaisiin suhteellisen terve puusto lähtötilanteessa sekä käsittelemättömillä lohkoilla koko kokeen ajan. Vastaavantyyppisiä kokeita on jatkettu kolmella tutkimusalueella talvella 1988-89.

Kivalon tutkimusalueella kuvattu neulasten hienorakennevaurio liittyy todennäköisesti pääosin ravinteiden saannin heikkenemiseen, joka on seurausta juuristovaurioista ja kasvupaikan luontaisesta ravinneköyhyydestä. Viherhiukkasten vauriossa on kuitenkin piirteitä, jotka muistuttavat ilmansaasteiden, erityisesti otsonin aiheuttamia vaurioita. Tämän vuoksi ilmansaasteiden mahdollista vaikutusta ei voida sulkea pois ainakaan yhdessä ravinnepuutteiden kanssa vaikuttavana lisätekijänä.

Kirjallisuus

Darrall, N.M. 1989. The effect of air pollutants on physiological processes in plants. Plant Cell Env. 12. 30 s.

Fink, S. 1988. Histological and cytological changes caused by air pollutants and other abiotic factors. Air pollution and plant metabolism (eds. S. Schulte-Hostede, N.M., Darrall, L.W. Blank & A.R. Wellburn). Elsevier Applied Science, London and New York. s. 36-54.

Holopainen, J.K. & Holopainen, T. 1988. Cellular responses of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings to simulated summer frost. Eur. J. For. Path. 18:207-216.

Holopainen, T. & Nygren, P. 1988. Effects of potassium deficiency and simulated acid rain alone and in combination on the ultrastructure of Scots pine needles, submitted.

Huber, S.C. 1984. Biochemical basis for effects of K-deficiency on assimilate export rate and accumulation of soluble sugars in soybean. Plant Physiol. 76:424-430.

Jalkanen, R. 1988. Kovia kokeneet pohjoisen puut. Teollisuuden Metsäviesti 1/1988:8-11.

Parameswaran, N., Fink, S. & Liese, W. 1985. Feinstrukturelle untersuchungen an Nadeln geschädigter Tannen und Fichten aus Waldschadensgebieten im Schwarzwald. Eur. J. For. Path. 15: 168-182.

Ragetli, N.W.J., Weintraub, M. & Lo, E. 1970. Degeneration of leaf cells rersulting from starvation and excision. I. Electron microscopic observations. Can. J. Bot. 48:1913-1922.

Raitio, H. & Rantala, E.-M. 1977. Männyn kasvuhäiriön makro- ja mikroskooppisia oireita. Oireiden kuvaus ja tulkinta. Commun.Inst.For.Fenn. 91(1): 5-30.

Soikkeli, S. 1978. Seasonal changes in mesophyll ultrastructure of needles of Norway spruce (*Picea abies*). Can. J. Bot. 56: 1932-1940.

Sutinen, S. 1987. Ultrastructure of mesophyll cells of spruce needles exposed to O_3 alone and together with SO_2. Eur. J. For. Path. 17:362-368.

MÄNNYN JA KUUSEN NEULASTEN SOLUVAURIOISTA LAPISSA

Sirkka Sutinen ja Raimo Pesonen

JOHDANTO

Lapin metsien kunnossa tapahtui voimakas, silminnähtävä heikentyminen vuoden 1987 kuluessa. Erityisesti vaurioita tuli esiin kesän ja syksyn aikana koko Pohjois-Suomessa kaikenikäisissä puissa, sekä männyissä että kuusissa. Syksyyn 1988 mennessä vaurioiden palautumista ei ollut todettavissa. Puiden ulkoista vaurioitumistapaa ei voitu selvästi osoittaa minkään tunnetun yksittäisen haittatekijän aiheuttamaksi. Tämän vuoksi käynnistettiin useita eri tutkimuksia vaurioiden aiheuttajan jäljittämiseksi. Tässä tutkimuksessa pääasiallisena tutkimusmenetelmänä käytettiin elektroni- ja valomikroskooppista neulasten solurakenteen analysointia, jonka perusteella on mahdollista saada tietoa vaurion ensisijaisista aiheuttajista (Soikkeli 1981, Fink 1988).

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää 1) neulasten vaurioitumistapa solutasolla sekä vaurion eteneminen solukkotasolla, 2) vaurioiden yhdenmukaisuus tai erilaisuus saman tai eri tutkimusalueiden puiden kesken sekä 3) näiden tietojen perusteella vaurion todennäköisimmät ensisijaiset aiheuttajat. Rakennemuutoksia verrattiin aiemmin selvitettyihin, eri tekijöiden aiheuttamiin solu- ja solukkotasoisiin muutoksiin (esim. neulasten ikääntyminen: Sutinen 1987a, ravinnepuutos: Fink 1988, erilaiset ilmansaasteiden aiheuttamat muutokset: Soikkeli 1981, Sutinen ym. 1988, Fink 1988).

Raimo Pesosen osuus työssä koostuu näytteiden valmistelusta mikroskopiointia varten, näytteiden valokuvauksesta elektronimikroskooppisella tasolla sekä kuvista suoritetuista mittauksista. Muilta osin työstä vastaa Sirkka Sutinen. Kiitämme professori Erkki Lähdettä käsikirjoituksen tarkastamisesta.

AINEISTO JA MENETELMÄT

Kuusen ja männyn 1.-3. viimeisimmän vuosikerran neulasia kerättiin syyskussa 1987 ja tammi-, maalis-, touko- ja lokakuussa 1988 mikroskooppiseen tarkasteluun Rovaniemen ympäristöstä kolmelta eri alueelta (Hietaperä, Saittajärvi ja Pahtaja), heinä- ja marraskuussa 1988 Inarin ympäristöstä kahdelta alueelta (Laanila ja Kessi) sekä marraskuussa 1988 yhdeltä alueelta Sallan Sätsistä. Vertailuaineistona käytettiin lisäksi huhtikuussa 1980 Rovaniemen ympäristöstä (Hirvas ja Ropsajoki) kerättyjä ja muovikapseleihin valettuja kuusen ja männyn neulasnäytteitä. Neulasia kerättiin silmämääräisesti sekä terveimmän näköisistä että huonokuntoisista puista, kumpaakin puulajia 1-5 kpl/tutkimusalue. Koska tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää todennäköisin ensisijainen vaurion aiheuttaja, tutkittaviksi otettiin vain vihreitä neulasia. Keltaisissa, kellastuvissa tai muuten ja silmämääräisestikin vaurioituneeksi todetussa neulasessa vaurio on jo yleensä niin pitkällä, että niitä tutkimalla vaurion varhaisimmat vaiheet ja mahdollisuus vaurion ensisijaisen aiheuttajan selvittämiseksi on vaikeaa (vrt. Fink 1988).

Näytteiden keräys, kiinnitys, siinä käytetyt liuokset, valo- ja elektronimikroskooppileikkeiden valmistus ja näytteiden analysointi on kuvattu aiempien töiden yhteydessä (mm. Soikkeli 1981, Sutinen ym. 1988). Tässä työssä viherhiukkasten pituudet mitattiin hienorakennetasolla (suurennos 15 000 x).

SOLUVAURIOTYYPIT JA VAURION ETENEMINEN SOLUKKOTASOLLA

Vuonna 1980 kerätyt neulaset

Vuonna 1980 kerätyissä lannoittamattomien koeruutujen kuusen ja männyn neulasten vertailuaineistossa yhteyttävän solukon viherhiukkasten muoto oli normaalin sukkulamainen ja stroma (viherhiukkasen perusaine) vaalea (kuva 1). Plastoglobulit (viherhiukkasessa olevia rasvaa sisältäviä pallosia) olivat yleisimmin tummia. Typpilannoitetuilla koeruuduilla globuleiden määrä oli lievästi lisääntynyt parissa uloimmassa solukerroksessa joka puolella neulasta. Sisemmissä solukerroksissa globuleiden määrä oli normaali eli vähäinen. Viherhiukkasten keskipituus lannoittamattomissa koeruuduissa oli kuusella 5,1μm. Sisemmissä solukerroksissa globuleiden määrä oli normaali eli vähäinen. Viherhiukkasten keskipituus lannoittamattomissa koeruuduissa oli kuusella 5,1μm +-0,33 ja männyllä 5,1μm +-0,28. Typpilannoituskoeruuduilla se oli vastaavasti kuusella 5,1μm +-0,45 ja männyllä 4,9μm +-0,28. Viherhiukkasten koossa ei ollut eroja neulasten ylä- ja alapuolisten osien kesken. Solulima oli talvelle tyypillisesti verkkomainen ja soluelimet ehjiä. Samanlainen vahingoittumaton hienorakenne on kuvattu myös muualla terveissä havupuun neulasissa (Sutinen 1987a).

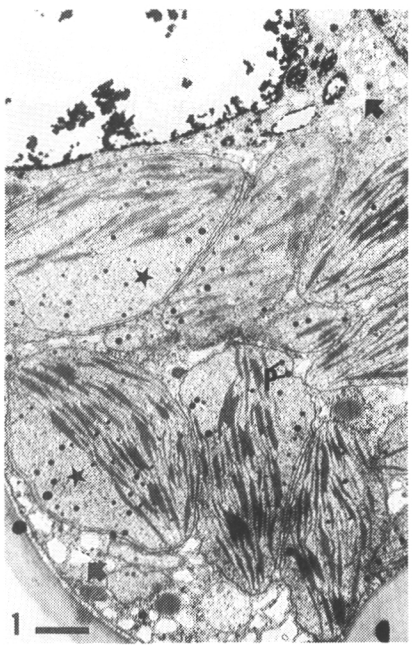
Liiallisen typpilannoituksen aiheuttamat pakkasvauriot ilmenivät plasmalemman (solukalvon) irtoamisena soluseinästä, tumman aineen kerääntymisenä muodostuneeseen aukkoon, tonoplastin (keskusvakuolin kalvo) kihartumisena sekä solun sisällön asteittaisena tummumisena (vrt. Soikkeli ja Kärenlampi 1984). Samanlainen solukalvojen vaurioituminen kylmävaurioiden yhteydessä on kuvattu myös leveälehtisillä kasveilla (Li ym. 1979) sekä aivan viimeaikaisissa pakkaskokeissa männyn taimilla. Vuonna 1980 kerätyssä aineistossa vaurioituneita soluja esiintyi tasaisesti lannoitettujen puiden neulasissa koko yhteyttävän solukon alueella terveennäköisten solujen joukossa (kuva 5). Vauriot olivat vakavimpia kahdella suurimmalla typpilannoitustasolla (Soikkeli ja Kärenlampi 1984).

Vuosina 1987 ja 1988 kerätyt neulaset

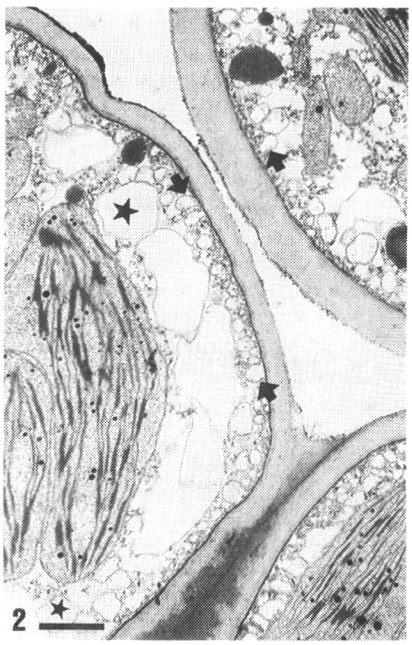
Vauriotyyppi A

Vauriotyyppi 1987 ja 1988 kerätyissä neulasissa oli havaittavissa kaksi toisistaan poikkeavaa vaurio-oireistoa, jotka kummatkin näkyivät samanlaisina sekä kuusen että männyn neulasissa. Vauriotyypissä A yksi varhaisimmista muutoksista oli solukalvon ja soluliman voimakas rakkuloituminen (kuva 2). Talviaikaiselle solulimalle tyypillinen verkkomainen rakenne oli hävinnyt. Samankaltaiset soluoireet on havaittu kokeissa, joissa kuusen ja männyn taimia on käsitelty happamella sateella (pH: 5,6 - 3,0; Sutinen, julkaisematon aineisto). Rakkuloituminen oli voimakkainta nuorimmissa neulasissa, mikä selittynee happaman sateen vaikutusmekanismista sekä nuorimpien neulasten vilkkaammasta aineenvaihdunnasta verrattuna iäkkäämpiin neulasiin. Rakkuloituminen näkyi voimakkaimmin syys- ja talvinäytteissä.

Vaurion alkuvaiheisiin liittyi myös plastoglobulien lisääntyminen, niiden värin ja muodon muutokset sekä samanaikainen rasvankaltaisen aineen kerääntyminen solulimaan. Muutokset lisääntyivät neulasten iän myötä ja olivat voimakkaimmillaan kevät- ja kesänäytteissä (kuva 3). Oireisto on kuvattu aiemmin rikkiä päästävien tehdaslaitosten lähimetsissä (esim. Soikkeli 1981) sekä kokeellisesti kaasumaisella rikkidioksidilla altistetuissa kuusen neulasissa (Sutinen 1987b).



Kuva 1. Männyn toisen vuoden neulasen tervettä yhteyttävää solukkoa Rovaniemen ympäristöstä v. 1980. Viherhiukkasten keskikoko on +-5μm (vertau janaan). Niiden muoto on normaali, stroma (tähdet) on vaalea ja plastoglobulien (P) määrä vähäinen. Solulima on talvelle tyypillisesti verkkomainen (nuolet). Jana = 1 μm.



Kuva 2. Männyn vuoden 1988 Laanilan neulasen yhteyttävää solukkoa marraskuussa 1988. Solujen solukalvo (nuolet) ja solulima ovat voimakkaasti rakkuloituneet (tähdet). Viherhiukkasten koko, stroma ja plastoglobulit ovat normaalit. Jana = 1 μm.

Vauriot etenivät solukkotasolla tasaisesti läpi koko neulasen poikkileikkauksen, ensin yhteyttävässä solukossa ja sen jälkeen samanlaisena johtosolukossa. Tällainen vaurion eteneminen on tyypillistä ilmansaasteiden vaurioittamissa neulasissa. Esimerkiksi ravinnepuutos vaurioittaa ensin johtosolukon soluja ja vasta sitten yhteyttävää solukkoa (Holopainen, suullinen tieto, Fink 1988).

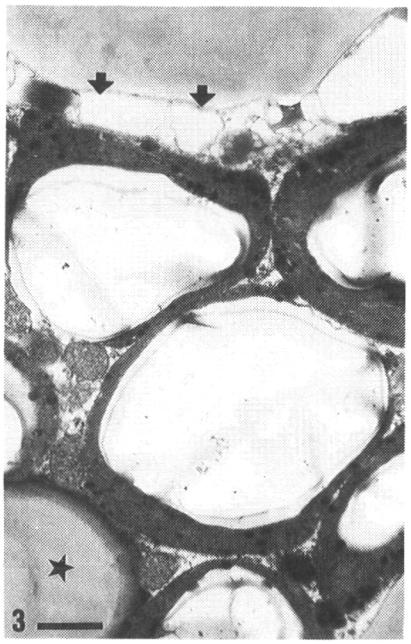
Kesällä otetuissa neulasissa oli havaittavissa vakavimmin vaurioituneissa neulasissa endodermin ja transfuusioparenkyymin viherhiukkasiin keräytyneiden tärkkelysjyvästen epänormaalin suuri koko. Suurimmillaan ne saattoivat olla huomattavasti yhteyttävän solukon jyväsiä suurempia. Tärkkelyksen kasautuminen on mainittu useimpien vaurionaiheuttajien yhteydessä, useimmiten nimenomaan yhteyttävässä solukossa (Fink 1988). Tärkkelyksen kasautuminen on todennäköisesti merkki jokseenkin pitkälle edenneestä vakavasta muutoksesta pikemminkin kuin osoitus vaurion ensivaiheista. Toisaalta tärkkelyksen kasaantumista on kuvattu kokeellisissa kaasutuksissa, joissa kasveja on altistettu korkeille saastepitoisuuksille lyhyen aikaa. Näissä tapauksissa lienee pikemminkin kyse tärkkelyksen jäämisestä vauriota edeltävään tilaan äkillisesti vaurioituneessa viherhiukkasessa kuin sen kasaantumisessa. Terveessä neulasessa yhteyttävän solukon viherhiukkaset ja tärkkelysjyväset ovat aina suurempia kuin muiden solukkotyyppien viherhiukkaset ja tärkkelysjyväset.

Vauriotyyppi B

Toiselle vuosina 1987 ja 1988 kerätyissä neulasissa tavatulle vaurio-oireistolle oli leimaa antavaa viherhiukkasten koon pieneneminen. Sen lisäksi viherhiukkasten muoto muuttui normaalista sukkulamaisesta litteäksi tai pahimmillaan ameebamaiseksi. Vaurion voimistuessa myös viherhiukkasten stroma tummui ja rakeistui, mikä näkyi yleisimmin kevään näytteissä (kuva 4). Plastoglobulien väri oli useimmiten vaalea. Niiden koko oli normaalia suurempi ja määrä oli usein lisääntynyt. Solukkotasolla vaurio ilmeni ensin neulasen taivaanpuoleisella osalla, mikä oli havaittavissa erityisen selvästi kuusen neulasissa. Seuraavassa solukerroksessa hiukkaset olivat jonkin verran suurempia kuin pintakerroksessa. Neulasen maanpuoleisella osalla ne saattoivat olla solukkovaurion varhaisessa vaiheessa normaalin kokoisia ja näköisiä. Johtosolukoissa vaurio näkyi vasta siinä vaiheessa, kun yhteyttävän solukon vaurio ulottui endodermiin (keskuslieriön uloin solukerros) saakka (kuva 5).

Keinollisissa saastutuskokeissa edelläkuvattu vaurio-oireisto on todettu vain silloin, kun kasveja on altistettu suhteellisen alhaisilla otsonipitoisuuksilla pitkähkön aikaa tai otsonilla yhdessä jonkin muun saastukkeen kanssa (Vogel ja Masuch 1986, Sutinen 1987b). Otsonialtistuskokeissa, joissa otsonipitoisuudet ovat olleet korkeita ja altistusajat lyhyitä, on myös todettu mm. stroman tummumista ja rakeistumista tai erilaisten kidemuodostumien ilmaantumista (esim. Thomson ym. 1966). Sen sijaan viherhiukkasten pienenemistä ei ole todettu lyhytaikaisissa kokeissa, joissa korkean otsonipitoisuuden aiheuttama vaurio on luonteeltaan nopea.

Kummassakin edellä kuvatussa vauriotyypissä (vauriotyypit A ja B) yhteyttävän solukon viherhiukkasiin kertyvän tärkkelysjyväsen keskikoko keväällä ja kesällä 1988 oli keräysajankohtiin nähden huomattavasti normaalia pienempi. Tärkkelysjyvästen pienuus ja yhteystehon aleneminen on todettu myös keinollisesti ilmansaasteille altistetuissa kuusen neulasissa (Sutinen 1987b, Sutinen ym. 1988). Vaurioituneen solukon tärkkelysjyväsille oli tyypillistä niiden huomattavat kokoerot, jopa samassa solussa. Terveessä neulasessa tärkkelys keräantyy keväällä tasakokoisina rakeina kautta koko solukon. Tasakokoisuus on vallitsevaa myös terveessä kesäisessä neulasessa. Tutkituissa vihreissä neulasissa ei todettu soluseinien murtumista, mitä on kuvattu ulkoisesti vaurioituneiden neulasten keskuslieriöissä (Fink 1988).



Kuva 3. Männyn toisen vuoden Laanilan neulasen yhteyttävää solukkoa heinäkuussa 1988. Solukalvo on voimakkaasti rakkuloitunut (nuolet). Viherhiukkasten koko on normaali, mutta plastoglobulien määrä on lisääntynyt. Solulimassa on suuria ylimääräisiä rasvakasaumia (tähti). Jana = 1 µm.



Kuva 4. Männyn vuodenikäisen neulasen yhteyttävää solukkoa Saittajärveltä toukokuussa 1988. Viherhiukkaset ovat erittäin pieniä, tummia ja rakeisia. Solulima on pitkälle hajonnut. Jana = 1 µm.

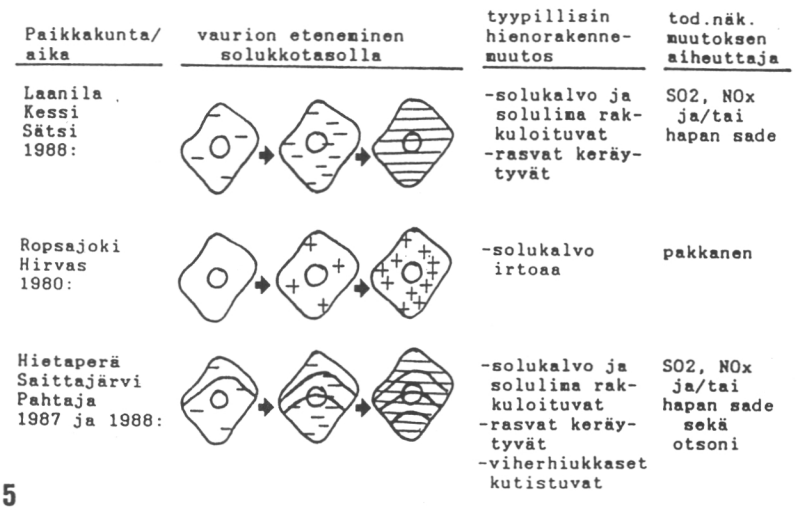
VAURIOIDEN ESIINTYMINEN JA VOIMAKKUUS ALUEELLISESTI

Rovaniemen näytteet vuonna 1980

Vauriotyyppejä A ja B ei tavattu neulasissa, jotka kerättiin vuonna 1980 Rovaniemen ympäristöstä. Tuolloin ilmennyt soluvaurio kohdistui pääasiassa solukalvoon, joka irtosi soluseinästä. Sen jälkeen solunsisältö tummui. Vaurio yhdistettiin solutason pakkasvaurioon (kuva 5), joka voimistui typpilannoituksen lisääntymisen myötä (Soikkeli ja Kärenlampi 1984).

Rovaniemen näytteet vuosina 1987 ja 1988

Vuosina 1987 ja 1988 Rovaniemen ympäristöstä kolmelta tutkimusalueelta kerätyissä vihreissä neulasissa edellä kuvatut vauriotyypit A ja B esiintyivät samanaikaisesti jokaisena tutkimusajankohtana (kuva 5). Viherhiukkasten keskipituus oli pienimmillään 3,2µm +-0,42



Kuva 5. Vaurion eteneminen solukkotasolla, tyypillisin vaurio-oire hienorakennetasolla sekä vaurion todennäköisin aiheuttaja Rovaniemen neulasnäytteissä vuonna 1980 (Ropsajoki ja Hirvas) ja vuosina 1987 ja 1988 (Hietaperä, Saittajärvi ja Pahtaja) sekä Inarin näytteissä vuonna 1988. Vaurion eteneminen on kuvattu kuusen neulasen poikkileikkauksissa. Poikkileikkaus ilman merkintöjä = tervettä solukkoa, + = vaurioitunutta solukkoa (pakkasvaurio; vrt. teksti), =-= = vaurioitunutta solukkoa (vauriotyyppi A; vrt. teksti) ja ◠ = vaurioitunutta solukkoa (vauriotyyppi B; vrt. teksti).

(Hietaperän mänty) ja suurimmillaan 4,2µm +-0,21 (Saittajärven mänty). Verrattuna vuoden 1980 tilanteeseen (viherhiukkasten keskipituus +-5µm) ja kokeellisten saastutusten kontrollineulasiin (Sutinen ym. 1988) vuosien 1987 ja 1988 neulasnäytteiden viherhiukkaset olivat 16-36 % pienempiä kuin terveissä neulasissa. Tähänastisen kokeellisen (esim. Sutinen 1987b, Sutinen ym. 1988, Fink 1988) sekä maastosta saadun (esim. Soikkeli 1981) tiedon perusteella nyt tutkituissa neulasissa tavattu vaurio-oireisto viittaa yhtäaikaiseen otsonin ja kaasumaisen rikin ja/tai happaman sateen vaikutukseen.

Vauriot pahenivat syyskuusta 1987 lokakuulle 1988 kaikilla tutkimusalueilla. Saittajärvellä ja Hietaperässä kaikissa tutkituissa neulasikäluokissa vallitsevin vaurioitumisaste oli vakava. Pahtajassa, jossa tilanne oli koko ajan lievempi kuin kahdella muulla alueella, vaurioituminen oli yleensä lievää. Toukokuulle 1988 asti neulassolukoissa näkyi myös terveennäköisiä soluja. Vaikka solukoissa tavattiin terveennäköisiä soluja, ei tutkituissa neulasissa ollut yhtään neulasta, joka olisi voitu rakenteensa perusteella luokitella täysin terveeksi.

Inarin ja Sallan näytteet vuonna 1988

Laanilasta, Kessistä ja Sallan Sätsistä kerätyissä neulasissa oli vallitsevana vauriotyyppi A (kuva 5) eli vaurio-oireet, joita aiemmin on todettu rikkiä ja typpeä päästävien tehdaslaitosten lähimetsissä (esim. Soikkeli 1981) sekä happamalla sateella altistetuissa kuusen ja männyn neulasissa (Sutinen, julkaisematon aineisto). Rakennemuutokset, jotka viittaavat rikin ja/tai

typen vaikutuksiin tutkituilla alueilla, ovat yhdenmukaisia mm. niiden tutkimustulosten kanssa, joissa on todettu ilmansaasteiden aiheuttama järvien (Kinnunen 1990) ja maaperän (Räisänen 1990) happamoituminen. Vallitsevien solujen vaurioitumisaste kaikilla alueilla oli vakavaa eli solukalvo ja solulima olivat erittäin voimakkaasti rakkuloituneet. Yhtään täysin terveeksi luokiteltavaa neulasta ei tavattu, vaikka kaikki tutkittavat neulaset olivatkin silmämääräisesti arvioituna vihreitä. Neulasten vaurioitumisasteessa ei ollut eroja parempi- ja huonompikuntoisten puiden välillä tai eri alueiden välillä. Viherhiukkasten pienenemisoiretta tavattiin Laanilan, Kessin ja Sätsin näytteissä vain satunnaisesti.

JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Vuosina 1987 ja 1988 Rovaniemen ympäristöstä, Laanilasta, Kessistä ja Sallan Sätsistä kerätyssä neulasaineistossa ei tavattu yhtään täysin terveeksi luokiteltavaa neulasta, vaikka tutkitut neulaset olivat silmämääräisesti vihreitä. Neulasten solutason rakenneanalyysit eivät viittaa siihen, että vuosien 1987 ja 1988 neulasvaurioiden ensisijaisina aiheuttajina olisivat olleet säätekijät, esimerkiksi pakkanen ja maaperän kuivuus tai ravinnehäiriöt. Sensijaan yhtäläisyydet ilmansaasteiden aiheuttamiin solurakennemuutoksiin ovat ilmeiset. Selvää kuitenkin on, että ns. luontaiset stressitekijät kuten pakkanen, vaikuttavat siihen, miten voimakkaana ja milloin puiden ulkoinen oireilu ilmenee.

Kirjallisuus

Fink, S. 1988. Histological and cytological changes caused by air pollutants and other abiotic factors. In: S. Schulte-Hostede, N.M. Darral, L.W. Bland & A.R. Wellburn (eds.). Air pollution and plant metabolism. Elsevier Applied Science, Cambridge. s. 36-54.

Kinnunen, K. 1990. Lapin vesistöjen happamoituminen. Julkaisussa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347:58-63.

Li, P.H., Polta, J.P. & Chen, H.H. 1979. Freezing stress in potato. In Lyons et al. (eds): Low temperature stress in crop plants. The role of the membrane. London, New York: Academic Press. s. 291-313.

Räisänen, M.-L. 1990. Mineraalimaan happamoituminen eräillä koealoilla Itä-Lapissa. Julkaisussa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347:90-95.

Soikkeli, S. 1981. Comparison of cytological injuries in conifer needles from several polluted industrial environments in Finland. Ann. Bot. Fennici 18: 47-61.

Soikkeli, S. & Kärenlampi, L. 1984. The effects of nitrogen fertilization on the ultrastructure of mesophyll cells of conifer needles in northern Finland. Eur. J. For. Path. 14: 129-136.

Sutinen, S. 1987a. Cytology of Norway spruce needles. I. Changes during ageing. Eur. J. For. Path. 17: 65-73.

Sutinen, S. 1987b. Ultrastructure of mesophyll cells of spruce needles explosed to O_3 alone and together with SO_2. Eur. J. For. Path. 17: 362-368.

Sutinen, S., Wallin, G., Skärby, L. & Sellden, G. 1988. Effects of long term exposure of ozone on ultrastructure and net photosynthesis of Norway spruce, *Picea abies*. In: Proc. of a workshop "Relations between above and below ground influences of air pollutants on forest trees". Wageningen, Gennep, The Netherlands, 15-17 December 1987. s. 251-259.

Thomson, W.W., Dugger, W.M. & Palmer, R.L. 1966. Effects of ozone on the fine structure of the palisade parenchyma cells of bean leaves. Can. J. Bot. 44: 1677-1683.

Vogels, K. & Masuch, G. 1984. Metabolic and substructural changes of bean leaves caused by separate and simultaneous ozone and sulfur dioxide exposures. Proc. of an International workshop on the evaluation and assesment on human health, agricultural crops, forestry, materials and visibility. Ed. P. Grennfelt. February 29. March 2, 1984. Göteborg, Sweden. s. 128-144.

TALVIEKOLOGISET TEKIJÄT JA PUIDEN TERVEYDENTILA

Yrjö Norokorpi

Talvi kuuluu olennaisena osana metsäekosysteemin vuotuiseen rytmiin. Luontaiset puulajimme ovat sopeutuneet siihen hyvin. Siksi metsäekologian tutkimuksessa talvisiin tekijöihin on aiemmin kiinnitetty suhteellisen vähän huomiota. Tutkimustoiminnan laajetessa tilanne on tältäkin osin alkanut korjautua (Havas ja Sulkava 1987, Kubin ym. 1988). Tiedon tarvetta on lisännyt mm. puuntuotannon tehostamistoimenpiteiden laajeneva käyttö. Viime vuosina on erityistä huomiota kiinnitetty talviekologisten tekijöiden ja puiden terveydentilan väliseen riippuvuuteen.

Varsin laajasta talviekologian asiakokonaisuudesta rajoitun seuraavassa tarkastelemaan roudan ja lämpötilan merkitystä havupuiden terveydentilan kannalta kirjallisuuden sekä omien mittausten ja havaintojen perusteella.

ROUTA

Routaa on Suomessa tutkittu jo viime vuosisadan lopulta alkaen (Keränen 1923). Hydrologisiin mittauksiin liittyen roudasta on Suomessa vuodesta 1955 alkaen melko kattavasti tilastoitua tietoa. Sen perusteella maamme on jaettu 5 routavyöhykkeeseen (Soveri ja Varjo 1977, Soveri 1986). Lapin lääni jakautuu pääpiirtein kahteen vyöhykkeeseen. Eteläpuoliskossa Lappia routa tunkeutuu keskimäärin 40 - 100 cm:n syvyyteen. Melko paksu routakerros johtuu suuresta pakkassummasta ja maan vähäisestä lämpövarastosta, vaikkakin lumipeite on vahva (Soveri 1986). Pohjoisosassa Lapin lääniä routaantuminen etenee vielä syvemmälle. Routakerros on keskimäärin yli metrin paksuinen.

Metsänhoidon tutkimusosaston toimesta maaperän routa- ja lumisuhteita on tutkittu 1970-luvun loppupuolelta alkaen Pohjois-Suomessa metsänuudistamistutkimuksiin liittyen (Kubin ja Poikolainen 1982, Kubin ym. 1988). Lapin läänissä mittaukset ovat keskittyneet Rovaniemen seudulle ja etenkin Kivalon tutkimusalueelle. Jossain määrin mittauksia on tehty myös suojametsäalueella Laanilan tutkimusalueella.

Mittaukset osoittavat, että paksusammalkuusikon routakerros on yleensä ohut, vain 0 - 10 cm, mutta voi selvästi keskimääräistä kylmempinä vuosina olla paikoin jopa puoli metriä. Avohakkuun ja maankäsittelyn vaikutuksesta routaantuminen syvenee. Muokkausjäljen kohoumat, kuten palteet ja mättäät jäätyvät vuosittain nopeasti pakkaskauden alettua vähintään ympäröivän maanpinnan tasoon asti. Tavallista kylmempinä talvina routaa kertyy yli metrin kerros.

Myös kuivan kankaan karkeajakoiset maat routaantuvat syvälti vuosittain. Topografiset tekijät vaikuttavat siten, että kumpareet ja harjanteet, joilta tuuli kuljettaa lunta pois, jäätyvät syvimpään. Samoin supat ja kurut voivat saada paksun routakerroksen, koska kylmä ilma valuu niihin tyyninä pakkaspäivinä ns. kylmän ilman järviksi.

Kuohkeutettujen kohoumien ja karkeajakoisten maiden nopea ja syvä routaantuminen johtuu paitsi vähäisestä pintakasvillisuudesta myös pienestä vesipitoisuudesta. Tällöin vain pienissä huokosissa on jäätä (Vakkilainen 1986). Se sulaa myös nopeasti sulamisvesien tunkeutuessa maahan. Usein aurauspalteiden pintamaa ehtii sulaa ennenkuin lumi häviää kokonaan ja maa alkaa nopeasti lämmetä (Kubin ja Poikolainen 1982, Kubin 1989).

Maan ollessa jäässä puut voivat olla alttiina pakkas- eli talvikuivumiselle. Tämä on kasviekologiassa vanha ja paljon pohdittu aihe (Havas ja Sulkava 1987). Vettä haihtuu puista talvellakin eikä uutta vettä saada tilalle. Erityisen kuivattavat olot vallitsevat kevättalvella auringon paistaessa ja tuulen puhaltaessa. Kuivuus saattaa usein olla lopullinen syy talvella syntyviin vaurioihin (Tranquillini 1979). Talvikuivamista ilmenee eniten lajin levinneisyyden äärirajoilla. Typpilannoitus ja eteläisempien provenienssien käyttö lisäävät talvikuivumisriskiä (Norokorpi 1977). Samoin keskimääräistä kylmemmän kesän jälkeen talveentuminen voi jäädä puutteelliseksi.

Syväkään routaantuminen ei ole haitallista puille, jos ne ovat normaalisti talveutuneita ja maan pintakerros sulaa ajoissa keväällä. Mänty kykenee ottamaan vähän vettä jopa silloin, kun maan lämpötila on -1 ...-2 °C. Puiden vedenottokyky paranee maan lämpötilan noustessa +7 °C:een eikä muutu enää siitä ylöspäin (Running ja Reid 1980).

Routa sulaa Lapin kivennäismailla yleensä kesäkuun alussa ja Inarissakin juhannukseen mennessä. Sen sijaan soille on tyypillistä, että routa häviää pois usein vasta keskikesällä. Saattaapa se paikoin säilyä mättäiden alla yli kesänkin (Soveri ja Varjo 1977). Viimeksi talvella 1986 - 87 maassa oli poikkeuksellisen paksu routakerros, jonka sulaminen alemmista kerroksista kesti paikoin loppukesään asti. Kuitenkin juurikerros ehti sulaa ja lämmetä melko normaalisti keväällä -87. Tällä vuosikymmenellä kevät -81 ja -85 ovat olleet tässä mielessä jopa epäedullisempia. Esimerkiksi Apukassa pintamaan sulaminen oli keväällä -85 pari viikkoa myöhäisempää kuin v. -87. Syvemmällä viipynyt routakerros hidasti sulamis- ja sadevesien valumista pois ja paransi siten maan vesitaloutta ainakin kuivanpuoleisilla mänty-kankailla.

Keräsen (1923) havaintojen mukaan tämän vuosisadan alussa oli useita vähälumisia ja kylmiä alkutalvia, jolloin vahvasti routaantuneen maan sulamiseen lumen häviämisen jälkeen kului jopa kaksi ja puoli kuukautta hiekkamailla ja soilla yli kolme kuukautta.

Pohjoisella pallonpuoliskolla on runsas viidennes maa-alasta ikiroudan aluetta (Seppälä 1986, Koutaniemi 1989). Suurella osalla siitä kasvaa hyviä havumetsiä. Maanpinnasta ehtii kesän aikana sulaa 0,5...3 metrin aktiivikerros (Brown 1970). Puiden kasvun edellytyksenä on, että juurikerroksen lämpötila nousee yli +5,5 °C.

Talvikuivuminen ja pakkasen aiheuttamat neulasvauriot näkyvät ensimmäisenä nuorimmissa neulasissa. Jos pakkanen vioittaa puun juuria tai maan pintakerros pysyy pitkään jäässä, puut kärsivät ensimmäiseksi veden puutteesta. Esimerkiksi varjoisissa paannejääpaikoissa tai muualla vielä kasvukautena jäätyneenä säilyvissä kohdissa havupuiden vesitressi ilmenee kaikenikäisten neulasten ruskettumisena alimmissa oksissa heti kasvukauden alussa. Oireet poikkeavat selvästi yleisenä ilmenevästä mäntyjen harsuuntumisesta.

MAAN LÄMPÖTILA

Metsänhoidon tutkimusosaston toimesta metsämaan lämpötilaa kasvukauden aikana on mitattu 1970-luvun alusta lähtien osana taimien elinympäristötutkimusta (Leikola 1974, Lähde 1978, Kubin ym. 1988). Talviaikaista maan lämpötilaa on havainnoitu vähänlaisesti, koska sen tiedetään vaihtelevan varsin suppeissa rajoissa.

Ilmatieteen laitoksen toimesta maan lämpötilaa on seurattu säännöllisesti Lapin osalta Sodankylässä vuodesta 1957, Sodankylän Vuotsossa vuodesta -61 ja Rovaniemen mlk:n Apukassa vuodesta -74 alkaen. Sodankylän hiekkamoreenikangas edustaa näistä lämpötilaltaan selvästi äärevimmin vaihtelevaa kasvupaikkaa. Maan lämpötila on siellä kylmimmillään 20 cm:n syvyydessä keskimäärin -4 ...-5 °C, kun yleensä maan pintakerroksen lämpötila on talvella vain -1 ...-2 °C (Results of soil ... 1979).

Kylminä vähälumisina talvina maa jähtyy jonkin verran enemmän. Esimerkiksi talvella 1986-87 maan lämpötila oli kylmimmillään Sodankylässä -10 ... -11 °C ja Vuotsossa -7 ... -8 5 cm:n syvyydessä (Ilmatieteen laitos, kuukausikatsaukset). Kuusamon metsäekologisella

koekentällä lämpötila laski tällöin aurauspalteen pinnassa -10 °C:een. Palteet pysyivät lähes lumettomina koko talven ja enimmilläänkin palteen päällä oli lunta vain 10 cm (Kubin 1989).

Edellisen kerran yhtä kylmää oli Sodankylässä talvella 1980 - 81. Todennäköisesti kuitenkin puiden kannalta talvi 1984 - 85 oli vaikeampi, koska maa jäähtyi jo lokakuussa nopeasti -7 ... -8 °C:seen eli kaksi kuukautta aikaisemmin kuin talvella 1986 - 87. Vastaavanlainen tilanne oli talvella 1960 - 61. Tällöin mitattiin lämpötilaa myös yhden senttimetrin syvyydestä, jossa se oli kylmimmillään loka-marraskuun vaihteessa -14 ... -15 °C kuten vuotta aiemminkin. Talvi 1967 - 68 oli ankara pakkastalvi ja maan lämpötilaminimi oli 20 cm:n syvyydessä -9 ... -10 °C sekä pari astetta alhaisempi maanpinnassa.

Viimeksi kuluneen 30 vuoden aikana Sodankylässä on siten saavutettu kuutena talvena suunnilleen yhtä alhaiset minimilämpötilat pintamaassa. Vuonna -87 voimistuneen neulaskadon jälkeen on erityistä huomiota kiinnitetty sen mahdollisiin syy-yhteyksiin maan minimilämpötilojen kanssa. Kiinnostavaa on tietää, kuinka alas lämpötila voi laskea metsämaassa Suomen oloissa. Vertailupohjaa maan lämpötilan talviselle vaihtelulle tarjoavat meitä arktisemmissa oloissa tehdyt mittaukset. Kanadan Inuvikissa pohjoisella havumetsänrajalla, missä ilman lämpötila voi laskea lähes -60 °C:seen, lämpötilan on todettu kylmimmillään laskevan hiekkamaassa jäkäläkerroksen alla 2,5 cm:n syvyydessä -11 ... -12 °C:seen ja turvemaalla -17 ... -18 °C:seen. Maata peittää siellä talvella ohut tuiskulumikerros, jolla on melko vähäinen vaikutus maan lämpötilaan. Ikirouta sulaa kesäisin 0,5 - 1 metrin pintakerroksesta, mikä on kuitenkin riittävästi kuusimetsän menestymiselle (Tarnocai 1984). Puuttomalla tundralla maan lämpötila laskee yleensä noin -20 °C:seen ja alimmillaan jopa -30 °C:seen, mikäli ilman lämpötila on -60 °C.

Maan talvinen lämpötila vaihtelee melko vähän ja selvästi ahtaammissa rajoissa kuin ilman lämpötilan sekä lumen ja roudan syvyyden perusteella voisi päätellä. Tämä johtuu siitä, että maan lämpövarastot tasoittuvat melko helposti syvemmistä kerroksista päin. Lämpötilagradientin kasvaessa lämpövuo alemmissa kerroksista maan pintaa kohti voimistuu (Saarelainen 1986). Samoin veden ja sen mukana kulkeutuvan lämpöenergian siirtyminen riippuu roudan syntynopeudesta. Maassa olevan veden jäätyessä syntyy jäätyvään kohtaan voimakas imu ja vettä virtaa alhaalta ylöspäin (Vakkilainen 1986).

HAVUPUIDEN KYLMÄNKESTÄVYYS

Useiden kokeellisten tutkimusten perusteella on päädytty siihen, että pohjoiset havupuut kestävät seuraavia lämpötiloja: neulaset -70 °C, silmut -70 °C, runko -50 ... -70 °C ja juuristo -20 ...-35 °C (Sakai ja Larcher 1987). Kestävyys paranee pohjoiseen päin ja jälkimmäiset luvut edustavat pohjoisimpia alkuperiä. Eräiden havupuiden on todettu kestävän yli -120 °C:n pakkasia. Juurisienten on todettu kestävän rihmastona -40 ...-192 °C:n pakkasen (Sakai ja Larcher 1987).

Taimitarhataimien pakkasenkestävyyteen on viime vuosina kiinnitetty huomiota varsinkin Ruotsissa, koska pieniä paakkutaimia säilytetään ulkona mm. kuljetusalustoilla. Tällöin juuret ovat alttiina jäätymiselle (Lindström ja Nyström 1987). Pienet taimet ovat isompia herkempiä paleltumaan, ja runsaan typpilannoituksen vuoksi niillä voi olla talventumisongelmia etenkin viileän kasvukauden jälkeen. Männyn ja kuusen pienten paakkutaimien juurten havaittiin Ruotsissa tehdyissä kokeissa kestävän lokakuussa -15 °C ja tammikuussa -20 ... -25 °C (Lindström ja Nyström 1987).

Useat tutkijat ovat todenneet, että normaalisti karaistuneet luonnon havupuut kestävät hyvin alimmatkin Fennoskandiassa esiintyvät lämpötilat (Sakai 1982a ja b, Sakai ja Eiga 1985, Nilsson ja Andersson 1987).

HAVUPUIDEN TERVEYDENTILA

Ensimmäiset oireet Lapin havupuiden terveydentilan heikkenemisestä havaittiin silmävaraisesti tämän vuosikymmenen alkupuolella lievänä neulasten harsuuntumisena etenkin korkeilla, karuilla mailla. Myös puiden naavan ja lupon määrässä näkyi vähenemistä. Ensimmäisessä havupuiden elinvoimaisuuden inventoinnissa v. 1986 Lapissa todettiin keskimäärin 18 % havupuista menettäneen vähintään viidenneksen neulastostaan (Jukola-Sulonen ym. 1987).

Vuonna 1986 oireilu edelleen voimistui. Uutena ilmiönä oli merkille pantavaa männyllä melko yleinen latvojen lievä taipuminen pohjoisen puolelle heinä-elokuun aikana. Samana syksynä oli myös havaittavissa männyn neulasten lievää kellertymistä ainakin eteläisen Lapin läänin alueella. Kokeellisesti voitiin todeta, että kyseessä ei ollut neulasissa kevättalvella esiintyvä värinmuutos (ks. Häggman 1985).

Latvojen taipuilu on sittemmin yleistynyt, ja se on osaltaan edistänyt mm. lumituhojen syntymistä nuorissa männiköissä etenkin talvella 1987 - 88. Myös männyn neulasten syksyinen kellertymisilmiö on yleistynyt ja pahentunut syksy syksyltä.

Neulaskato voimistui jyrkästi kesällä -87. Tämä havaittiin ensimmäiseksi karuilla turve- ja kivennäismailla Etelä-Lapissa ja Koillismaalla. Harsuuntuminen eteni syksyyn ja seuraavaan kevääseen mennessä viljavammille kasvupaikoille ja yhä pohjoisemmaksi. Neulasten ylimääräinen kariseminen jatkui jälleen kasvukauden -88 lopulta lähtien.

Vuonna 1987 aloitettiin Lapissa neulasten solutason muutosten seuranta. Näissä mikroskooppisissa tutkimuksissa on havaittu sekä männyllä että kuusella viherhiukkasten ja muiden solurakenteiden vaurioita (Sutinen ja Pesonen 1990). Analyyseistä on pääteltävissä, että ilmansaasteiden aiheuttamia vaurioita on esiintynyt tuntuvasti jo ainakin v. -86, mikä selittää neulasten värin muutoksen.

Latvan ja oksien taipumisen syistä ei ole tutkittua tietoa. Joidenkin oletusten mukaan se johtuisi ainakin osittain lisääntyneen UV-säteilyn vaikutuksesta, mikä on yhteydessä ylemmän ilmakehän otsonikerroksen ohenemiseen. Naavan ja lupon ei tiedetä vähenevän säiden vaikutuksesta. Sen sijaan ne ovat arkoja ilmansaasteiden, etenkin rikkiyhdisteiden vaikutukselle. Neulaston harsuuntuminen voi johtua erilaisista puiden elintoimintoja heikentävistä tekijöistä. Niillä on hyvin johdonmukainen yhteys mm. todettuihin soluvaurioihin, joiden vuoksi neulasten yhteytysteho alenee ja puilla ilmenee energian vajausta. Vajeen jatkuessa puu pyrkii supistamaan neulastoa teholtaan huonoimmasta eli vanhimmasta päästä. Ennen neulasten karistamista käyttökelpoiset yhdisteet, etenkin typpeä, fosforia, kaliumia ja magnesiumia sisältävät, siirretään muualle puun käyttöön (Kramer ja Kozlowski 1979). Samalla myös juuristoa supistetaan, koska se käyttää noin huomattavan osan yhteytystuotteista. Neulaskatoalueella onkin todettu normaalia enemmän kuolleita juuria (Tikkanen ja Raitio 1990).

Energiavaje ilmenee puilla pahimpana siellä, missä kasvuolot ovat rajallisimmat ja ravinnevarat niukimmat. Niinpä neulasten kariseminen alkoi ensimmäisenä karuimmilla mäntykankailla ja rämeillä.

Voidaanko harsuuntumisesta vetää syy-yhteydet myös talviekologisiin tekijöihin kuten pakkasiin sekä routaan ja maan alhaiseen lämpötilaan? Tämän vuosikymmenen aikana, jolloin metsien terveydentila on heikentynyt, talvien keskimääräinen pakkassumma on ollut hieman korkeampi kuin pitkänajan keskiarvio. Pakkassummaennätystä ei ole saavutettu vaikka talvella -85 Sallan Naruskalla mitattiin Suomen kaikkien aikojen alhaisin päivälämpötila -50,4 ^{o}C (Helminen 1987). Erinäisten tutkimusten perusteella tiedetään, että Lapin luontaiset havupuut kestävät kuitenkin normaalisti talvisten tekijöiden aiheuttaman rasituksen. On kuitenkin todennäköistä, että ilmansaasteiden aiheuttamien muutosten ja vaurioiden vuoksi puiden kestävyys on heikentynyt. Yhteytystehon aleneminen merkitsee mm. vaikeuksia neulasten talveentumisessa, koska siinä tärkeät hiilihydraattivarastot jäävät niukoiksi. Saasteiden heikentämät havupuut ovat herkempiä paitsi pakkasen myös muiden äärevien säätekijöiden vaikutukselle ja niiden seuraustuhoille kuten männynversosyövälle.

Kirjallisuus

Brown, R.J.E. 1970. Permafrost in Canada. Its influence on northern development. University of Toronto Press. 234 s.

Havas, P. & Sulkava, S. 1987. Suomen luonnon talvi. Kirjayhtymä.

Helminen, V.A. 1987. Lämpöolot. Suomen kartasto. Vihko 131: 4-10.

Häggman, J. 1985. Männyn neulasten talviväri. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 196: 82-88.

Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkola, K., Nevalainen, S. & Yli-Kojola, H. 1987. Havupuiden elinvoimaisuus Suomessa vuosina 1985-1986. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 256. 92 s.

Keränen, J. 1923. Über den Bodenfrost in Finnland. Suomen Valtion Meteorologisen keskuslaitoksen toimituksia 12. 59 s.

Koutaniemi, L. 1989. Ikirouta koettelee. Tiede 2000 1: 58-62.

Kramer, P.J. & Kozlowski, T.T. 1979. Physiology of woody plants. Academic press. New York-San Francisco-London. 811 s.

Kubin, E. 1989. Talven 1986-87 ja kesän 1987 lumi-, routa- ja lämpöoloista Kuusamossa. Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema.

Kubin, E., Kemppainen, L., Laiho, O., Norokorpi, Y. & Poikolainen, J. 1988. Meteorologiset ja yleisekologiset tutkimukset. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 299: 4-15.

Kubin, E. & Poikolainen, J. 1982. Hakkaamattoman metsän sekä eri tavoin muokatun avohakkuualan routa- ja lumisuhteista. Summary: Snow and frost conditions in an uncut forest and open clear-cut areas prepared in various ways. Folia Forestalia 518. 24 s.

Leikola, M. 1974. Muokkauksen vaikutus metsämaan lämpösuhteisiin Pohjois-Suomessa. Summary: Effect of soil preparation on soil termperature conditions of forest regeneration areas in Northern Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 84 (2). 64 s.

Lindström, A. & Nyström, C. 1987. Seasonal variation in root hardiness of container-grown Scots pine, Norway spruce, and lodgepole pine seedlings. Canadian Journal of Forest Research 17: 787-793.

Lähde, E. 1978. Maan käsittelyn vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä männyn ja kuusen taimien kehitykseen. Summary: Effect of soil treatment on physical properties of the soil and on development of Scots pine and Norway spruce seedlings. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 94 (5). 59 s.

Nilsson, J.-E. & Andersson, B. 1987. Performance in freezing tests and field experiments of full-sib families of *Pinus silvestris* (L.) Canadian Journal of Forest Research 17: 1340-1347.

Norokorpi, Y. 1977. Epätasainen lannoitus ja männiköiden pakkasvauriot. Metsä ja Puu 4: 15-17.

Results of soil temperature measurements in Finland 1961-1970. 1979. Havaintoja maan lämpötilasta 3. Ilmatieteen laitos. 59 s.

Saarelainen, S. 1986. Maan routiminen. Routaseminaarin Espoo 6.3.1986 esitelmät. Vesihallituksen monistesarja 410:14-18.

Sakai, A. 1982a. Extraorgan freezing of primordial shoots of winter buds of conifers. Teoksessa Li, P.H. & Sakai, A. (toim.): Plant cold hardiness and freezing stress, Vol. 2. Academic Press, New York. s. 199-209.

Sakai, A. 1982b. Freezing tolerance of shoot and flower primordia of coniferous buds by extraorgan freezing. Plant & Cell Physiology 23 (7): 1219-1227.

Sakai, A. & Eiga, S. 1985. Physiological and ecological aspects of cold adaptation of boreal conifers. Teoksessa: Kaurin, Å., Junttila, O. & Nilsen, J. (toim.). Plant production in the North. NORWEGIAN UNIVERSITY PRESS, Tromsö-Oslo-Bergen-Stavanger. s. 157-170.

Sakai, A. & Larcher, W. 1987. Frost survival of plants. Responses and adaptation to freezing stress. Ecological Studies 62. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-London-Paris-Tokyo. 321 s.

Seppälä, M. 1986. Ikirouta. Routaseminaarin Espoo 6.3.1986 esitelmät. Vesihallituksen monistesarja 410: 9-13.

Soveri, J. 1986. Vesihallituksen routahavaintoverkko - roudan alueelliset ja ajalliset vaihtelut. Routaseminaarin Espoo 6.3.1986 esitelmät. Vesihallituksen monistesarja 410: 23-28.

Soveri, J. & Varjo, M. 1977. Roudan muodostumisesta ja esiintymisestä Suomessa vuosina 1955-75. Summary: On the formation and occurence of soil frost in Finland 1955 to 1975. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 20. 66 s.

Sutinen, S. & Pesonen, R. 1990. Männyn ja kuusen neulasten soluvaurioista Lapissa. Julkaisussa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347:69-75.

Tarnocai, C. 1984. Characteristics of soil temperature regimes in the Inuvik Area. Teoksessa: Olson, R., Hastings, R. & Geddes, F. (toim.) Northern ecology and resource management. The University of Alberta Press. Edmonton. 438 s.

Tikkanen, E. & Raitio, H. 1990. Ilmastostressi ja ilmansaasteet - kesän 1987 neulaskadon syitä. Julkaisussa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347:34-42.

Tranquillini, W. 1979. Physiological ecology of the alpine timberline. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. 137 s.

Vakkilainen, P. 1986. Routa ja vedenkierto. Routaseminaarin Espoo 6.3.1986 esitelmät. Vesihallituksen monistesarja 410: 19-22.

JÄKÄLÄT BIOINDIKAATTOREINA ROVANIEMEN YMPÄRISTÖSSÄ

Antti Haverinen

TIIVISTELMÄ

Kesällä 1988 perustettiin Rovaniemen kaupunkiin ja sen ympäristöön pysyviä bioindikaattorikoealoja täydentämään ILME-koealaverkostoa. Koealoja on 20 kpl ja ne sijaitsevat Rovaniemen ympärillä viiden samankeskisen ympyrän kehillä pääilmansuuntiin päin. Kehien säteet ovat 1,2 km, 2,5 km, 4,8 km, 7,7 km ja 14,0 km. Kehille perustamisen etuna on se, että koealat sijaitsevat samoilla etäisyyksillä keskustasta, mikä helpottaa tulosten käsittelyä ja vertailua. Hankaluutena oli löytää sopiva koealametsikkö juuri kehän ja ilmansuunnan leikkauspisteestä. Tutkimuksessa sallittiin noin yhden kilometrin liikkumavara kehällä edullisinta paikkaa etsittäessä.

Koealoja perustettiin keski-ikäisiin variksenmarja-puolukkatyyppisiin (EVT) mäntymetsiin, jotka ovat vallitsevia Rovaniemen alueella.

Koealoilta mitattiin epifyyttijäkälien peittävyydet kolmelta tukkipuukokoiselta männyltä ns. "point comb"lla. Näitä pysyviä seurantaruutuja perustettiin 12 kpl runkoa kohden, jokaiselle pääilmansuunnan sivulle koeruutu 0,5 m, 1,5 m ja 2,5 m:n korkeuteen. Inventoitavia jäkälälajeja oli 13 kpl. Naavat ja lupot merkittiin suvuittain tunnistamisen varmentamiseksi.

Yleisjäkäläisyys luokitettiin silmävaraisesti kaikista koealan puista luokin 0-6 koko rungon pituudelta. Luokituksen kohteena olivat pensasmaiset jäkälät (naavat ja lupot). Tutkimuksessa käytettiin ILME-projektiin nähden laajempaa luokitusta, koska haluttiin rekisteröidä taajaman vähäisetkin esiintymät ja toisaalta erittäin runsaat esiintymät. Arvioinnin yhteydessä mitattiin viiden pisimmän naavamaisen jäkälän keskipituus ja pisin jäkälä.

Harsuuntuminen arvioitiin kuten ILME-projektissa pää- ja lisävaltapuista 10 %:n luokin. Arviointiin kuuluu neulasvuosikertojen laskeminen ja erilaisten tuhojen ja värivikojen määrittäminen. Aineiston puut soveltuvat hyvin harsuuntumisen arviointiin, koska niissä ei ole juuri lainkaan ikääntymisen aiheuttamaa harsuuntumista.

Jäkälänäytteenä kerättiin koealan ulkopuolelta jokaisesta pääilmansuunnasta sormipaisukarvetta (*Hypogymnia physodes*). Kerätyistä näytteistä määritettiin raskasmetallien ja alkuaineiden pitoisuuksia. Rikin, raudan ja titaanin osalta useilla koealoilla pitoisuudet olivat suuremmat kuin ILME-projektissa mitatut kymmenen eniten kyseisiä alkuaineita sisältävän koealarypään keskiarvot Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueilla.

Tutkimus osoitti naavamaisten jäkälien (naavat ja lupot) hävinneen Rovaniemen keskustasta. Kyseiset jäkälät reagoivat herkästi ilman epäpuhtauksiin pensasmaisen kasvutapansa vuoksi. Sisimmältä kehältä löytyi vain muutamia pieniä, kituvia yksilöitä kaarnan raoista. Keskustassa havaittiin myös viherleväkasvustoa puiden rungoilla. Valtalajina keskustan alueella on sormipaisukarve, joka saasteita melko hyvin kestäneenä on vallannut tilaa puiden rungoilla. Sekään ei kuitenkaan esiinny runsaimpana aivan keskustassa vaan toisella kehällä, noin 2,2 km etäisyydellä. Sormipaisukarvekin siis jo kärsii epäpuhtauksista.

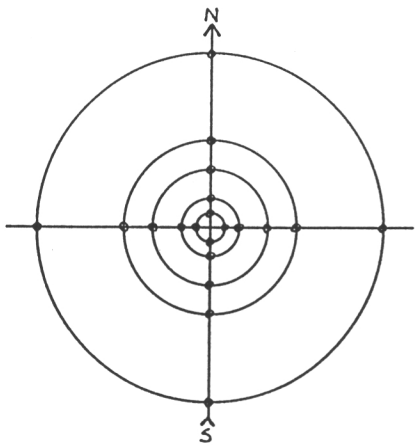
Arvioitujen mäntyjen harsuuntumistilanne on hyvä; puut ovat käytännöllisesti katsoen harsuuntumattomia. Suomessa vuonna 1988 männyistä 11 % oli harsuuntuneita. Sisimmällä kehällä harsuuntuneita mäntyjä oli 7 % ja toisella kehällä 10 %.

MENETELMÄ

Koealojen sijoittelu

Koealojen sijoittamisen perusongelmaksi muodostui se, tulisiko ne sijoittaa jo ennalta valittuihin metsiköihin vai ympyrän kehille pääilmansuuntiin. Edellisessä tapauksessa saadaan koealoille parempi vertailukelpoisuus, jälkimmäisessä taas koealojen tasainen sijoittuminen tutkimusalueelle. Tulosten käsittelyä helpottaa koealojen yhtäläinen etäisyys Rovaniemen keskustaan ja sijainti pääilmansuuntiin. Jälkimmäinen menetelmä valittiin tutkimukseen (kuva 1) kuitenkin sillä varauksella, että ympyrän kehällä olisi noin kilometrin liikkumavara parhainta paikkaa etsittäessä. Rovaniemen keskustassa koealat sijoittuivat puistoalueille ja muualla valtion sekä yksityisten metsiin. Kehien etäisyydet keskustasta olivat 1,2 km, 2,5 km, 4,8 km, 7,7 km ja 14,0 km.

Tutkimuksessa ei ollut tehty oletusta ilmansaasteiden leviämissuunnasta tai niiden paikallisista pitoisuuksista Rovaniemellä.



Kuva 1. Koealojen sijoittelu. Kehien säteet 1,2 km, 2,5 km, 4,8 km, 7,7 km ja 14,0 km.

Koealojen kriteerit

Koealojen kriteerit valittiin Kaupin ja Mikkosen (1980) Raahessa tekemän tutkimuksen mukaan. Koealat olivat kolmen aarin ympyräkoealoja ja niiltä vaadittiin seuraavaa: metsätyyppi mäntyvaltainen EVT, ikä 50-80 vuotta, koeala ei saa rajoittua aukkoon, ei päätehakkuuta 30 vuoteen. Metsikön sademäärä, valaistus, lämpötila ja maaperän ravinteisuus vaikuttavat jäkälien kasvuun ja lisääntymiseen (Lehtonen ym. 1985). Asutuksen ja liikenteen vaikutusta pyrittiin vähentämään sijoittamalla koealat metsikön keskelle.

Koealan yleistiedot

Koealoilta mitattiin joitakin tärkeitä metsikkö- ja maastotunnuksia, mm. pohjapinta-ala, ikä, koealan topografia ja metsätyyppi. Samalla varmistettiin koealojen mahdollisimman suuri yhdenmukaisuus ja kerättiin tietoa, josta voisi olla apua tulosten analysoinnissa.

Harsuuntumiskohdepuut

Harsuuntumiskohdepuiksi valittiin koealan kaikki valta- ja lisävaltapuut. Niiden sijainti kartoitettiin koealan keskipisteestä suunnan ja etäisyyden avulla. Puista mitattiin pituus ja läpimitta. Harsuuntumiskohdepuiksi hyväksyttiin myös koivut, joista rekisteröitiin mm. mahdolliset oksatuhot.

Harsuuntumisarvio suoritettiin kuten ILME-projektissa (Jukola-Sulonen ym. 1987). Harsuuntumisen määrä arvioitiin luokin 0-9 (luokka 0=neulasista hävinnyt 0-10 %, luokka 1=neulasista hävinnyt 11-20 %, luokka 2= neulasista hävinnyt 21-30 % jne.) Harsuuntumisarviointiin kuuluu neulasvuosikertojen laskeminen ja erilaisten tuhojen ja värivikojen määrittäminen (Puiden harsuuntumisen arviointi 1987).

Tutkimuksessa olevat koealat sijaitsevat keski-ikäisissä, mäntyvaltaisissa metsissä, joten arvioitavia kuusia ja koivuja tuli mukaan vain muutamia. Keski-ikäiset ja terveet puustot ovat optimaalisia juuri harsuuntumisarviointia ajatellen, poistuvathan ikä ja erilaiset tuhot lähes kokonaan harsuuntumista selittävien tekijöiden joukosta.

Yleisjäkäläisyys

Naavamaisiin jäkäliin luetaan kuuluviksi naavat ja lupot (suvut *Alectoria*, *Bryoria* ja *Usnea*). Näiden on todettu olevan herkkiä ilmansaasteille, etenkin naavojen, jotka ovat häviämässä Etelä-Suomesta. Näiden jäkälien avulla saadaan nopeasti yleiskuva ilman laadusta. Naavojen ja luppojen kunnon heikkeneminen on merkki ilman pilaantumisen alkamisesta.

Naavamaisten jäkälien runsaus luokiteltiin silmävaraisesti jokaisesta harsuuntumiskohdepuusta koealan keskipisteen suunnalta. Luokituksen runkona käytettiin ILME-projektin yleisjäkäläisyysluokitusta (Jukola-Sulonen ym. 1987) eräin muutoksin: ILME:ssä käytetyn viiden luokan sijasta käytettiin seitsemää luokkaa. Luokitusta laajentamalla haluttiin rekisteröidä myös taajama-alueen pienet jäkäläesiintymät ja toisaalta erottaa todella runsaat naavamaisten jäkälien esiintymät.

Samalla mitattiin tai arvioitiin viiden pisimmän naavamaisen jäkälän keskipituus. Myös pisin naava ja luppo mitattiin ja puun numero rekisteröitiin.

Epifyyttijäkälät

Eräänä tutkimuksen kohteena olivat puun rungolla kasvat epifyyttijäkälälajit ja niiden peittävyysprosentit. Tähän inventointiin otettiin mukaan sekä ilmansaasteille herkkiä että kestäviä lajeja. Inventoitavia lajeja oli 13 kappaletta. Lajit olivat samoja kuin ILME-projektissa, mutta lajimäärä oli pienempi. Naavat ja lupot kirjattiin suvuittain tunnistamisen varmistamiseksi.

ILME-projektissa jäkälien peittävyyden määritys tapahtuu silmävaraisesti. Tässä tutkimuksessa käytettiin mittalaitetta, jolla jäkälien peittävyys saadaan 2 %:n tarkuudella. Mittaava menetelmä poistaa arvioijasta johtuvat virhelähteet. Kyseistä mittalaitetta on käytetty Kaupin ja Mikkosen (1980) Raahessa tekemässä tutkimuksessa.

Jäkälät inventoitiin kolmelta koealan keskipistettä lähinnä olevalta tukkipuukokoiselta männyltä. Aina ei kuitenkaan ollut tarkoituksenmukaista valita juuri niitä, etenkin jos ne olivat ylispuita tai muutoin sellaisia, että ne poistuisivat seuraavassa hakkuussa. Tutkimuksessa vältettiin myös erittäin oksaisia puita, koska seurantaruudun perustaminen niihin oli teknisesti hankalaa.

Seurantaruutuja perustettiin 12 kappaletta runkoa kohden eli kolme kappaletta jokaiseen pääilmansuuntaan. Alin ruutu perustettiin 0,5 m:n, seuraava 1,5 m:n ja ylin 2,5 m:n korkeudelle. Ylimmällä ruudulla pyrittiin eliminoimaan porojen vaikutus. Usein kuitenkin jäkä-

liä ei enää ollut tällä korkeudella, koska kaarna muuttui helvekarnaksi.

Jäkälänäyte

Jäkälänäytteenä kerättiin sormipaisukarvetta *Hypogymnia physodes*. Näyte kerättiin hajanäytteenä koealan ulkopuolelta jokaisesta ilmansuunnasta. Taajama-alueella ja nuorehkoissa metsissä metsissä olisi ollut vaikeaa kerätä oma näyte ilmansuunnastaan, koska jäkälää oli vähän saatavissa.

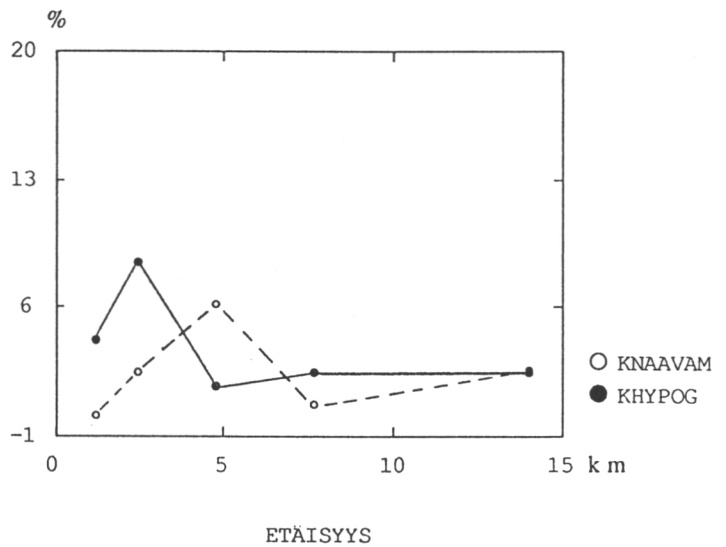
Kerätyistä näytteistä on määritetty raskasmetallien ja alkuaineiden pitoisuuksia. Näytteet on analysoitu Metsäntutkimuslaitoksen keskuslaboratoriossa Vantaalla.

TULOKSIA

Epifyyttijäkälien peittävyys

Tutkimuksessa mitattua jäkäläaineistoa on esitetty kuvassa 2. Siihen on laskettu naavamaisten jäkälien ja *H. physodeksen* peittävyysprosenttien keskiarvot kaikilta viideltä kehältä. Kunkin kehän keskiarvolukema on merkitty kuvioon kehän etäisyyden kohdalle.

H. physodes on vallitseva laji kaupunkialueella. Se saavuttaa suurimman peittävyyden vasta 2,5 km:n etäisyydellä keskustasta, mikä voi olla merkki sen kärsimisestä keskustassa. Sisimmän kehän koealoilta löydettiin myös viherlevää. Naavamaisia jäkäliä ei ole keskustassa juuri ollenkaan. Niiden peittävyys lisääntyy suoraviivaisesti aina 5 km:n etäisyydelle, minkä jälkeen peittävyys romahtaa. Tämä huippu saattaa johtua ilman tai sateen mukana tulevasta laskeumasta, mikä voi edistää luppojen kasvua tiettyyn pisteeseen saakka.

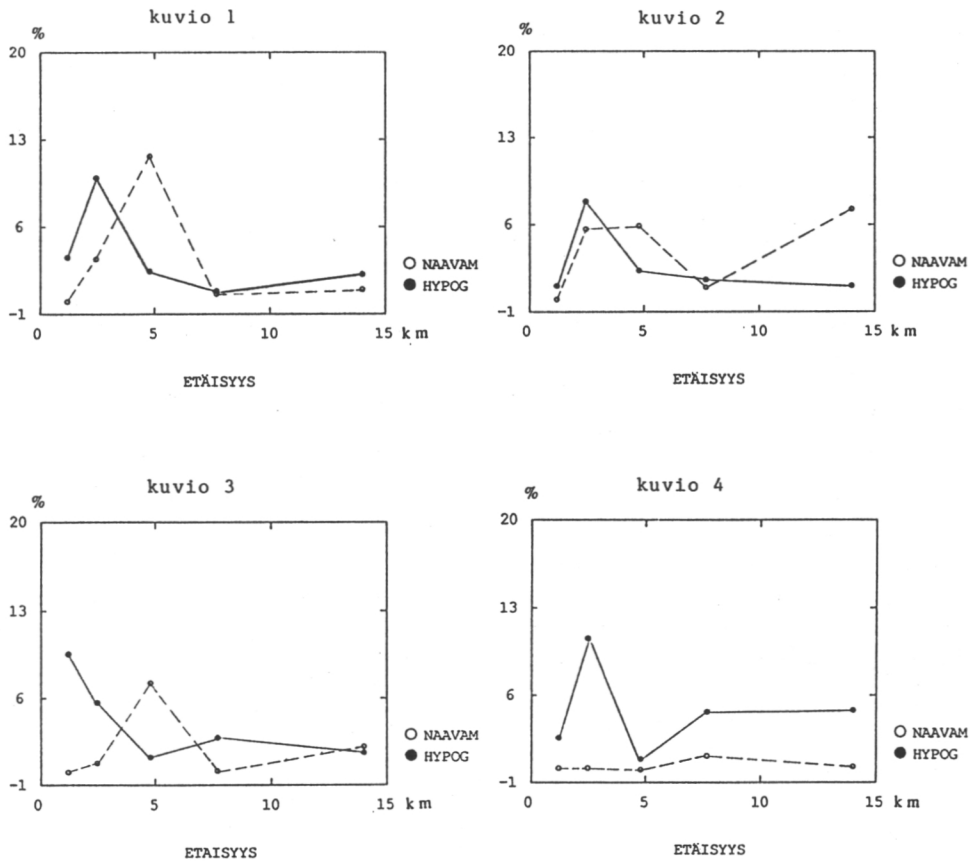


Kuva 2. Naavamaisten jäkälien ja Hypogymnia physodeksen kehiltä lasketut keskimääräiset peittävyysprosentit etäisyyden funktiona. KNAAVAM = naavamaisten jäkälien peittävyysprosenttien keskiarvo. KHYPOG = H. physodeksen peittävyysprosenttien keskiarvo.

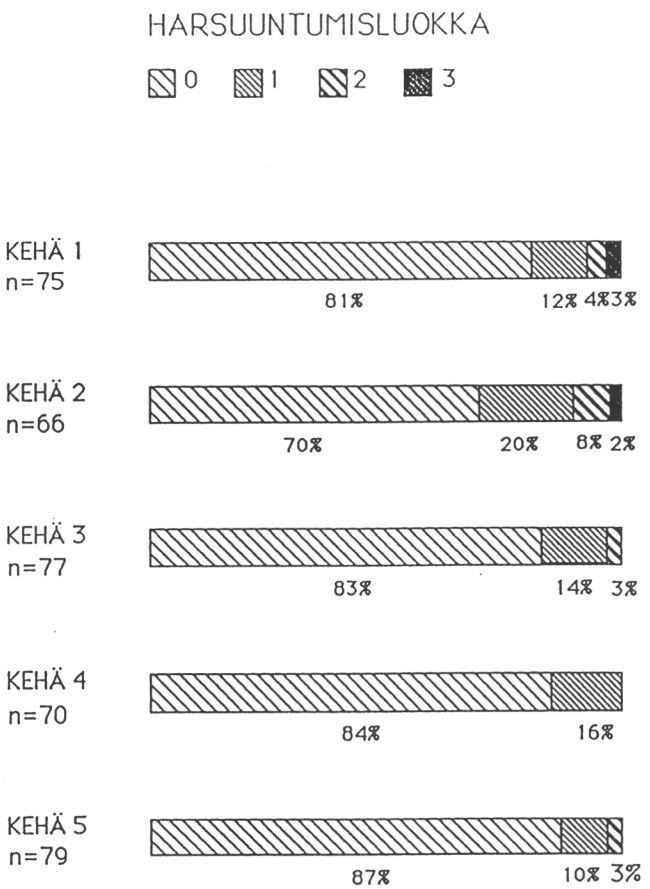
Kuvassa 3 on esitetty naavamaisten jäkälien ja *H. physodeksen* peittävyysprosenttien keskiarvot ilmansuunnittain. Siihen on laskettu peittävyysprosentit jokaiselta koealalta ja esitetty ne kunkin ilmansuunnan osalta merkitsemällä keskiarvo kuvioon kehän etäisyyden kohdalle.

Naavamaisia jäkäliä on niukasti eteläisillä koealoilla, joilla peittävyyden huippua ei saavuteta kolmannella kehällä. Tähän voi olla osasyynä olosuhteiden erilaisuus, mutta jo käyrän lähtösuunta on poikkeava. Kilpailutekijöistä johtuen *H. physodeksella* on em. tapauksessa keskimääräistä suurempi peittävyys. Itään päin naavamaisten jäkälien peittävyys on runsasta jo toisella kehällä, Ounasvaaran länsirinteellä. Läntisellä käyrästöllä *H. physodes* on runsaimmillaan ensimmäisellä koealalla.

Tutkimuksen kehittäinen jäkäläaineisto testattiin varianssianalyysillä a-priori -testillä. Kehien naavamaisten jäkälien peittävyyksissä on erittäin merkitseviä eroja.



Kuva 3. Naavamaisten jäkälien ja Hypogymnia physodeksen peittävyysprosenttien keskiarvot ilmansuunnittain etäisyyden funktiona. Kuvio 1 = Rovaniemeltä pohjoiseen sijaitsevat koealat, kuvio 2 = Rovaniemeltä itään sijaitsevat koealat, kuvio 3 = Rovaniemeltä länteen sijaitsevat koealat ja kuvio 4 = Rovaniemeltä etelään sijaitsevat koealat.



Kuva 4. Harsuuntumisluokkien osuudet kehittäin.

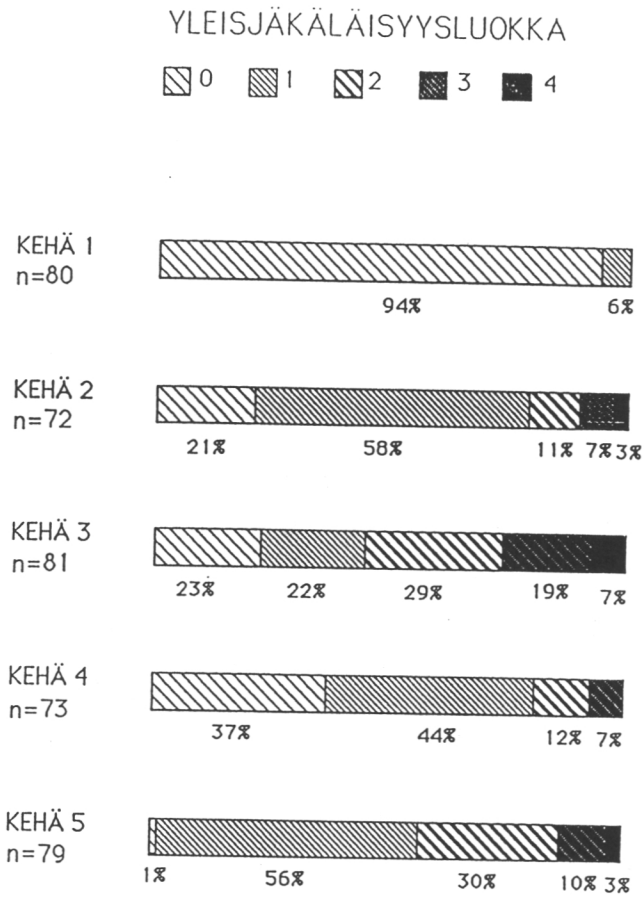
Harsuuntuminen

Harsuuntumisluokkien määrät on esitetty kuvassa 4. Harsuuntuneiksi luetaan luokkien 2 ja 3 havainnot. Tällaisten mäntyjen osuus sisimmällä kehällä oli 7 % ja toisella kehällä 10 %. Kauemmaksi mentäessä harsuuntuneiden osuus jäi lähes olemattomaksi. Kaikkiaan tilanne oli parempi kuin koko Suomessa vuonna 1988, jolloin männyistä oli harsuuntuneita 11 % (Metsien Terveys ... 1989).

Puistojen intensiivinen hoito on osasyynä keskustan puiden latvusten hyvään kuntoon. Ulommilla kehillä oli paikoin ryhmittäistä ylitiheyttä. Vakavasti harsuuntuneita puita ei havaittu lainkaan.

Yleisjäkäläisyys

Kuvasta 5 käy selvästi ilmi naavamaisten jäkälien puuttuminen keskustasta. Pieniä esiintymiä on havaittu vain 6 %:lla puista, loput ovat täysin jäkälättömiä. Naavamaisten jäkälien määrä lisääntyy nopeasti jo toisella kehällä, luokan 4 (naavamaisia runsaasti, kookkaita yli 5 kpl) havaintoja oli 3 %. Tasaisin jakauma on kehällä 3, kehän 4 havainnot painottuvat taas luokkiin 0 ja 1. Viidennellä kehällä täysin naavattomia oli vain 1 %.



Kuva 5. Yleisjäkäläisyysluokkien osuudet kehittäin.

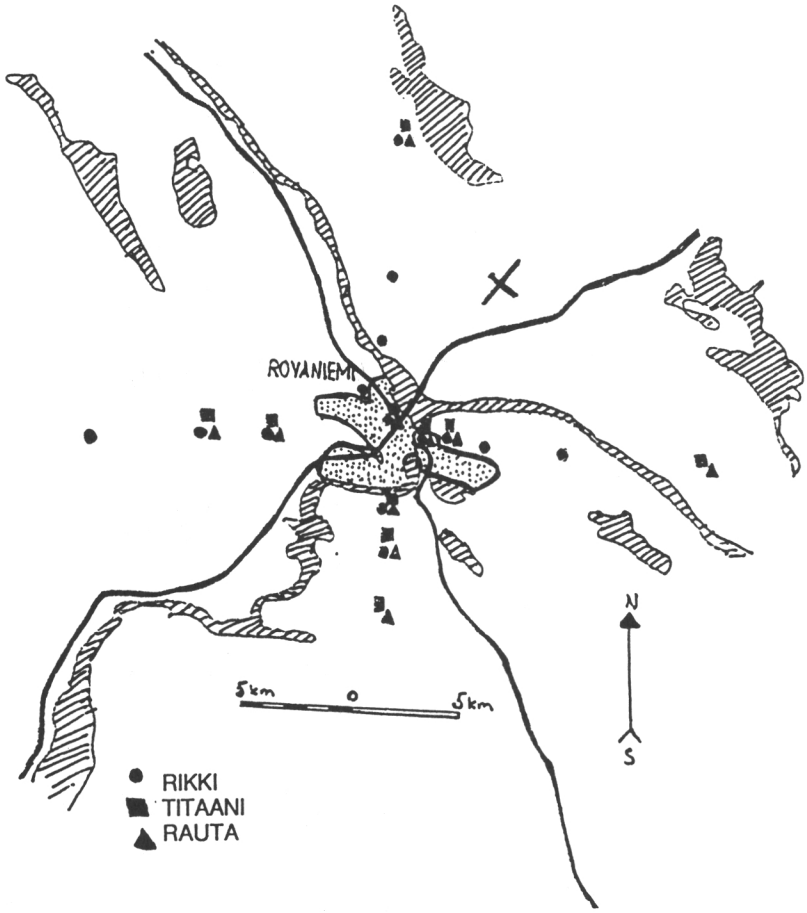
Alkuaineiden ja raskasmetallien pitoisuudet

Kerätyistä jäkälänäytteistä analysoitiin 18 alkuaineen pitoisuudet. Rikin, raudan ja titaanin osalta useilla koealoilla pitoisuudet olivat suuremmat kuin ILME -projektissa mitatut kymmenen eniten kyseisiä alkuaineita sisältävän koealarypään keskiarvot Lapin ja Koillis -Suomen metsälautakuntien alueella (Tiedote Metsäntutkimuslaitoksen ILME-projektin osatuloksista ... 1989). Kuvassa 6 on esitetty näiden koealojen sijainti.

Rikkiä löytyi tasaisesti lähes koko tutkimusalueelta, onhan se yleisimpiä yhdyskuntasaasteita. Titaanin osalta havainnot painottuivat keskustaan ja Rovaniemen länsi- ja eteläpuolelle. Raudan runsas esiintyminen noudatti titaanin esiintymistä. Huomionarvoista on, ettei välittömästi keskustan länsi- ja eteläpuolelta havaittu runsaita pitoisuuksia.

MENETELMÄN ARVIOINTI

Tutkimuksessa mukana olevien koealojen lukumäärä (20 kpl) on liian pieni, jos halutaan selvittää ilman laatua eri kaupunginosissa. Koealoista 7 sijaitsee taajama-alueella ja loput 13 maalaiskunnan puolella. Rovaniemen ydinkeskusta ja Saarenkylän alue jäivät ilman koealaa. Käytetty koealaverkosto antanee hyvän yleiskuvan, mutta tarkempaa ja paikallisempaa tietoa



Kuva 6. Rikin, raudan ja titaanin runsaat pitoisuudet Rovaniemen seudulla.

haluttaessa olisi tutkimuspisteitä perustettava tiheämpään erityisesti taajamaan.

Rovaniemen taajama-alueelta löytyivät sopivat koealojen paikat melko vaivattomasti. Vaikeampaa oli niiden löytäminen kaupungin ulkopuolelta. Kaupungin ympäristön metsät ovat luontaisesti uudistettuja ja epätasaisia rakenteeltaan. Näin ne poikkeavat puistoista, joiden kehitys on ollut valoisuuden ja tuulisuuden suhteen tasaisempaa. Hankaluutena oli tasaisen, sulkeutuneen ja tarpeeksi laajan metsikön löytäminen.

Epifyyttijäkälien inventointitulosten tarkastelua vaikeuttaa se, että koealat jouduttiin osittain perustamaan metsiin, joissa jäkälälajisto on vielä kehitystilassa. Uudistuskypsissä metsissä ei tälläista kehitystä tapahdu, mutta koealan säilyminen on vaarassa. Vanha metsikkö ei sovellu harsuuntumisarviointiin yhtä hyvin kuin nuori metsikkö.

Koealojen vertailukelpoisuutta heikentää kulutuksen erilaisuus kaupungissa ja maaseudulla. Kaupungin puiston puut joutuvat alttiiksi ihmisen aiheuttamalle mekaaniselle kulutukselle. Maaseudulla porot voivat syödä lupot rungoilta. Ylimpiin ruutuihin porot eivät ylety, mutta näistä ruuduista tuli liian vähän havaintoja, että tutkimusta voisi jatkaa niiden varassa.

Epifyyttijäkälien inventoinnissa havaittiin joitakin mahdollisia virhelähteitä. Seurantaruutuja ei aina voitu sijoittaa tarkalleen oikeaan korkeuteen ja ilmansuuntaan oksien vuoksi. Rungolla olevat kaarnanraot ovat samansuuntaisia kuin mittalaitteen piikkirivit. Piikkirivistön sattuessa kaarnakilpien väliin oli tulos usein nolla. Tällöin tulee ruutu- ja runkokohtaista

otantavirhettä, joka tasoittuu aineiston laajuuden vuoksi. Otantavirhe poistuisi, jos mittalaitteen piikkirivit olisivat vaakasuorassa. Mittaaja joutui tulkitsemaan, osuiko piikki lupon rihmaan. Tarkalla työllä vastaus saatiin melko luotettavasti. Seurantamittausten kannalta vaikeutena on puun sädekasvu. Mittalaitetta ei voida sijoittaa uudelleen samoihin naulanreikiin. Tulosten kannalta tällä ei liene merkitystä.

Harsuuntumisarviota teki kaksi eri henkilöä, joiden kesken saattoi olla luokitteluеroja. Harsuuntumisaste oli pääasiassa luokkaa 0, 1 ja 2, joihin tulee kiinnittää erityistä huomiota. Arviointi oli erityisen vaikeaa pieniä tuhoja arvioitaessa (Jukola-Sulonen 1985).

Yleisjäkäläisyyden arvioinnissa kohteena oli koko puu. Pienet naavamaisten jäkälien kasvustot, jotka sijaitsevat puun yläosissa saattavat jäädä huomaamatta. Alimmissa jäkäläisyysluokissa tällä voi olla merkitystä. Ylhäällä sijaitsevan jäkälän pituus jouduttiin arvioimaan silmävaraisesti. Kaikkiaan yleisjäkäläisyysluokitus todettiin käyttökelpoiseksi.

Jäkälänäytteen keräämisessä virhettä voi aiheuttaa se, että näytettä ei saatu koealan jokaiselta ilmansuunnalta aina samaa määrää.

PÄÄTELMÄT

Naavamaisten jäkälien puuttuminen Rovaniemen keskustasta on merkki ilman jonkinasteisesta saastumisesta. Keskustan valtalajina on sormipaisukarve, joka varsin kestävänä lajina on selviytynyt yhdessä keltatyvikarveen ja viherlevän kanssa. Kuitenkin sormipaisukarve saavuttaa suurimman peittävyyden vasta noin 2 km:n päässä keskustasta. Voidaan olettaa sormipaisukarveenkin kärsivän epäpuhtauksista. Saasteiden vaikutus ulottuu noin 4 km:n säteelle keskustasta.

Tutkimuksessa tarkasteltujen havupuiden neulastilanne on varsin hyvä. Puut ovat käytännöllisesti katsoen harsuuntumattomia, tosin lievää taajaman vaikutusta on nähtävissä. Tilanne keskustassa vastaa likimain keskimääräistä tilannetta Suomessa. Jatkossa on mielenkiintoista seurata harsuuntumisen kehitystä, sillä arvioidut puut ovat terveitä ja vastustuskykyisiä.

Alkuainepitoisuuksien osalta huomataan selvää taajaman kuormitusvaikutusta. Titaanin runsas esiintyminen johtunee turpeen käytöstä kaukolämpölaitoksissa.

Tutkimus antaa varsin valoisan kuvan Rovaniemen ja sen ympäristön ilmanlaadusta. On kuitenkin muistettava, että tutkimus on laatuaan yleisluontoinen. Koealojen vähäisestä lukumäärästä johtuen on tässä vaiheessa syytä olla tekemättä kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä.

Kirjallisuus

Jukola-Sulonen, E.-L. 1985. Havupuiden vauriokartoitus. Ohjeet havupuiden harsuuntumisen arvioinnista ILME-projektia varten. Moniste. Metsäntutkimuslaitos, Vantaa.

Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkola, Nevalainen & Yli-Kojola, 1987. Havupuiden elinvoimaisuus Suomessa vuosina 1985-1986. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 256.

Kauppi, M. ja Mikkonen, A., 1980. Floristic versus Single Species Analysis in the Use of the Epiphytic Lichens as Indicators of Air Pollution in a Boreal Forest Region, Northern Finland. Oulun yliopiston kasvitieteen laitos.

Lehtonen, E.-M., Kautto, A. & Nieminen, M., 1985. Jäkälät ja poro. Poromies 6/1985.

Metsien Terveys, Tietoa metsien tilasta 1/89. 1989. Moniste. Metsäntutkimuslaitos. Helsinki.

Puiden harsuuntumisen arviointi. 1987. Moniste. Metsäntutkimuslaitos, metsänhoidon tutkimusosasto.

Tiedote Metsäntutkimuslaitoksen ILME-projektin osatuloksista "Valtakunnallinen laskeumatilanne jäkälänäytteiden perusteella arvioituna". 1989. Moniste. Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema.

MINERAALIMAAN HAPPAMOITUMINEN ERÄILLÄ KOEALOILLA ITÄ-LAPISSA

Marja-Liisa Räisänen

JOHDANTO

Itä-Lapin alueelta tehty tutkimus liittyy osana Geologian tutkimuskeskuksen ja Metsähallituksen kanssa yhteistyönä tehtävään pilottitutkimukseen (Räisänen 1989a). Pilottitutkimuksessa selvitetään maanmuokkauksen ja happaman laskeuman vaikutusta alumiinivaltaisten mineraalien rapautumiseen podsolimaannoksen eri kerroksissa. Alumiinisilikaattien rapautumisaste säätelee osaltaan mineraalimaan happamoitumista ja eri alkuaineiden kuten alumiinin liukoisuutta.

Tutkimusalue sijaitsee Itä-Lapin alueella, missä rikkilaskeuman määrä on arvioitu olevan 0,6 - 1,0 g/m^2 vuodessa (kuvan 1 yläkulman kartta) (rikin kaukokulkeutumismalli, ks. Forsius ym. 1988). Tuloksien arvioinnissa on käytetty vertailuaineistona Pohjois-Suomessa ja muualla Suomessa vuosien 1985-88 aikana tehtyjä tutkimuksia (Räisänen 1989b).

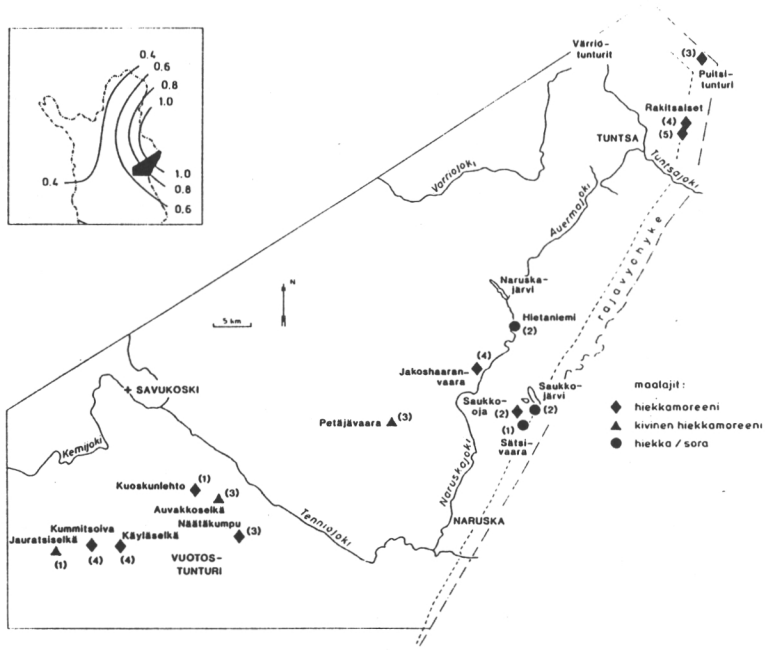
TUTKIMUSALUEEN KUVAUS

Tulosten tarkastelussa tutkimusalue on jaettu Vuotoksen alueeseen ja Naruska - Tuntsa-alueeseen. Vuotoksen länsiosassa kallioperä koostuu magnesium- ja rautapitoisista kivilajeista, nk. emäksisistä ja ultraemäksisistä vulkaniiteista. Itäosassa on kvartsiittia ja kiillegneissiä. Naruska - Tuntsa-alueella kallioperä on graniittigneissiä ja kiillegneissiä (Geological Map, Northern Fennoscandia 1987). Vuotoksen tutkimuskoealat sijoittuvat alumiinivaltaisen moreenialueen ulkopuolelle ja sen reunavyöhykkeelle (Kuoskunlehto - Auvakkoselkä - Näätäkumpu, kuva 1 ja 2). Naruskan pohjoispuolella ja varsinkin Tuntsan alueella moreenimaissa on runsaasti rapautuvaa alumiinia (kuva 2).

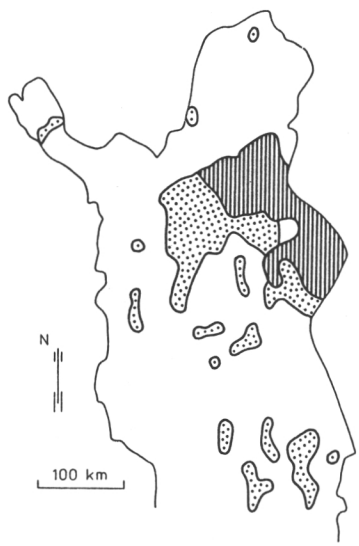
Koealat on valittu pistokoemaisesti onnistuneista ja epäonnistuneista metsänviljelykohteista Yli-Kemin hoitoalueesta. Onnistuneita metsäviljelykohteita ovat Jauratsiselkä, Kummitsoiva, Näätäkumpu, Petäjävaara ja Puitsitunturi (kuva 1). Epäonnistuneita metsänviljelykohteita ovat Käyläselkä, Kuoskunlehto, Auvakkoselkä, Jakoshaaranvaara ja Rakitsaiset (Uusvaara ja Romar 1988, Perä-Pohjolan piirikuntakonttori, Rovaniemi). Lisäksi on otettu maannosnäytteitä yksityisten omistamilta metsämailta (Hietaniemi, Saukko-oja, Saukkojärvi, Sätsivaara).

TUTKIMUSMENETELMÄT

Mineraalimaanäytteitä on otettu yhteensä 117 kpl lapiokairalla aurausvallista (palleprofiilista), vaon pohjalta, vakojen väliseltä koskemattomalta vyöhykkeeltä sekä aurausalueen reunalla kasvavan metsän muokkaamattomasta maasta. Näytteet on otettu heinäkuussa 1988. Eri maannoskerrokset on erotettu värisävyjen perusteella erillisiksi näytteiksi. Maanmuokkauksessa sekoittuneet kerrokset on erotettu primaariasemassa olevista podsolikerroksista (Räisänen 1989a). Eniten näytteitä on otettu erityyppisiä podsoliprofiileja edustavista huuh-



Kuva 1. Tutkimuskohteiden sijainti ja niiden maalajit. Näytteenottoprofiilien lukumäärä on merkitty kohteen nimen yhteyteen (suluissa). Vasemmassa yläkulmassa olevaan Pohjois-Suomen karttaan on merkitty kaukokulkeutumana tulevan rikkilaskeuman arvioitu määrä g/m^2 kohden vuodessa (rikin kaukokulkeutumismalli, ks. Forsius ym. 1988).



Kuva 2. Moreenin hienoaineksessa (raekoko 0,06 mm) olevan rapautuvan alumiinin suhteellinen osuus pohjamaakerroksessa (C) Pohjois-Suomessa. Rasteroiduilla alueilla rapautuvan alumiinin määrä on yli 1,5 paino-% ja sen suhde alumiinin kokonaispitoisuuteen on yli 0,2. Piste-rasteroiduilla alueilla alumiinin kokonaispitoisuus on 5,5 - 8,0 paino-% ja viivoitetulla alueella yli 8,0 paino-% (Suomen geokemiallinen ATLAS-kartasto 1989).

toutumis- (A) ja rikastumiskerroksista (B).

Eri maannoskerrosten happamoitumisaste, emäskationien (Ca, Mg, K, Na) ja alumiinin (Al) liukoisuus määritettiin ANC-uuttomenetelmällä (acid neutralizing capacity), mihin kuuluu suolaliuosuutto (0,025 M NH_4NO_3) ja happokuormituskoe kahdella eri happamuutta edustavalla uuttoliuoksella ($ANC_{pH3.3}$, $ANC_{pH2.3-2.4}$) (Räisänen 1987). ANC-menetelmä mittaa mineraalien rapautumiseen liittyvää happamoitumista, eri kationien liukoisuutta ja pH:n muutoksia puskurireaktioissa (Wyatt 1984, Räisänen 1988 ja 1989b).

ANC-menetelmää käytettiin myös savimineraalien ominaisuuksien tutkimiseen röntgendiffraktiolaitteella (Räisänen 1988 ja 1989a). Vertailevana menetelmänä käytettiin KCl-kyllästysmenetelmää (Dixon ja Weed 1977). Savimineraalit ja niiden ominaisuudet identifioitiin Dixonin ja Weedin (1977) sekä Brindleyn ja Brownin (1980) kokoamien viitteiden mukaan. Hienoaineksessa (raekoko 0,5 mm) olevan rapautuvan alumiinin ja raudan määrät mitattiin väkevällä aqua regia-osittaisuuttomenetelmällä (GTK, analyyttisen kemian laboratorio).

Hienoaineksen kiille- ja savimineraalit sekä alumiinin liukoisuus rapautumisreaktioissa

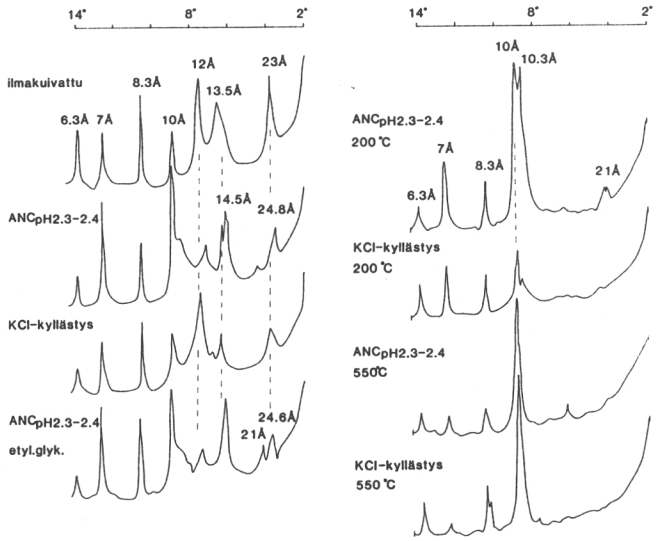
Hienoaineksen rapautuva aines koostuu kiillemineraaleista, savimineraaleista ja erilaisista rauta - alumiini -piisaostumista. Vuotoksen alueella podsolimaannoksiin on rikastunut suhteellisesti enemmän rapautuvaa rautaa kuin alumiinia verrattuna Naruska - Tuntsa-alueeseen. Rapautuvan alumiinin määrä rikastumiskerroksessa (B) ja heikosti muuttuneessa pohjamaassa (B+C/C) vaihteli Naruska - Tuntsa-alueella 0,8 - 4,0 paino-% ja Vuotoksen alueella 0,4 - 2,0 paino-% (Räisänen 1989a).

Naruskan pohjoispuolisilla alueilla, erityisesti Tuntsan alueella maannoksen pintaosassa savimineraalien alumiinihydroksidi-välikerrokset ovat labiileja (12 Å- ja 14 Å-heijastumapiikkien romahdus ja 10 Å-heijastuman voimakas kasvu 200 °C:ssa, kuva 3a). Podsoloitumisprosesseissa välikerroksiin polymeroituneet alumiinihydroksidit ovat muuttuneet liukoisiksi polymeerisiksi tai monomeerisiksi alumiinihydroksideiksi ja vapaaksi alumiinioniksi (vrt. Schwertmann ja Jackson 1964; April ym. 1986). Jacksonin (1963) mukaan polymeroituneet alumiinihydroksidit hajoavat monomeerisiksi hydroksideiksi, kun maaveden vetyionikonsentraatio kasvaa nopeasti. Hitaasti muodostuneen ja kemiallisesti tasapainottuneen alumiinihydroksidi-välikerroksisen savimineraalin kiderakenne muuttuu vasta korkeissa lämpötiloissa (500 - 550 °C) kiilletyyppiseksi rakenteeksi (kuva 3b) (Frink 1965, Rich 1968).

Naruska - Tuntsa-alueella havaitut kemialliset muutokset savimineraalien kiderakenteessa ovat samanlaisia kuin teollisuuden lähialueen maannoksissa Kuopiossa ja Siilinjärvellä (Räisänen 1988). Näitä muutoksia ei esiintynyt teollisuuden tausta-alueella, missä happaman laskeuman määrä on huomattavasti pienempi kuin teollisuuden lähialueilla (Räisänen 1989b).

Savimineraalien kiderakenteen labiilisuus ja rapautumisen voimistuminen heijastuu alumiinin liukoisuuteen. Naruska - Tuntsa-alueella happoliukoisen (ANC-uutoissa) alumiinin määrä savimineraalien välikerrostilassa on lisääntynyt 2 - 3-kertaisesti verrattuna Vuotoksen alueeseen (kuva 4). Samansuuntaisesti kasvaa myös herkkäliukoisen alumiinin määrä (Räisänen 1989a). Vuotoksen alueella rehevissä metsämaissa herkkäliukoisten emäskationien määrä on keskimäärin suurempi kuin Naruska - Tuntsa-alueella.

Aurausalueilla sekoittuneissa pintakerroksissa osa herkkäliukoisesta alumiinista on ilmeisesti huuhtoutunut ja sitoutunut heikosti savimineraalien rakenteeseen alemmissa maannoskerroksissa. Näiden profiilien pintakerroksissa on kuitenkin happoliukoista alumiinia lähes yhtä paljon kuin profiilin alaosissa, missä herkkäliukoisen alumiinin määrä on suurempi kuin profiilin yläosassa.

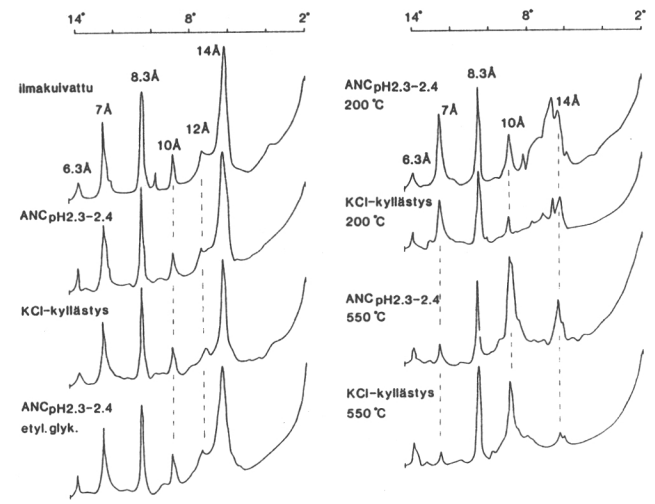


a) huuhtoutumiskerros (Y91/88)

kiilteet: biotiitti/serisiitti : 10 Å

savimineraalit:
- alumiini-hydroksidi-välikerroksinen biotiitti-smektiitti: 12 Å ja 23 Å
- alumiinihydroksidi-välikerroksinen vermikuliitti, osittain kiteinen kloriittisia seoskerroksia: 13,5 Å (leveä)
- kaoliniitti 7 Å

Kuva 3a. Kiille- ja savimineraalien röntgendiffraktio-heijastumat (2^0 - 14^0) Rakitsaisten alueen podsoliprofiilin huuhtoutumiskerrosta (A) edustavassa näytteessä (no Y91/88).

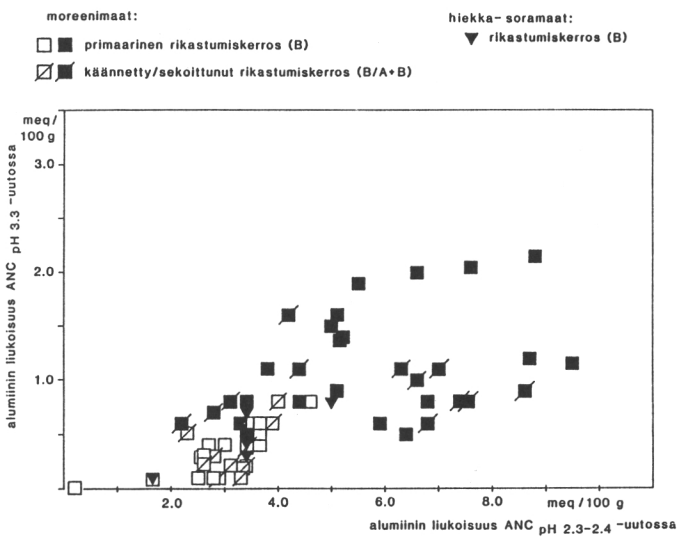


b) heikosti muuttunut pohjamaa (Y90/88)

kiilteet: biotiitti/serisiitti: 10 Å
kloriitti: 14 Å (terävä)

savimineraalit:
- alumiinihydroksidi-välikerroksinen biotiitti-vermikuliitti: 12 Å (heikko)
- alumiinihydroksidi-välikerroksinen vermikuliitti: 14 Å (kloriittisia seoskerroksia ?)
- kaoliniitti 7 Å

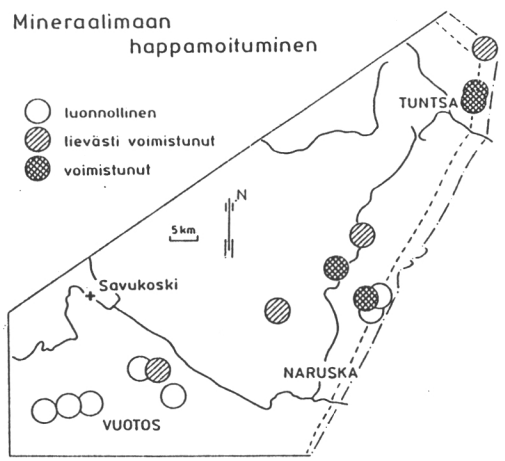
Kuva 3b. Kiille- ja savimineraalien röntgendiffraktio-heijastumat (2^0 - 4^0) Rakitsaisten alueen podsoliprofiilin heikosti muuttunutta pohjamaata (B+C/C) edustavassa näytteessä (no Y90/88).



Kuva 4. Alumiinin liukoisuus (happokuormituskoe, $ANC_{pH3.3}$- ja $ANC_{pH2.3-2.4}$-uutot) Vuotoksen alueen (avoin kuvio) ja Naruska - Tuntsa-alueen (musta kuvio) podsolin rikastumiskerroksessa.

Tutkimuskohteiden happamoitumisaste ja johtopäätökset

Mineraalimaan happamoituminen ja siihen liittyvä rapautuminen on selvästi voimistunut Naruska - Tuntsa-alueen joillakin koealoilla (kuva 5). Naruska - Tuntsa-alueella moreenin geokemialliset ja mineralogiset erityispiirteet muodostavat happamoitumiselle herkän maaperän (kuva 2). Luonnollinen happamoituminen ja happamien valuvesien kiihdyttämä rapautuminen on heikompaa Vuotoksen kalsium - magnesiumpitoisissa moreenimaannoksissa kuin Naruska - Tuntsa-alueen rapautuvaa alumiinia sisältävissä moreenimaannoksissa.



Kuva 5. Mineraalimaan happamoituminen Vuotos - Naruska - Tuntsa-alueella Itä-Lapissa.

Niissä maannoskerroksissa, missä happamoituminen on voimistunut, alumiinivaltaisten savimineraalien rapautuminen on lisääntynyt. Vetyionien lisääntyminen maavedessä kiihdyttää alumiinin liukenemista savimineraalien kidepinnoilta ja välikerroksista (Jackson 1963, vrt. April ym. 1986, Olson 1988). Alumiinin liukoisuus kasvaa lähellä pintaa olevissa rikastumiskerroksissa ja paikoin myös huuhtoutumiskerroksissa. Oireita voimistuvasta happamoitumisesta havaittiin satunnaisesti myös eri puolilla Lappia olevilla koealoilla (lievästi voimistunut happamoituminen) (Räisänen 1989b). Pohjois-Suomessa olevista 26 koealasta 14 koealaa edusti podsolimaannokselle luontaista happamoitumistasoa.

Aurauksen vaikutus maannoskerrosten happamoitumiseen ja siihen liittyvään alumiini-rapautumiseen tai emäskationien huuhtoutumiseen on vähäistä Jauratsiselän, Kummitsoivan ja Näätäkummun tutkimuskohteissa, mitkä ovat onnistuneita metsänviljelyalueita, sekä Käyläselän epäonnistuneessa metsänviljelykohteessa. Vuotoksen alueen kohteista ainoastaan Auvakkoselässä (epäonnistunut viljely) maannoksen happamoituminen on lievästi voimistunut aurausvallissa. Muutos ilmenee herkkäliukoisen alumiinin määrän kasvuna pintaan käännetyissä kerroksissa, mikä havaittiin jo aiemmissa tutkimuksissa Sodankylän hoitoalueen auratuissa metsänviljelykohteissa (Räisänen 1989b).

Naruska - Tuntsa-alueella aurauksen osuutta rapautumisen kasvuun ei voida erottaa happaman sadeveden aiheuttamasta happamoitumisesta. Savimineraalien rapautumisessa ja eri kationien liukoisuudessa ei ole merkittäviä eroja onnistuneiden ja epäonnistuneiden viljelyalojen välillä, eikä myöskään aurausvallien ja koskemattomien maannosprofiilien välillä. Rapautumisen voimistuminen ilmenee tutkimuskohteissa satunnaisesti eri näytteenottoprofiileissa. Samanlainen vaihtelu havaittiin myös teollisuuden lähialueiden näytteenottoprofiileissa (Räisänen 1989b).

Kirjallisuus

April, R. H., Hluchy, M. M. & Newton, R. M. 1986. The nature of vermiculite in Adirondack soils and till. Clays and Clay Min. 34: 549-556.

Brindley, G. W & Brown, G. 1980. Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. Min. Soc. Monograph No 5, London. 495 s.

Dixon, J. B. & Weed, S. B. 1977. Minerals in soil environments. Soil Sci. Soc. Am., Madison. 948 s.

Frink, C. R. 1965. Characterization of aluminium interlayers in soil clays. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 23: 379-382.

Forsius, M., Kinnunen, K., Kortelainen, P., Kämäri, J., Mannio, J. ja Verta, M. 1988. Järvien happamoituminen. Suomen Luonto 4/1988: 46-51.

Geological Map, Northern Fennoscandia 1:1 mill. 1987. Geological Surveys of Finland, Norway and Sweden, Helsinki.

Jackson, M. L. 1963. Aluminum bonding in soils: A unifying principle in soil science. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27. 10 s.

Olson, C. G. 1988. Clay-mineral contribution to the weahtering mechanisms in two contrasting watersheds. J. Soil Sci. 39: 457-467.

Rich, C. I. 1968. Hydroxy interlayers in expansible layer silicates. Clays and Clay Min. 16: 15-30.

Räisänen, M. L. 1987. Soluble base cations and aluminium in buffer reactions of podzols. Geomon, Int. Workshop on Geochem. and Monit. in Represent. Basins, Praque. s. 86-88.

Räisänen, M. L. 1988. Soil acidification in the surroundings of industrial areas in eastern Finland. 18. Nordiske Geologiske Vintermode, Kobenhavn 1988. s. 365-366.

Räisänen, M. L. 1989a. Mineraalimaan happamoituminen ja alumiinin liukoisuus aurausalueilla ja reunametsissä, Vuotos - Naruska - Tuntsa. Ympäristögeokemiallisia tutkimuksia. Väliraportti no S/49/0000/01/1989, geokemian osasto, GTK, Kuopio.

Räisänen, M. L. 1989b. Mineraalimaan happamoituminen eräillä koealoilla teollisuuden lähiympäristössä ja tausta-alueilla Suomessa. Tutkimusraportti, GTK, Espoo (painossa).

Schwertmann, U. & Jackson, M. L. 1964. Influence of hydroxy aluminum ions on pH titration curves of hydronium-aluminum clays. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28: 179-183.

Suomen geokemiallinen ATLAS-kartasto, 1989. GTK, Espoo (painossa).

Wyatt, P. H. 1984. A technique for determining the acid neutralizing capacity of till and other surficial sediments. Curr. Res., Part A, Geol. Surv. of Canada, Paper 84-1A: 597-600.

RAVINNE- JA RASKASMETALLIMITTAUKSIA KOLARIN SEMENTTITEHTAAN VAIKUTUSALUEELLA

Jouko Kortesharju

JOHDANTO

Tämä tutkimus suoritettiin Kolarin sementtitehtaan ympäristössä vuosina 1978-79. Partek Oy:n Kolarin sementtitehdas sijaitsee Kolarin Äkäsjoensuun kylässä n. 15 km Kolarin kirkonkylästä pohjoiseen, aivan Ruotsin rajan tuntumassa. Tehtaan lähistöllä on asutusta ja liikennettä melko vähän, joten ilman likaamisen kannalta kyseessä on tyypillinen pistelähde. Tehdas aloitti toimintansa vuonna 1968 ja 1970-luvulla sementtiä tuotettiin n. 200 000 tonnia vuodessa. Tehtaan raaka-aineena on avolouhoksesta saatava kalkkikivi. Polttoaineena tehdas käytti n. 30 000 tonnia puolalaista kivihiiltä vuodessa.

Sementtitehtaan ympäristössä havaittiin 1970-luvulla jonkin verran metsätuhoja. MML Erkki Numminen teki puustolle aiheutuneista tuhoista tutkimuksia 1970- ja 1980-luvuilla ja tehdas korvasi tutkimusten perusteella vauriot metsänomistajille. Tehtaan toiminnan alkuvuosina ilmansuojeluun ei kiinnitetty suurta huomiota. Sittemmin tehdas on ottanut käyttöön sähkö- ja syklonisuodattimia, joiden ansiosta hiukkaspäästöt ovat vähentyneet huomattavasti.

Kalkkipöly poikkeaa epäpuhtautena selvästi ilman tavallisimmista likaajista kuten rikkidioksidista ja raskasmetalleista. Se ei ole sinänsä myrkky, vaan pieninä määrinä lähinnä lannoite. Kalkkipäästölähteen lähistöllä kasvillisuuden rehevöityminen on tavallista, siinä suhteessa kalkin vaikutukset muistuttavat fosfori- tai typpipäästöjen vaikutuksia. Suurten kalkkipölymäärien vaikutukset ovat selvästi haitallisia, lähinnä pölyn mekaanisen vaikutuksen, mutta myös happamuuden voimakkaan vähenemisen takia.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli löytää materiaaleja, jotka ilmaisevat tehokkaasti kalkkipölyn määrää ja vaikutuksia tehtaan vaikutusalueella. Toisena tarkoituksena oli selvittää tehtaan muita mahdollisia ympäristöhaittoja. Lisäksi haluttiin tutkia, vastaisivatko eri materiaaleista mitatut alkuainepitoisuudet Ilmatieteen laitoksella laskettuja hiukkaslaskeuma-arvoja. Selvityksen pohjalta on tähän mennessä tehty yksi lyhyt tiedonanto (Kortesharju 1979) sekä yksi opinnäytetyö (Savonen 1988).

AINEISTO JA MENETELMÄT

Näytteet kerättiin kesinä 1978 ja 1979. Tutkimusmateriaaleja olivat kangasmetsän humus, männyn kaarna, seinäsammal, poronjäkälä ja luppo. Näytteitä kerättiin tehtaasta koilliseen, kaakkoon, lounaaseen ja pohjoisluoteeseen etäisyyksiltä 1/2, 1, 2, 4, 8 ja 16 km. Keräyspaikaksi valittiin aina kuiva mäntykangas. Kaarna ja luppo kerättiin männyiltä, joiden rinnankorkeusläpimitta ylitti 16 cm. Jokaista materiaalia kerättiin kultakin keräyspaikalta viisi näytettä, mikäli se oli mahdollista. Jäkäliä tehtaan lähistöllä ei esiintynyt ensinkään ja kauempanakin tehtaasta joko voimakas laidunnus (poronjäkälät) tai lajinmääritysvaikeudet (lupot) aiheuttivat aineistoon puutteita.

Näytteet kuivattiin ilmakuiviksi, minkä jälkeen niistä suoritettiin alkuainemääritykset tuhka-analyysin avulla. Mitatut alkuaineet olivat kalsium, magnesium, kalium, natrium,

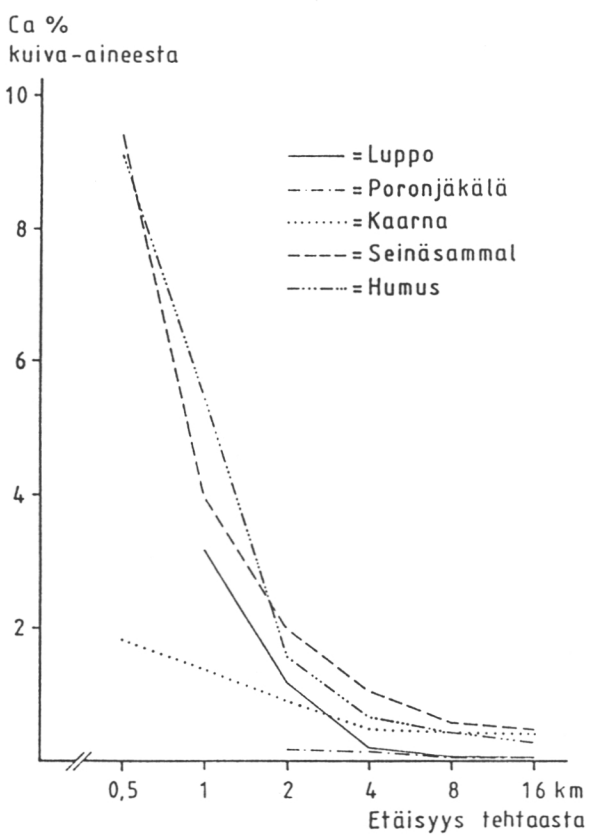
rauta, mangaani, sinkki, kupari ja lyijy. Lisäksi eräitä rikki-, typpi- ja fosforimäärityksiä teetettiin Viljavuuspalvelu Oy:ssä. Kaikki määritykset tehtiin pesemättömästä materiaalista.

Ilmatieteen laitoksella laskettiin Partek Oy:ltä saatujen päästötietojen perusteella keräyspaikkojen kokonaishiukkaslaskeumat. Laskeuman määrä laskettiin edellisen vuoden syyskuun alusta keräyshetkeen. Hiukkaslaskeuma-arvoja verrattiin materiaaleista mitattuihin alkuainepitoisuuksiin korrelaatioanalyysin avulla. Ilmansuojelutoimien johdosta sementtitehtaan päästöt olivat vuonna 1979 huomattavasti pienemmät kuin 1978.

TULOKSET

Eri materiaalien kalsiumpitoisuus

Tutkittujen materiaalien kalsiumpitoisuudesta oli selviä eroja (kuva 1). Humuksessa ja seinäsammalessa oli selvästi eniten kalkkia, kumpaakin oli tehtaan lähistöllä jopa n. 15 % kuiva-aineesta. Sekä humuksen että seinäsammalen kalsiumpitoisuus laski kauempana tehtaasta nopeasti. Etäisyys sementtitehtaasta selittikin n. 80 - 90 % näiden materiaalien kalsiumpitoisuuksista, kun laskuissa käytettiin sekä pitoisuuksien että etäisyyksien logaritmiarvoja. Vastaavaa regressioyhtälöä on käytetty hyvällä menestyksellä hiukkaspäästöjen ja etäisyyden suhteen selvittämiseen myös Harjavallassa (Hynninen 1986).



Kuva 1. Tutkittujen materiaalien kalsiumpitoisuus eri etäisyyksillä Kolarin sementtitehtaasta.

Männyn kaarnan, lupon ja poronjäkälän kalsiumpitoisuudet olivat selvästi matalampia, mutta niissäkin pitoisuuksien lasku oli selvä kauempana sementtitehtaasta.

Tehtaan lähiympäristössä ei esiintynyt jäkäliä, joten ne eivät näy kestävän korkeita kalkkilaskeumia. Lupot vaikuttavat tässä suhteessa kestävimmiltä, sillä niitä löytyi jo 1 km etäisyydellä tehtaasta, kun poronjäkäliä oli vasta keräyspaikoilla, jotka olivat 2 km päässä tehtaasta. Palleroporonjäkälä näytti olevan erityisen herkkä laji ja kahdella suunnalla sitä löytyi vasta 4 km etäisyydellä tehtaasta.

Taulukko 1. Tutkittujen materiaalien alkuainepitoisuuksien (μg^{-1}) vaihtelurajat. Taulukossa olevat luvut ovat keräyspaikkojen matalin ja korkein keskiarvo.

	Humus	Männyn kaarna	Seinä-sammal	Poron-jäkälä	Luppo
Ca	1353-113720	2670-30550	2405-140200	252-2581	229-31528
Mg	182-1720	68-515	470-2070	167-228	136-254
K	395-998	181-681	2910-6350	1730-2592	1688-2681
Na	40-545	19-88	52-279	48-78	43-229
Fe	437-3424	0-507	222-3540	75-177	47-554
Mn	54-891	20-112	245-1168	16-43	15-35
Zn	46-94	12-24	30-70	17-23	34-79
Cu	3-9	1-6	2-12	1-2	0-4
Pb	18-45	0-19	2-45	3-5	2-25
S	1190-2020	550-1640	1330-2330		
N	7000-13500				
P	710-1110				

Muitten alkuaineitten pitoisuuksista

Kaikkien tutkittujen alkuaineitten pitoisuuksissa (taulukko 1) tapahtui tehtaan läheidyydessä muutoksia. Yleensä pitoisuudet olivat tehtaan lähistöllä korkeimmillaan. Selvän poikkeuksen muodostivat pääravinteet typpi ja fosfori, joiden pitoisuus humuksessa oli tehtaan lähialueella alhaisin. Samoin oli kaliumin pitoisuus seinäsammalessa, vaikka muissa materiaaleissa myös kaliumpitoisuudet olivat tehtaan lähialueella korkeimmat.

Kalsiumim ohella magnesium- ja rautapitoisuudet olivat kohonneet tehtaan ympäristössä selvästi, yleensä 16 km etäsiyydellä tehtaasta mitattuihin arvoihin verrattuna kolmin-nelinkertaisiksi. Pitoisuudet olivat kuitenkin matalampia kuin Etelä-Suomen teollisuusalueilla. Rautapitoisuuksissa oli selvästi kaksi huippua: yksi tehtaan lähistöllä ja toinen kauempana tehtaasta, etenkin Rautuvaaran rautakaivoksen suunnalla. Johtopäätöksiä raudan alkuperästä voinee saada siitä, että ilmasta pääosin ravinteensa ottavan seinäsammalen rautapitoisuudet olivat sementtitehtaan lähistöllä samansuuruiset kuin humuksen, mutta 16 km etäisyydellä tehtaasta sammalessa oli enää alle neljäsosa humuksen rautapitoisuudesta.

Natrium-, mangaani-, sinkki-, kupari- ja lyijypitoisuudet olivat yleensä korkeimmillaan sementtitehtaan lähistöllä. Rikkiä ei mitattu kaikista materiaaleista, mutta mitatuissa materiaaleissa - seinäsammalessa, humuksessa ja kaarnassa - pitoisuudet olivat tehtaan lähistöllä selvästi kohonneet. Kauimpiin keräyspaikkoihin verrattuna rikkipitoisuudet olivat tehtaan lähiympäristössä liki kaksinkertaiset.

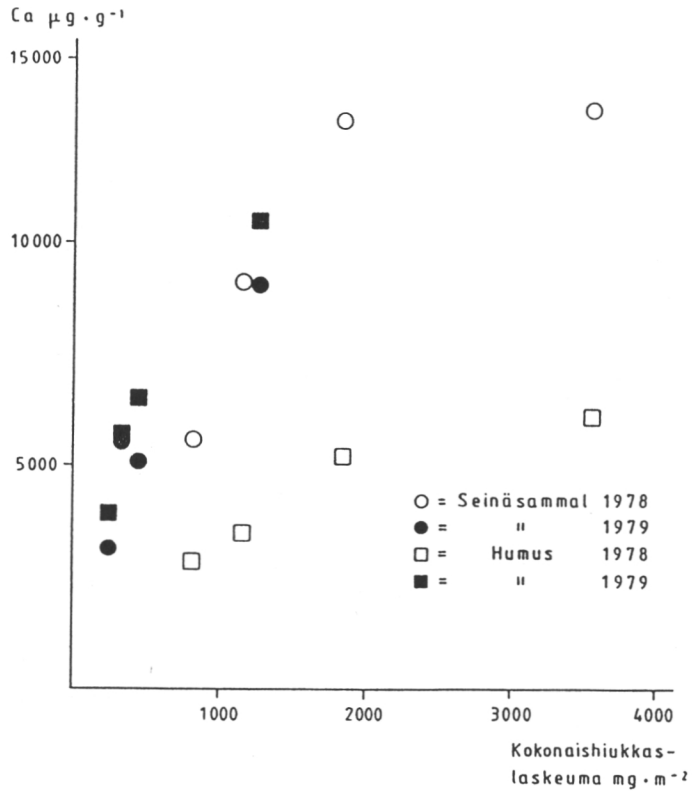
Eri materiaalien tehokkuus sementtitehtaan päästöjen selvityksessä

Materiaalien sopivuutta sementtitehtaan päästöjen selvittämiseen arvioitiin vertailemalla saatuja kalsiumpitoisuuksia Ilmatieteen laitoksella laskettuihin hiukkaslaskeumatietoihin. Muita alkuaineita ei käsitellä tässä yhteydessä niiden päästöjen vähäisyyden vuoksi.

Leviämismallin avulla saadun kokonaishiukkaslaskeuman ja eri materiaalien kalsiumpitoisuuden korrelaatio oli erittäin vahva (taulukko 2).

Taulukko 2. Leviämismallin avulla lasketun kokonaishiukkaslaskeuman ja tutkittujen materiaalien kalsiumpitoisuuden korrelaatio.

	r	p
Humus	0,573	<0,001
Männyn kaarna	0,696	<0,001
Seinäsammal	0,660	<0,001
Palleroporonjäkälä	0,790	<0,001
Kanadanluppo	0,353	<0,05
Mustaluppo	0,631	<0,001



Kuva 2. Kokonaishiukkaslaskeuman ja seinäsammalen sekä humuksen kalsiumpitoisuuden korrelaatio keräyspaikoilla, jotka olivat 4 - 8 km etäisyydellä sementtitehtaasta.

On mielenkiintoista, että vuosien 1978 ja 1979 välillä tapahtunut päästöjen väheneminen ei vaikuttanut suuresti korrelaatioihin. Eri materiaaleissa oli kuitenkin tässä suhteessa vaihtelua. Seinäsammal, poronjäkälä ja männyn kaarna korreloivat aina merkitsevästi laskeuma-arvojen kanssa, ryhmitettiinpä aineisto miten tahansa, esim. keräysvuoden tai keräysetäisyyden mukaan. Esimerkiksi laskeuman ja seinäsammalen kalsiumpitoisuuden korrelaatio oli merkitsevä, vaikka 4 ja 8 km keräyspaikkojen molempien vuosien tulokset yhdistettiin; humuksen kohdalla korrelaatiota ei ollut, kun vuodet yhdistettiin (kuva 2).

JOHTOPÄÄTÖKSET

Kaikki tutkitut materiaalit soveltuivat hyvin sementtitehtaan vaikutusten tutkimiseen. Jäkälien häviäminen osoitti pahiten likaantuneen alueen. Tämä selvitys ei tosin voi osoittaa jäkälien puuttumisen perimmäistä syytä, mikä voi olla liika emäksisyys, pölyn peittävä vaikutus tai näiden yhteisvaikutus. Myös kohonneilla rikkipitoisuuksilla on voinut olla haitallinen vaikutus. Muitten materiaalien käyttö näyttää riippuvan siitä, mitä halutaan selvittää. Sekä seinäsammalta että kaarnaa oli helppo kerätä ja molemmat antoivat hyvän kuvan viimeisimmän vuoden kalkkilaskeumasta. Humuksen antamat tulokset olivat epävarmempia ja sen kerääminen on - ainakin karuilla mäntykankailla - huomattavasti työläämpää kuin muiden materiaalien.

Kirjallisuus

Hynninen, V. 1986. Monitoring of airborne metal pollution with moss bags near an industrial source at Harjavalta, southwest Finland. Ann. Bot. Fennici 23: 83-90.

Kortesharju, J. 1979. Sementtitehtaan aiheuttamaa sukkessiota Kolarissa. Luonnon Tutkija 83: 81.

Savonen, K. 1988. Sementtitehtaan päästöt ja vaikutus kangashumuksen alkuainepitoisuuteen Peräpohjolassa ja Norrbottenissa. Laudatur-tutkielma. Turun yliopisto, Maantieteen laitos. 69 s. + 89 liites.

ERÄIDEN METSÄTUHOJEN ESIINTYMINEN POHJOIS-SUOMESSA VALTAKUNNAN METSIEN INVENTOINNIN MUKAAN

Eero Mattila

TIIVISTELMÄ

Inventoinnin näytteestä tutkittiin tuhojen esiintymistä 42 alueessa Lapin, Koillis-Suomen, Kainuun ja Pohjois-Pohjanmaan metsälautakuntien alueella. Maastoarviointi on tehty vuonna 1978 Perä-Lapissa (Utsjoki, Inari ja Enontekiö). Tarkastelualueen muissa osissa arviointi ajoittuu vuosille 1982-84. Tuholuokitukset tehtiin vain metsämaalla, jota Pohjois-Suomessa on 8,58 milj. ha.

Hirvituhoja oli inventointihetkellä 65 000 hehtaaria, mikä on 0,8 % metsämaan alasta. Suhteessa eniten hirvituhoja esiintyy tarkastelualueen lounais- ja eteläosissa. Pohjois-Pohjanmaan metsälautakunnan eteläosassa tuhoprosentti metsämaalla oli keskimäärin 2,2 %.

Myrskytuhoja tavattiin 384 000 hehtaarin alalla (4,5 % metsämaasta), josta vahvaksi tuhoksi luokiteltiin 101 000 ha. Tuhoprosentit olivat korkeimmat Lapin metsälautakunnan eteläosassa (10,0 %) ja keskiosassa (6,7 %) sekä Koillis-Suomen metsälautakunnan pohjoisosassa (8,3 %). Näillä alueilla tuhot olivat lähinnä Mauri- ja Jeremias-myrskyjen jälkiä. Muualla inventointi tehtiin jo ennen mainittuja myrskyjä. Samasta syystä Sannan ja Mantan aiheuttamat tuhot eivät sisälly tuloksiin koko tarkastelualueella.

Lumituhojen pinta-ala oli 70 000 ha (0,8 % metsämaasta), mihin sisältyy 22 000 ha vahvaa tuhoa. Pahimmat vaaramaiden tykkyalueet sijaitsevat Pohjois-Pohjanmaan ja Koillis-Suo-

men metsälautakuntien pohjoisosissa. Siellä tyypillinen piirre on korkea lumituhoprosentti varttuneissa ja uudistuskypsissä metsissä.

Männynversoruostetta havaittiin 86 000 hehtaarin alalla (1,0 %), suhteellisesti eniten Kainuun metsälautakunnassa.

Monituhoa, missä aiheuttajaksi ei voida selvästi osoittaa mitään edellä mainituista, arvioitiin olevan yhteensä 660 000 ha (7,7 %). Tähän ryhmään ei lueta yli-ikäisyyden rappeuttamia metsiä. Tuhoa oli runsaasti toisaalta taimikoissa ja toisaalta uudistuskypsissä metsissä. Perä-Lapin eteläpuolella tuhoprosentti kasvaa siirryttäessä pohjoiseen ja itään. Uudistuskypsissä metsissä tuhoprosentti oli korkein Koillis-Suomen metsälautakunnan eteläosassa (20,8 %).

Kokonaistuhoala Pohjois-Suomessa oli 1 265 000 ha, mikä on lähes 15 % metsämaasta. Pienaluetasolla kokonaistuhoprosentti ylitti 25 Sodankylän kunnan pohjoispuoliskossa, Rovaniemellä, Savukoskella ja mahdollisesti myös Kuivaniemellä. Tuhoprosentti alitti 5 Perä-Lapissa, Ristijärvellä, Paltamossa ja kolmessa Pohjois-Pohjanmaan eteläosan rinnakkaisessa pienalueessa.

Tuhoprosenttien summan perusteella arvioituna metsien terveys inventointihetkellä oli paras Perä-Lapissa ja huonoin Koillis-Suomen metsälautakunnan pohjoisosassa. Perä-Lapin tulokseen vaikuttaa mm. metsien mäntyvaltaisuus, pieni korkeus merenpinnasta ja taimistojen vähäisyys. Aikaisempi inventointiajankohta siellä, samoin kuin Kainuussa ja Pohjois-Pohjanmaalla, vaikeuttaa vertailua Keski- ja Etelä-Lapin tulosten kanssa ainakin myrskytuhojen osalta.

JOHDANTO

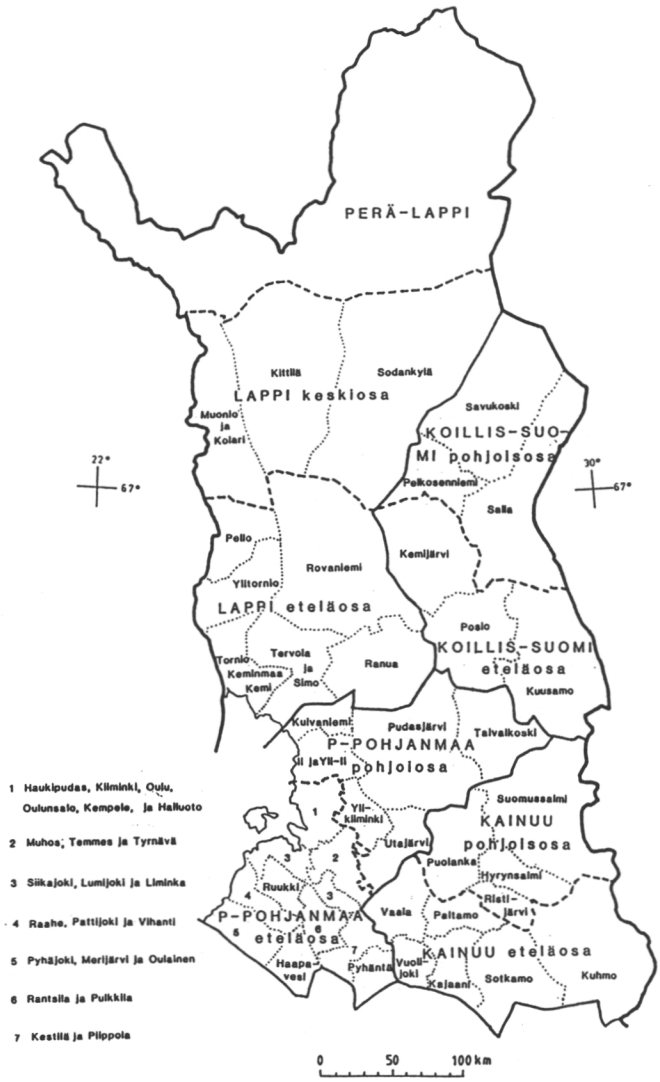
Tarkastelualueena on Lapin, Koillis-Suomen, Kainuun ja Pohjois-Pohjanmaan metsälautakunnat. Taulukossa 1 esitetään seitsemännen inventoinnin kuvioluokituksiin perustuvat tulokset seuraavilla osa-aluetasoilla (kuva 1):

1. pienalueet (yksi tai useampia kuntia), 41 kpl
2. metsälautakuntien pohjois- ja eteläosat, Lapin ml:ssa myös keskiosa, 9 kpl
3. vyöhykkeet, 5 kpl
4. metsälautakunnat, 4 kpl
5. lautakuntaryhmät, 2 kpl
6. Pohjois-Suomi

Taulukossa 2 esitetään tuhopinta-alan jakaumat kehitysluokkiin aluetasolla 2. Vastaavat kehitysluokkien pinta-alat nähdään taulukosta 3.

Alueen kasvaessa tulosten luotettavuus lisääntyy, mutta toisaalta suuralueilla aineisto on ajallisesti heterogeeninen jakautuen useammalle kuin yhdelle vuodelle. Mittausvuosi on 1982 Kainuussa ja Pohjois-Pohjanmaalla, 1983 Koillis-Suomessa (Kuusamossa 1982), 1984 Lapin ml:n etelä- ja keskiosissa (Rovaniemellä 1983) ja 1978 Perä-Lapissa. Koko aluetta koskevien tulosten osalta on siis erityisesti pidettävä mielessä Perä-Lapin 4-6 vuotta varhaisempi inventointiajankohta.

Inventoinnin kuviokohtaiset tuholuokitukset tehtiin vain metsämaalla. Taulukossa 1 esitetään myös arvioitu metsämaan ala ja arvion luotettavuutta kuvastava suhteellinen keskivirhe kaikilla aluetasoilla. Tuhojen esiintymistä osoittaviin prosenttilukuihin on syytä suhtautua hyvin varovaisesti, kun metsämaan keskivirhe on suurempi kuin 5-7 %. Virheen sietoraja on suurempi Kainuussa ja Pohjois-Pohjanmaalla, missä inventointi on tehty kokonaan maastoarviointina. Pohjoisempana maastotyötä on vähennetty ilmakuvatulkinnalla. Virhelukujen valossa vaikuttaa siltä, että tarkastelun pienaluejako on liian yksityiskohtainen Pohjois-Pohjanmaan ml:ssa.



Kuva 1. Tarkastelualue ja sen jako osa-alueisiin.

Taulukon 1 keskivirheitä arvioitaessa virhevarianssit on laskettu inventoinnin näytteestä pienaluetasolla käyttäen satunnaisotannan kaavoja. Näyte on kuitenkin kokonaan systemaattinen, mikä yleensä johtaa virheen yliarviointiin suuremmilla alueilla. Ongelma vähenee ja poistuu, mikäli pienaluejako on kyllin yksityiskohtainen ja alueyhdistelmien virhevarianssit lasketaan ko. osa-alueiden virhevarianssien summana. Juuri näin on menetelty tässä tutkielmassa. Toinen mahdollisuus on arvioida virhe suuremmilla alueilla käyttäen systemaattiselle otannalle kehitettyjä varianssiestimaattoreita, jotka ottavat huomioon alueen sisäisen systemaattisen vaihettumisen. Menettelyt ovat johtaneet käytännöllisesti katsoen samaan tulokseen (ks. Kuusela ym. 1986, s. 85, Mattila 1986, s. 15).

Taulukko 1. Metsämaan alan arvio (A) ja arvion prosentuaalinen keskivirhe (CE%) sekä eräiden tuhojen esiintyminen metsämaalla Pohjois-Suomen osa-alueissa valtakunnan metsien inventoinnin mukaan. Jokaisesta tuholajista annetaan kolme prosenttilukua (osuus metsämaan alasta): 1 = lievä tuho, 2 = vahva tuho ja 3 = yhteensä. Ajankohta on vuosi 1978 Perä-Lapissa, 1982 Kainuussa ja Pohjois-Pohjanmaalla ja vuodet 1982-84 Koillis-Suomessa sekä Lapin metsälautakunnan etelä- ja keskiosissa.

Osa-alue	A	CE%	Hirvi-tuho	Myrsky-tuho	Lumi-tuho	Moni-tuho	Männyn-versoruoste	Tuhot yhteensä
	km²	%	Osuus metsämaan alasta, %					
Perä-Lappi	7371,0	4,3	-	-	0,29	1,79	-	2,08
			-	0,63	-	2,07	-	2,70
			-	0,63	0,29	3,86	-	4,78
Kolari ja Muonio	2966,2	3,4	-	1,19	-	3,39	-	4,58
			-	-	-	4,00	-	4,00
			-	1,19	-	7,40	-	8,58
Kittilä	4724,0	2,9	0,15	3,83	1,77	8,51	0,18	14,45
			-	0,33	0,28	1,41	-	2,03
			0,15	4,16	2,06	9,92	0,18	16,48
Sodankylän pohjoisosa	3368,3	4,2	-	9,15	-	10,35	-	19,50
			-	2,60	-	3,55	-	6,15
			-	11,76	-	13,89	-	25,65
Sodankylän eteläosa	3668,4	3,2	0,17	7,49	-	8,79	-	16,44
			-	2,50	-	2,83	-	5,33
			0,17	9,99	-	11,62	-	21,77
Sodankylä	7036,7	2,6	0,09	8,29	-	9,54	-	17,91
			-	2,55	-	3,17	-	5,72
			0,09	10,84	-	12,71	-	23,63
Lapin metsälautakunnan keskiosa	14726,9	1,7	0,09	5,42	0,57	7,96	0,06	14,10
			-	1,32	0,09	2,78	-	4,19
			0,09	6,74	0,66	10,74	0,06	18,29
Rovaniemi, kaup. ja mlk	5422,5	2,1	0,76	10,84	-	5,24	0,13	16,98
			0,38	7,14	-	2,21	-	9,73
			1,14	17,98	-	7,45	0,13	26,70
Ranua	2167,6	3,9	1,82	2,94	-	3,90	0,75	9,40
			-	-	-	0,85	-	0,85
			1,82	2,94	-	4,75	0,75	10,25
Simo ja Tervola	2028,9	4,2	2,49	4,87	-	5,82	1,25	14,43
			3,33	0,36	-	2,91	1,43	8,02
			5,82	5,23	-	8,73	2,67	22,45
Kemi, Keminmaa ja Tornio	1370,0	5,6	1,20	6,38	-	3,33	-	10,91
			-	1,85	-	3,97	0,46	6,28
			1,20	8,23	-	7,30	0,46	17,19
Ylitornio	1488,3	4,6	-	4,63	-	3,49	1,14	9,25
			-	-	-	4,95	2,27	7,22
			-	4,63	-	8,44	3,41	16,48

Taulukko 1 jatkuu (sivu 2)

Osa-alue	A	CE%	Hirvi-tuho	Myrsky-tuho	Lumi-tuho	Moni-tuho	Männyn-versoruoste	Tuhot yhteensä
	km²	%	Osuus metsämaan alasta, %					
Pello	1285,7	5,0	-	3,55	-	16,06	1,03	20,63
			-	1,12	-	0,65	-	1,77
			-	4,67	-	16,71	1,03	22,41
Lapin metsälautakunnan eteläosa	13762,9	1,5	1,08	6,89	-	5,75	0,58	14,29
			0,64	3,13	-	2,41	0,50	6,68
			1,72	10,02	-	8,16	1,08	20,97
Lapin metsälautakunta	35860,8	1,3	0,45	4,87	0,29	5,84	0,25	11,70
			0,25	1,87	0,04	2,49	0,19	4,84
			0,70	6,74	0,33	8,34	0,44	16,54
Savukoski	4388,9	2,4	-	8,15	-	9,03	-	17,18
			-	3,19	0,70	7,40	-	11,28
			-	11,34	0,70	16,43	-	28,46
Salla	3749,5	3,1	-	2,30	1,39	4,66	0,29	8,65
			-	1,23	1,00	3,21	-	5,44
			-	3,53	2,40	7,87	0,29	14,09
Pelkosenniemi	1153,4	7,0	-	8,54	4,56	3,98	-	17,09
			-	2,91	-	-	-	2,91
			-	11,46	4,56	3,98	-	20,00
Koillis-Suomen metsälautakunnan pohjoisosa	9291,8	1,9	-	5,90	1,15	6,65	0,11	13,81
			-	2,38	0,73	4,78	-	7,89
			-	8,28	1,87	11,43	0,11	21,70
Kemijärvi	2459,5	3,6	-	7,30	-	3,45	-	10,75
			-	0,39	-	4,77	-	5,16
			-	7,68	-	8,22	-	15,90
Posio	2152,9	3,4	0,12	0,40	-	7,40	0,98	8,90
			-	0,75	0,92	2,77	-	4,45
			0,12	1,16	0,92	10,17	0,98	13,35
Kuusamo	3362,4	2,6	-	0,95	0,81	5,46	-	7,21
			0,44	-	0,26	11,68	-	12,38
			0,44	0,95	1,06	17,14	-	19,59
Koillis-Suomen metsälautakunnan eteläosa	7974,7	1,8	0,03	2,81	0,34	5,34	0,26	8,78
			0,18	0,32	0,35	7,14	-	7,99
			0,21	3,13	0,69	12,48	0,26	16,77
Koillis-Suomen metsälautakunta	17266,6	1,3	0,01	4,50	0,78	6,06	0,18	11,53
			0,08	1,45	0,56	5,85	-	7,94
			0,10	5,95	1,34	11,90	0,18	19,46
Lapin keskiosa ja Koillis-Suomen pohjoisosa	24018,7	1,3	0,06	5,61	0,80	7,45	0,08	13,99
			-	1,74	0,34	3,56	-	5,64
			0,06	7,35	1,14	11,01	0,08	19,63
Lapin ja Koillis-Suomen eteläosat	21737,6	1,2	0,70	5,41	0,12	5,60	0,46	12,29
			0,47	2,11	0,13	4,12	0,32	7,16
			1,17	7,52	0,25	9,73	0,78	19,45

Taulukko 1 jatkuu (sivu 3)

Osa-alue	A	CE%	Hirvi-tuho	Myrsky-tuho	Lumi-tuho	Moni-tuho	Männyn-versoruoste	Tuhot yhteensä
	km²	%	Osuus metsämaan alasta, %					
Yhteensä Lapin ja	53127,4	1,0	0,31	4,75	0,45	5,91	0,23	11,64
Koillis-Suomen			0,19	1,73	0,21	3,58	0,13	5,85
metsälautakunnat			0,50	6,48	0,66	9,50	0,36	17,49
Suomussalmi	3866,5	2,0	0,76	0,44	2,11	4,50	1,43	9,24
			0,04	0,12	0,08	2,39	0,64	3,26
			0,80	0,56	2,19	6,89	2,07	12,50
Puolanka	1865,1	2,9	-	0,49	0,33	4,01	1,06	5,90
			-	-	0,16	2,13	0,08	2,38
			-	0,49	0,49	6,14	1,15	8,27
Hyrynsalmi	1113,3	3,7	-	0,31	0,46	4,13	3,36	8,26
			-	-	-	2,14	0,76	2,91
			-	0,31	0,46	6,27	4,13	11,16
Ristijärvi	721,0	3,5	-	-	0,23	1,14	1,14	2,51
			-	0,23	-	0,46	0,68	1,37
			-	0,23	0,23	1,60	1,83	3,88
Kainuun metsälautakunnan	7565,9	1,4	0,39	0,39	1,26	4,02	1,58	7,65
pohjoisosa			0,02	0,08	0,08	2,11	0,52	2,82
			0,41	0,48	1,35	6,13	2,09	10,47
Vaala	827,8	6,5	0,36	0,18	-	3,08	0,72	4,35
			0,18	0,18	-	0,91	-	1,27
			0,54	0,36	-	3,99	0,72	5,62
Paltamo	768,3	3,0	0,20	0,40	0,40	1,98	0,20	3,16
			-	-	-	-	-	-
			0,20	0,40	0,40	1,98	0,20	3,16
Vuolijoki	499,8	5,9	-	-	-	3,19	4,06	7,25
			-	-	-	2,03	-	2,03
			-	-	-	5,22	4,06	9,28
Kajaani	872,4	5,6	0,33	-	-	1,66	3,48	5,47
			-	-	-	0,33	-	0,33
			0,33	-	-	1,99	3,48	5,80
Sotkamo	2193,6	2,6	0,71	0,64	0,78	2,76	1,42	6,31
			0,14	0,07	0,85	0,57	0,85	2,48
			0,85	0,71	1,63	3,33	2,27	8,79
Kuhmo	3869,6	1,9	-	0,61	0,53	2,59	3,44	7,16
			0,04	0,08	0,04	2,22	1,25	3,64
			0,04	0,69	0,57	4,81	4,69	10,80
Kainuun metsälautakunnan	9031,5	1,3	0,25	0,46	0,44	2,56	2,46	6,18
eteläosa			0,07	0,07	0,22	1,31	0,73	2,39
			0,32	0,53	0,66	3,87	3,19	8,58
Kainuun metsälautakunta	16597,4	1,0	0,32	0,43	0,81	3,22	2,06	6,84
			0,05	0,07	0,16	1,67	0,63	2,59
			0,36	0,50	0,97	4,89	2,70	9,43

Taulukko 1 jatkuu (sivu 4)

Osa-alue	A	CE%	Hirvi-tuho	Myrsky-tuho	Lumi-tuho	Moni-tuho	Männyn-versoruoste	Tuhot yhteensä
	km²	%	Osuus metsämaan alasta, %					
Taivalkoski	1911,3	3,2	0,08	0,88	3,78	5,23	0,32	10,30
			0,24	0,80	1,13	2,74	1,61	6,52
			0,32	1,69	4,91	7,96	1,93	16,81
Pudasjärvi	3495,9	3,8	1,07	0,75	0,47	4,52	0,42	7,23
			0,84	0,33	1,87	1,49	1,12	5,64
			1,91	1,07	2,33	6,02	1,54	12,87
Kuivaniemi	632,8	6,2	1,08	10,20	0,22	2,39	2,82	16,70
			1,95	4,56	-	3,47	4,99	14,97
			3,04	14,75	0,22	5,86	7,81	31,67
Ii ja Yli-Ii	897,7	4,2	2,21	4,75	0,17	7,13	0,85	15,11
			1,02	0,51	-	0,51	-	2,04
			3,23	5,26	0,17	7,64	0,85	17,15
Yli-Kiiminki	682,9	6,8	2,60	1,73	-	2,60	0,29	7,23
			0,58	1,45	-	-	-	2,02
			3,18	3,18	-	2,60	0,29	9,25
Utajärvi	1130,9	5,0	1,08	0,27	0,27	1,35	0,54	3,52
			0,54	-	-	2,17	-	2,71
			1,62	0,27	0,27	3,52	0,54	6,22
Pohjois-Pohjanmaan metsälautakunnan pohjoisosa	8751,5	2,0	1,07	1,99	1,10	4,24	0,65	9,05
			0,76	0,83	0,98	1,83	1,21	5,61
			1,83	2,83	2,08	6,07	1,87	14,67
Haukipudas, Kiiminki, Oulu Oulunsalo, Kempele ja Hailuoto	1021,3	6,3	2,28	2,14	-	3,71	-	8,13
			1,28	-	-	0,43	-	1,71
			3,57	2,14	-	4,14	-	9,84
Muhos, Temmes ja Tyrnävä	826,4	8,4	1,78	1,98	0,20	2,77	0,59	7,31
			1,98	-	-	0,79	0,20	2,96
			3,75	1,98	0,20	3,56	0,79	10,28
Siikajoki, Lumijoki ja Liminka	736,9	9,5	3,66	1,08	0,22	5,16	0,43	10,54
			0,22	0,43	-	0,22	0,43	1,29
			3,87	1,51	0,22	5,38	0,86	11,83
Raahe, Pattijoki ja Vihanti	632,8	9,3	0,79	0,53	0,79	2,37	1,32	5,79
			0,26	-	-	-	-	0,26
			1,05	0,53	0,79	2,37	1,32	6,05
Ruukki	467,6	9,4	1,66	0,33	0,33	2,32	0,99	5,63
			0,33	-	-	-	1,32	1,66
			1,99	0,33	0,33	2,32	2,32	7,28
Pyhäjoki, Merijärvi ja Oulainen	944,0	6,0	1,19	0,34	-	2,21	-	3,74
			0,34	-	-	0,34	-	0,68
			1,53	0,34	-	2,55	-	4,42
Haapavesi	767,1	7,8	1,71	0,21	0,43	0,43	0,43	3,21
			0,64	-	-	-	-	0,64
			2,35	0,21	0,43	0,43	0,43	3,85

Taulukko 1 jatkuu (sivu 5)

Osa-alue	A	CE%	Hirvi-tuho	Myrsky-tuho	Lumi-tuho	Moni-tuho	Männyn-versoruoste	Tuhot yhteensä
	km²	%	Osuus metsämaan alasta, %					
Rantsila ja Pulkkila	648,3	5,7	-	-	-	0,25	-	0,25
			0,50	-	-	-	-	0,50
			0,50	-	-	0,25	-	0,76
Kestilä ja Piippola	759,4	5,1	1,27	0,42	-	0,85	0,64	3,18
			0,21	-	-	1,48	1,27	2,97
			1,48	0,42	-	2,33	1,91	6,14
Pyhäntä	470,4	11,1	0,33	0,33	-	5,28	0,66	6,60
			-	-	-	-	0,66	0,66
			0,33	0,33	-	5,28	1,32	7,26
Pohjois-Pohjanmaan metsälautakunnan eteläosa	7274,2	2,4	1,57	0,85	0,17	2,53	0,44	5,57
			0,65	0,04	-	0,37	0,33	1,40
			2,23	0,89	0,17	2,90	0,76	6,96
Pohjois-Pohjanmaan metsälautakunta	16025,7	1,5	1,30	1,47	0,68	3,46	0,55	7,47
			0,71	0,48	0,53	1,17	0,81	3,70
			2,01	1,95	1,22	4,63	1,37	11,17
Kainuun ja Pohjois-Pohjanmaan pohjoisosat	16317,4	1,2	0,75	1,25	1,18	4,14	1,08	8,40
			0,42	0,48	0,56	1,96	0,89	4,31
			1,17	1,73	1,74	6,10	1,97	12,71
Kainuun ja Pohjois-Pohjanmaan eteläosat	16305,7	1,3	0,83	0,63	0,32	2,55	1,58	5,91
			0,32	0,06	0,12	0,90	0,55	1,96
			1,16	0,69	0,45	3,45	2,13	7,87
Yhteensä Kainuun ja Pohjois-Pohjanmaan metsälautakunnat	32623,1	0,9	0,79	0,94	0,75	3,34	1,33	7,15
			0,37	0,27	0,34	1,43	0,72	3,13
			1,16	1,21	1,09	4,77	2,05	10,28
POHJOIS-SUOMI	85750,5	0,7	0,50	3,30	0,56	4,93	0,64	9,93
			0,26	1,18	0,26	2,76	0,35	4,82
			0,76	4,48	0,82	7,70	1,00	14,75

Inventoinnissa tuho rekisteröitiin, jos ihminen tai luonto ei arviointiajankohtaan mennessä ollut täysin korjannut tuhon jälkiä. Jos tuulenkaadot oli työstetty puutavaralajeiksi, myrskytuhoa ei kuvioluokituksiin merkitty. Lievä ja vahva tuho huomioitiin erikseen. Tuho katsottiin vahvaksi, jos se oli muuttanut kehitysluokkaa tai pudottanut metsikön laatua ainakin yhdellä luokalla inventoinnin asteikossa. Koko tarkastelualueella keskimäärin suhde lievän ja vahvan tuhon esiintymistiheyksien välillä oli noin 2:1. Seuraavassa käydään lyhyesti läpi tuhoinventoinnin päätulokset. Tuholajit on tarkemmin selostettu kenttätyön ohjeissa (Valtakunnan ... 1982, s. 30).

Taulukko 2. Tuhopinta-ala ja sen jakauma kehitysluokkiin tuholajeittain Pohjois-Suomen asa-alueissa (osa-aluetaso 2).

Alue	Tuho-laji[1]	Tuho-ala	Kehitysluokka[2]						
			1	2	3	4	5	6	7
		ha	%						
Perä-Lappi	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	4644	-	-	-	-	-	100	-
	3	2138	-	-	-	100	-	-	-
	4	28452	-	-	-	41	-	31	27
	5	-	-	-	-	-	-	-	-
Lapin ml:n	1	1325	-	45	55	-	-	-	-
keskiosa	2	99259	7	2	3	15	25	42	7
	3	9720	-	-	-	41	20	15	24
	4	158167	1	18	20	8	11	42	-
	5	884	-	-	100	-	-	-	-
Lapin ml:n	1	23672	-	-	69	31	-	-	-
eteläosa	2	137904	8	-	3	22	28	32	7
	3	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	112305	1	10	26	14	14	34	2
	5	14864	-	49	51	-	-	-	-
Kollis-Suomen ml:n	1	-	-	-	-	-	-	-	-
pohjoisosa	2	76936	10	-	4	12	20	43	11
	3	17376	-	-	11	-	11	78	-
	4	106205	1	25	18	9	11	36	1
	5	1022	-	100	-	-	-	-	-
Koillis-Suomen ml:n	1	1675	-	-	100	-	-	-	-
eteläosa	2	24961	7	-	6	35	13	16	23
	3	5502	-	-	-	15	36	49	-
	4	99524	1	10	28	7	12	36	6
	5	2073	-	-	100	-	-	-	-
Kainuun ml:n	1	3102	-	20	71	10	-	-	-
pohjoisosa	2	3632	9	-	-	9	17	60	4
	3	10214	-	21	46	9	5	18	-
	4	46379	1	16	26	5	8	44	-
	5	15813	-	35	65	-	-	-	-
Kainuun ml:n	1	2890	-	-	74	21	-	-	5
eteläosa	2	4787	10	3	3	3	7	71	3
	3	5961	-	5	34	8	31	23	-
	4	34952	2	19	45	13	7	14	-
	5	28810	1	44	55	-	-	-	-
Pohjois-Pohjanmaan	1	16015	1	9	55	34	-	-	1
ml:n pohjoisosa	2	24767	17	3	3	13	35	20	9
	3	18203	1	-	4	16	17	60	2
	4	53122	1	15	29	24	7	24	-
	5	16365	-	32	68	-	-	-	-
Pohjois-Pohjanmaan	1	16221	1	11	54	33	-	-	1
ml:n eteläosa	2	6474	7	5	2	25	37	24	-
	3	1237	-	-	-	88	12	-	-
	4	21095	-	9	15	24	32	20	-
	5	5528	-	26	74	-	-	-	-

[1] Tuholaji: 1 = hirvituho, 2 = myrskytuho, 3 = lumituho, 4 = monituho ja 5 = männynversoruoste

[2] Kehitysluokka: 1 = aukea tai siemenpuusto, 2 = pieni taimisto, 3 = varttunut taimisto, 4 = nuori harvennusmetsä, 5 = varttunut harvennusmetsä, 6 = uudistuskypsä metsä ja 7 = suojuspuumetsä

Taulukko 3. Kehitysluokkien pinta-alat ja osuudet metsämaan alasta Pohjois-Suomen osa-alueissa (osa-aluetaso 2).

Alue		Kehitysluokka [1]							Yht.
		1	2	3	4	5	6	7	
Perä-Lappi	km^2	8	175	684	1323	1068	3235	878	7371
	%	0,1	2,4	9,3	18,0	14,5	43,9	11,9	100,0
Lapin ml:n	"	851	951	2037	4069	2261	4031	527	14727
keskiosa	"	5,8	6,5	13,8	27,6	15,4	27,4	3,6	100,0
Lapin ml:n	"	712	914	3489	3899	2052	2442	256	13763
eteläosa	"	5,2	6,6	25,4	28,3	14,9	17,7	1,9	100,0
Koillis-Suomen	km^2	713	768	1579	1448	1218	3273	294	9292
ml:n pohjoisosa	%	7,7	8,3	17,0	15,6	13,1	35,2	3,2	100,0
Koillis-Suomen	"	527	774	1905	1637	1160	1711	260	7975
ml:n eteläosa	"	6,6	9,7	23,9	20,5	14,5	21,5	3,3	100,0
Kainuun ml:n	km^2	528	744	1761	1358	1071	1955	148	7566
pohjoisosa	%	7,0	9,8	23,3	18,0	14,2	25,8	2,0	100,0
Kainuun ml:n	"	393	986	2351	2182	1356	1663	101	9032
eteläosa	"	4,4	10,9	26,0	24,2	15,0	18,4	1,1	100,0
Pohjois-Pohjanmaan	km^2	398	532	2226	2687	1274	1456	178	8752
ml:n pohjoisosa	%	4,6	6,1	25,4	30,7	14,6	16,6	2,0	100,0
Pohjois-Pohjanmaan	"	216	338	1408	2896	1723	608	86	7274
ml:n eteläosa	"	3,0	4,6	19,4	39,8	23,7	8,4	1,2	100,0

[1] Katso taulukko 2, alaviitta 2.

TULOKSIA

Hirvituhoja ei inventoinnin näytteessä esiintynyt Perä-Lapissa ja Koillis-Suomen ml:n pohjoisosassa. Lounaaseen ja etelään mentäessä tuhot lisääntyvät ja Pohjois-Pohjanmaan ml:n eteläosassa niiden osuus metsämaan alasta oli 2,23 % vuonna 1982. Koko tarkastelualueen tuhoala oli 65 000 ha, mistä 22 000 ha luokiteltiin vahvaksi. Hirvituhoja esiintyy pääasiassa taimikoissa ja jonkin verran nuorissa harvennusmetsissä sekä alikasvoksissa. Pohjois-Pohjanmaan ml:ssa 35 % tuhoalasta oli muissa kuin taimikkokehitysluokissa. Seuraavassa asetelmassa nähdään rinnan taimikoiden ja hirvituhojen esiintymisprosentit metsämaalla osa-aluetasolla 2:

Alue		Taimikoiden osuus	Hirvituhot Osuus	Ala
		%	%	ha
PL[1)]	Perä-Lappi	11,7	-	-
LK	Lapin ml:n keskiosa	20,3	0,1	1325
LE	" eteläosa	32,0	1,7	23672
KSP	Koillis-Suomen ml:n pohjoisosa	25,3	-	-
KSE	" eteläosa	33,6	0,2	1675
KP	Kainuun ml:n pohjoisosa	33,1	0,4	3102
KE	" eteläosa	36,9	0,3	2890
PPP	Pohjois-Pohjanmaan ml:n p-osa	31,5	1,8	16015
PPE	" e-osa	24,0	2,2	16221

[1)] Jatkotarkastelussa alueet osoitetaan näillä lyhenteillä

Tuloksista ilmenee, että taimikoiden pinta-ala sinänsä selittää jokseenkin huonosti hirvituhojen määrää. Tärkein vaikuttava tekijä lienee hirvikannan tiheys, jota säätelevät sekä luonto että ihminen yhdessä. Toisaalta hirvien ohjautuminen taimikoihin on hyvin monisyinen ilmiö, johon vaikuttavat mm. taimikoiden laatu ja alueellinen jakauma.

Myrskytuhoja oli inventoinnin ajankohtana koko tarkastelualueella 384 000 ha (4,5 %), mistä vahvaa tuhoa oli 101 000 ha. Tämän tuholajin osalta erityisesti tuloksiin vaikuttaa inventointivuosi. Mauri-myrskyn (22.9.1982) jäljet näkyvät hyvin tuloksissa osa-alueissa LE ja LK (inventointi 1984) sekä KSP (1983), joissa tuhoprosentit olivat 10,0, 6,7 ja 8,3. On ilmeistä, että osa tuulenkaatometsiköistä oli jo laitettu kuntoon arviointiajankohtaan mennessä, erityisesti osa-alueissa LE ja LK. Toisaalta Jeremias (26.6.1984) nostaa tuholukuja, joskin sen aiheuttamat vahingot olivat suurimmat osa-alueessa KSP eivätkä siellä näy tuloksissa.

Mauri-myrsky kaatoi puita myös Inarissa (inventointi 1978) ja Pohjois-Pohjanmaan pohjoisosissa (inventointi kesällä 1982), joita tuhoja ei siis sisälly tuloksiin. Sama koskee Sannan (11.8.1985) tuhoja Pohjois-Pohjanmaalla ja Mantan (26.10.1985) tuhoja Länsi-Lapissa, jotka tuhot nekin syntyivät vasta inventointiajankohdan jälkeen.

Lumituhoja havaittiin yhteensä 70 000 hehtaarin alalla (vahvaa tuhoa 22 000 ha). Pienalueista pahimpia tuhoalueita ovat Pudasjärvi (2,3 %), Taivalkoski (4,9 %), Suomussalmi (2,2 %), Kittilä (2,1 %) ja Salla (2,4 %). Tuhoprosentti on korkea myös Pelkosenniemellä (4,6 %), mutta alueen pienuudesta johtuen tulos on epävarma. Maantieteelliset, ilmastolliset ja topografiset seikat yhdessä metsien puulajivaltaisuuden ja kehitysluokkarakenteen kanssa selittävät lumituhojen alueellista jakaumaa. Seuraavassa asetelmassa tuhon esiintymistä tarkastellaan kehitysluokkaryhmissä, joita ovat 1) siemen- ja suojuspuustot (+ aukeat), 2) taimikot ja nuoret harvennusmetsät ja 3) varttuneet harvennusmetsät ja uudistuskypsät metsät. Tuhoalat ja -prosentit näissä kehitysluokkaryhmissä osa-alueittain (aluetaso 2) ovat:

Alue	1		2		3		Yhteensä	
	ha	%[1)]	ha	%	ha	%	ha	%
PL	-	-	2100	1,0	-	-	2100	0,3
LK	2300	1,7	4000	0,6	3400	0,6	9700	0,7
LE	-	-	-	-	-	-	-	-
KSP	-	-	1900	0,5	15500	3,5	17400	1,9
KSE	-	-	900	0,2	4600	1,6	5500	0,7
KP	-	-	7800	2,0	2400	0,8	10200	1,4
KE	-	-	2800	0,5	3200	1,1	6000	0,7
PPP	500	0,8	3600	0,7	14100	5,2	18200	2,1
PPE	-	-	1100	0,2	100	0,1	1200	0,2

[1)] Osuus kehitysluokkaryhmän pinta-alasta

Ryhmän 3 lumituhot ovat enimmäkseen vaara- ja lakimetsien tykkytuhoja. Tuhoprosentti ryhmässä 3 paljastaa Pohjois-Suomen pahimmiksi tykkyalueiksi osa-alueet PPP, KSP ja KSE. Koillis-Suomessa tykyn runsautta selittävät maaston yleinen korkeus ja alueen maantieteellinen sijainti. Pohjois-Pohjanmaan pohjoisosassa vaikuttavat Perämeren läheisyys ja topografia. 96 % osa-alueen PPP lumituhoalasta on Taivalkoskella ja Pudasjärvellä, missä taas 79 % lumituhoista on kehitysluokkaryhmässä 3. Ryhmän 3 tuhoprosentti on 11,7 Taivalkoskella ja 6,1 Pudasjärvellä.

Monituhoa havaittiin yhteensä 660 000 ha (7,7 %), johon sisältyy vahvaa tuhoa 237 000 ha. Tämä kollektiiviluokka on selvästi yleisin 'tuholaji' Pohjois-Suomessa. Luokkaan kuuluvat kaikki muut tuhot kuin männynversoruoste ja edellä käsitellyt tuhot. Esimerkkeinä olkoon maannousema, kulo ja halla. Yli-ikäisyyden rappeuttamat metsät eivät kuulu luokkaan. On ilmeistä, että tähän luokkaan sisältyy eniten sellaisia huonokuntoisia metsiköitä, joissa samanaikaisesti esiintyy useita eri tuhoja lievänä.

Suuri osa monituhoalasta on taimikoissa ja uudistuskypsissä metsissä. Seuraavassa asetelmassa näkyvät tuhoprosentit erikseen metsämaalla, taimikoissa ja uudistuskypsissä metsissä osa-alueittain (aluetaso 2):

Alue	Metsä-maa	Taimi-kot	Uud.kypsät metsät
PL	3,9	-	2,8
LK	10,7	20,2	16,4
LE	8,2	9,2	15,5
KSP	11,4	19,3	11,7
KSE	12,5	14,0	20,8
KP	6,1	7,6	10,5
KE	3,9	6,8	3,0
PPP	6,1	8,4	8,9
PPE	2,9	2,9	7,1

Monituhoprosentti metsämaalla nousee siirryttäessä tarkastelualueella pohjoiseen ja itään, mistä säännöstä Perä-Lappi tekee selvän poikkeuksen. Johdonmukaisimmat erot monituhoprosenteissa etelän eduksi ovat taimikoissa. Uudistuskypsien metsien osalta sen sijaan pahinta aluetta on KSE, missä tuhoprosentti on lähes kaksinkertainen verrattuna vastaavaan tuhoprosenttiin osa-alueessa KSP. Monituhoprosentti uudistuskypsissä metsissä on selvästi korkeampi myös osa-alueissa LE ja LK kuin osa-alueessa KSP. Monituhon esiintymistä

uudistuskypsissä metsissä selittävät mm. puulajivaltaisuus, maaston korkeussuhteet (lakimetsät) ja harvennushakkuutoiminta. Taimikoissa moniin vaikuttaviin tekijöihin kuuluneet mm. metsikön syntytapa ja ikä.

Valtakunnan metsien inventoinnissa havainnoitiin myös *männynversoruosteen* esiintymistä taimikoissa ja myös siemen- ja suojuspuustojen alikasvoksissa. Pohjois-Suomessa tätä sienitautia havaittiin yhteensä 86 000 hehtaarin alalla, lähes kaikki taimikoissa. Vahvaksi tuhosta luokiteltiin 30 000 ha. Pahinta tuhoaluetta on Kainuun metsälautakunta, missä taimikoiden osuus metsämaasta on tarkastelualueen suurin. Taimikoiden osuus ei kuitenkaan riitä yksin selittämään Kainuun tulosta. Eräänä selittävänä tekijänä voi olla haavan runsaampi esiintyminen uudistusaloilla.

LOPPUKATSAUS

Edellä selostetut tuhot yhteensä kattoivat Pohjois-Suomessa inventoinnin ajankohtana (1978, 1982-84) 1 265 000 ha metsämaata, mikä on 14,75 % metsämaan alasta. Pienaluetasolla tuhoprosentti on yli 25 Sodankylän kunnan pohjoispuoliskossa, Rovaniemellä ja Savukoskella sekä Kuivaniemellä, mutta tulos Kuivaniemen osalta on epävarma. Edellisten lisäksi tuhoprosentti on yli 20 Sodankylän kunnan eteläpuoliskossa, Simon ja Tervolan alueella, Pellossa ja Pelkosenniemellä. Tuhoprosentti on alle 5 Perä-Lapissa, Ristijärvellä ja Paltamossa sekä kolmessa Pohjois-Pohjanmaan ml:n eteläosan rinnakkaisessa pienalueessa. Kun metsien terveydentilaa arvioidaan kokonaistuhoprosentin perusteella, alueiden paremmuusjärjestys osa-aluetasolla 2 on: PL, PPE, KE, KP, PPP, KSE, LK, LE ja KSP. Seuraavassa asetelmassa kuvaa '+' keskiarvoa pienempää ja '-' keskiarvoa suurempaa tuhoprosenttia. Alueiden 'sijainti' asteikossa tuholajeittain on:

Tuho	Alue								
	PL	PPE	KE	KP	PPP	KSE	LK	LE	KSP
Hirvituho	+	-	+	+	-	+	+	-	+
Myrskytuho	+	+	+	+	+	+	-	-	-
Lumituho	+	+	+	-	-	+	+	+	-
Monituho	+	+	+	+	+	-	-	-	-
Mä.versoruoste	+	+	-	-	-	+	+	-	+
Yhteensä	+	+	+	+	+	-	-	-	-

Kaikissa tuholajeissa miinusmerkkisiä alueita on vähemmän kuin plusmerkkisiä alueita. Tämä osoittaa sen, että poikkeamat keskimääräisestä tuhoprosentista ovat suurempia huonompaan kuin parempaan suuntaan.

Perä-Lapin metsien suhteellisen hyvään terveydentilaan on monta selitystä. Korkeus merenpinnasta on pieni, metsät ovat lähes täysin mäntyvaltaisia, taimikoita on vähän ja kasvupaikat ovat enimmäkseen kuivahkoja tai kuivia kankaita. Ei ole mahdollista arvioida kuinka paljon tuloksiin vaikuttaa muuta aluetta varhaisempi inventointiajankohta (1978). Perä-Lapin tuloksista puuttuvat 1980-luvun alkuvuosien myrskytuhot, mikä vaikeuttaa vertailua Lapin keski- ja eteläosien kanssa. Sama puute on Kainuun ja Pohjois-Pohjanmaan tuloksissa. Muilta osin tuhoprosentti lienee melko vakaa, erityisesti Perä-Lapissa, missä muutokset ovat hyvin hitaita.

Harsuuntuneita metsiä, sikäli kuin niitä inventointiajankohtana on esiintynyt, voi sisältyä luokkiin monituho, lumituho ja myrskytuho.

Tässä esitetyt tulokset antavat poikkileikkauskuvan tuhotilanteesta Pohjois-Suomen metsissä inventointiajankohtana. Niiden käyttökelpoisuus lienee suurin alueellisessa vertailussa,

missä on otettava huomioon aineiston ajoittuminen eri vuosille. Pitkittäistutkimuksessa, missä tilanteen kehitystä seurataan usean peräkkäisen inventoinnin avulla, tulosten käyttökelpoisuus voi olla huonompi.

Nyt käynnissä olevassa kahdeksannessa inventoinnissa tuhoja ei arvioida kaikilta osin samalla tavalla kuin seitsemännessä inventoinnissa. Vaikka tuholuokitukset olisivatkin samat, niiden soveltaminen metsässä voi muuttua. Sangen todennäköistä on, että metsätuhojen saaman suuren julkisen huomion vuoksi niihin kiinnitetään arvioinnissa suurempi huomio ja niitä tullaan löytämään siitäkin syystä enemmän.

Kirjallisuus

Kuusela, K., Mattila, E. & Salminen, S. 1986. Metsävarat piirimetsälautakunnittain Pohjois-Suomessa 1982-84. Summary: Forest resources in North Finland by Forestry Board Districts, 1982 to 1984. Folia For. 655. 86 s.

Mattila, E. 1986. Lapin metsävarat osa-alueittain. Valtakunnan metsien 7. inventointi vuosina 1978 ja 1982-84. Summary: The forest resources of Finnish Lapland by subareas. The 7th National Forest Inventory in 1978 and 1982-84. Folia For. 661. 77 s.

Valtakunnan metsien inventoinnin kenttätyön ohjeet. Pohjois-Suomen versio. 1982. Moniste. Metsäntutkimuslaitos, metsänarvioimisen tutkimusosasto. 63 s. ja liitteet.

MÄNNYN NEULASVUOSIKERTOJEN LUKUMÄÄRÄ TURVEMAILLA 1985-88 POHJOIS-SUOMESSA

Timo Penttilä

TAUSTAA

Mäntyjen vanhoja neulasia kellastui ja karisi kesällä 1987 tavanomaista runsaammin ja aikaisemmin varsinkin Etelä- ja Itä-Lapin alueella. Neulaskato oli voimakasta erityisesti karuilla kankailla ja rämeillä. Ilmiön syyksi on esitetty mm. puiden juurien paleltumisvaurioita syksyn 1986 ja talven 1986-87 poikkeuksellisten sääolojen seurauksena. Edelleen roudan hitaasta sulamisesta ja epäedullisista sääoloista otaksutaan aiheutuneen ravinnetalouden häiriöitä kesällä 1987. Toisaalta on esitetty, että pääasiallinen syy olisi ollut lähinnä Kuolan alueelta kulkeutuvien ilmansaasteiden ja niiden vaikutuksesta kohonneen ilman otsonipitoisuuden aiheuttamat vauriot neulasten solurakenteessa. Itse ilmiötä ja molempia hypoteeseja on käsitelty tarkemmin mm. useissa tämän niteen kirjoituksissa (Jalkanen ym. 1990, Tikkanen ja Raitio 1990, Norokorpi 1990, Sutinen ja Pesonen 1990). Tarkastelen seuraavassa lyhyesti perusteluja hypoteesille ilmastostressin aiheuttamasta juuristovauriosta neulaskadon pääasiallisena aiheuttajana.

Oleellisia edellytyksiä juurten paleltumisvaurioiden syntymiseksi ovat joko puiden juurien kylmänkestävyystoleranssin alittava lämpötila tai liian nopea lämpötilan aleneminen juuristokerroksessa. Tutkimusten perusteella ei voitane toistaiseksi kiistattomasti osoittaa kriittistä rajalämpötilaa tai lämpötilan muutosnopeutta, jonka erilaisissa ilmasto-oloissa, erilaisilla kasvupaikoilla tai muuten vaihtelevissa oloissa kasvavien erilaisten puiden juuret kestävät vuoden eri aikoina säilyäkseen elossa tai pystyäkseen seuraavan kasvukauden aikana kasvamaan normaalisti. Myöskään kyseisten suureiden mittaaminen oikeaan aikaan ja

oikeassa paikassa poikkeuksellisten säiden sattuessa ei ole käytännössä mahdollista.

Tunnettujen fysikaalisten lainalaisuuksien ja lähinnä havupuun taimien juurten kylmänkestävyyttä koskevien tutkimusten (Lindström ja Nyström 1987, M-L. Sutinen 1986) perusteella voidaan perustellusti olettaa, että syksyllä ja alkutalvella 1986 vallinneissa oloissa (ks. Ritari 1990) puiden juurille saattoi aiheutua ilmastostressistä johtuvia vaurioita. Tärkeimpänä perusteena tälle olettamukselle on ilman lämpötilan hyvin nopea jäähtyminen nollan tienoilta alle -20°C:een maan ollessa pintaosistaan jäässä, mutta vailla eristävää lumikerrosta. Lisäksi aiemmin satanut lumi oli useaan kertaan sulanut ja yhdessä sataneen veden kanssa taas jäätynyt muodostaen maan pintaosiin kerroksellista massiivista routaa. Samalla pintamaan huokostilavuuden on täytynyt olennaisesti pienentyä. Niin kivennäismaassa kuin turvemaassakin jäätyminen ja huokostilan väheneminen lisäävät oleellisesti lämmönjohtokykyä (esim. Päivänen 1982, s.59), minkä seurauksena ilman nopeaa jäähtymistä seuraa maan pintakerroksen ja siinä olevien juurten nopea jäähtyminen.

Ilmastostressihypoteesia voidaan testata kenttäkokeessa luomalla keinotekoisesti edellä kuvattua vastaavat olosuhteet, jolloin juuristovaurioiden ja edelleen neulaskadon tulisi toistua samaan tapaan kuin tapahtui kesällä 1987. Tällainen koe onkin käynnistetty, ja siitä on jo esitetty alustavia tuloksia (Jalkanen ym. 1990). Neulaskadon syyhypoteeseista voidaan johtaa myös mm. ilmiön alueelliseen esiintymiseen liittyviä, tietyin edellytyksin testattavissa olevia seurauksia. Jos oletetaan, että juurten paleltumisvauriot olivat pääasiallinen neulaskadon syy, tulisi voimakkaimman neulaskadon painottua alueille, joka oli jokseenkin lumeton talven 1986-87 äkillisen ja ankaran pakkaskauden alkaessa. Vastaavasti eristävän lumikerroksen peittämillä alueilla neulaskadon tulisi olla vähäisempää, mikäli olosuhteet muiden ilmiöön vaikuttavien tekijöiden suhteen pysyvät samanlaisina. Jos taas tietystä suunnasta kulkeutuvat ilmansaasteet tai niiden vaikutuksesta syntyvät yhdisteet, kuten otsoni, joko suoranaisesti kasvin maanpäällisiin osiin kohdistuvan myrkkyvaikutuksen tai välillisesti maan kasvupaikkatekijöitä muuttavien vaikutusten vuoksi olisivat ilmiön pääasiallinen syy, tulisi ilmiön todennäköisesti voimistua siirryttäessä kohti oletettua päästölähdettä. Voidaan myös olettaa, että suoraan neulasiin vaikuttavan ilmiön riippuvuus etäisyydestä päästölähteeseen olisi havaittavissa jo ennen jonkin laukaisevan tekijän, kuten ankaran ilmastostressin aiheuttamaa vaurion laajaa esiintymistä.

Tässä esityksessä tarkastellaan turvemailla kasvavien mäntyjen neulasvuosikertojen lukumäärän vuotuista ja alueittaista vaihtelua Pohjois-Suomessa sekä ennen talvea 1986-87 että sen jälkeen. Puun neulasvuosikertojen lukumäärä on tietenkin muuttuja, johon vaikuttavat lukuisat ympäristötekijät. Se on myös hyvin epäsuora tapa tutkia ilmastostressin tai mahdollisten ilmansaasteiden vaikutuksia puiden tilaan. Selkeiden alueellisten trendien esiintyminen antaisi nähdäkseni kuitenkin osaltaan perusteita arvioida esitettyjä hypoteeseja, joihin kumpaankin liittyy alueellisuutta koskevia oletuksia. Lisäksi pysyviltä koealoilta esitettävät ensimmäisen inventointikerran tulokset ovat käytettävissä vertailukohtana myöhemmille uusintainventoinneille.

AINEISTO JA MENETELMÄT

Valtakunnan metsien 7. inventoinnin (VMI 7) maastokoealoista on lähinnä turvemaiden metsien kasvumallien laadintaa varten otostettu ojitustilanteen, pääpuulajin ja ravinteisuusluokan mukaisista ositteista joukko turvemaan metsikkökuvioita, joille on puuston kehityksen ja suoekosysteemissä tapahtuvien muutosten tutkimista varten perustettu pysyvät metsikkökoealat. Otantakaavio ja koealojen perustamisohjeet on kuvattu aiemmassa julkaisussa (Penttilä ja Honkanen 1986). Tärkeimmät otantaa koskevat ehdot olivat seuraavat: Sekä ojitetuilla että ojittamattomilla koealoilla ravinteisuusluokan tuli olla piensarainen tai parempi ja metsikkö tuli olla luokiteltu kehityskelpoiseksi. Ojitetulla suolla olevan koealan maaluokan tuli lisäksi olla metsämaa. Ojittamattoman koealan maaluokka sai olla myös kitu-

tai joutomaa, kunhan kohde oli suotyypin ja lämpösumman perusteella arvioitu metsänkasvatuskelpoiseksi.

Näistä ns. SINKA-koealoista tähän tutkimukseen otettiin aineistoksi mäntyvaltaiset koealat Lapin läänin sekä Kuusamon, Taivalkosken ja Pudasjärven kuntien alueelta. Aineistosta puuttuvat Rovaniemen mlk:n ja Pellon alueella olevat koealat. Rovaniemen mlk:n koealat mitattiin v. 1984, jolloin neulasvuosikertojen lukumäärä kuvattiin eri luokituksella kuin myöhemmin, ja Pellon koealojen aineiston tallennus ja tarkastus ei ehtinyt valmiiksi tätä esitystä varten. Ojitettujen soiden aineistosta hylättiin ne muutamat koealat, joiden kuivatusaste luokiteltiin ojikoksi. Kuivatusasteiden määritelmän mukaan ojikoilla puiden kasvussa ei vielä ole koko saran leveydellä näkyvissä reagointia ojitukseen, eikä siten ole varmaa onko neulasmassassa ja neulavuosikertojen määrässä tapahtunut vakiintumista ojitetun suon kasvuoloja vastaavalle tasolle.

SINKA-koealojen perustamismittauksen yhteydessä kaikista mänty- ja kuusikoepuista määritettiin neulasvuosikertojen lukumäärä kokonaislukuna subjektiivisesti valitusta oksasta latvuksen ylemmän puoliskon alueelta. Tällöin otettiin huomioon kaikki ne oksan vuosikasvaimet, joissa vähintään puolet vuosikasvaimen pituudesta oli neulasellista osaa. Mukaan laskettiin myös mittauskauden kasvain eli keväällä syntymässä oleva kasvain ja syksyllä neulasensa jo pudottanut kasvain. Poimittaessa aineisto tätä tutkimusta varten hylättiin koepuiden tuholuokituksen perusteella sellaiset koepuut, joissa esiintyi sellainen tunnistettu tuho, joka on saattanut vaikuttaa kyseisen puun neulaston määrään (puu kaatunut tai katkennut; puussa lahoa, runkovaurio; puun latva poikki tai kuollut; puussa latvan vaihto, monilatvaisuutta tai muu latvan epämuodostuma). Hyväksytyistä koepuista laskettiin koealoittain neulasvuosikertojen keskiarvo, jota käytettiin havaintoyksikkönä ja vastemuuttujana tehdyissä analyyseissä.

Koska koealojen mittaus on tehty vasta kertaalleen, käytettävissä ei ole tietoja metsiköittäin tai puittain tapahtuneesta muutoksesta. Mittaukset on tehty eri vuosina eri alueilla, joten alueittaisen ja vuotuisen vaihtelun eritteleminen ei ole mahdollista. Tarkastelua varten havaintoaineisto jaettiin inventointivuoden mukaisiin ryhmiin, joista edelleen muodostettiin kesän 1987 neulaskadon ja sitä edeltävän neulasvuosikertojen määrän alueellisen vaihtelun tarkastelemiseksi kaksi yhdistelmää sen mukaan oliko inventointi tapahtunut vuonna 1987 tai sitä ennen (eli 'ennen neulaskatoa') vai vuonna 1988 ('neulaskadon jälkeen'). Tätä esitystä varten ei ryhdytty perusteellisesti testaamaan neulasvuosikertojen lukumäärän riippuvuutta lukuisista metsikön tiheyteen, kehitysvaiheeseen tai kasvupaikan ominaisuuksiin liittyvistä luokkamuuttujista tai niiden yhdysvaikutuksista. Sen sijaan tyydyttiin tarkastelemaan havaintoaineiston alueellista jakautumista ojitustilanteen (ojitetut/ojittamattomat) mukaisissa ositteissa.

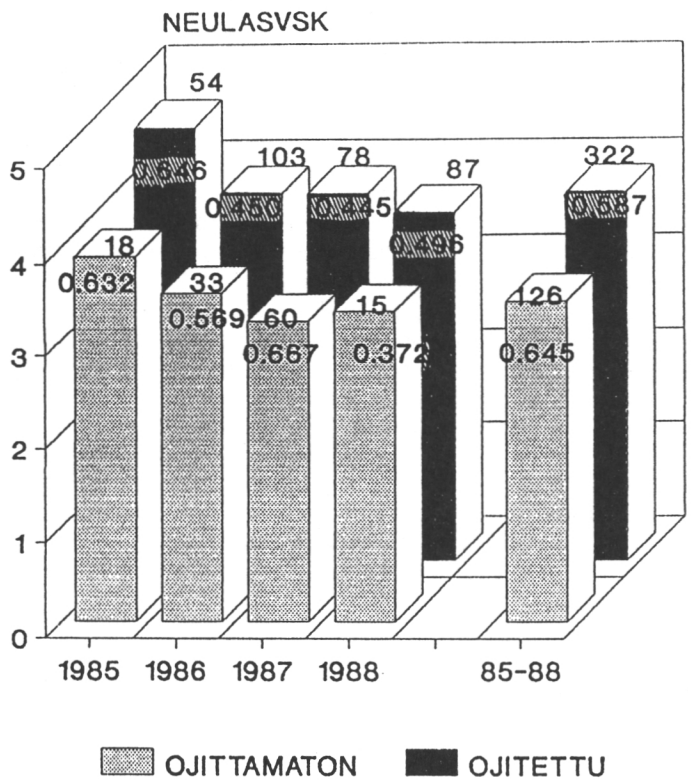
Tulokset esitetään karttamuodossa ja korrelaatiokuvina. Havaintoaineisto järjestettiin neulasvuosikertojen lukumäärän mukaiseen suuruusjärjestykseen ojitustilanteen ja inventointivuoden perusteella muodostetuissa ryhmissä. Kussakin ryhmässä arvoiltaan jakauman suurinta kolmannesta ja vastaavasti pienintä kolmannesta vastaavat havainnot tulostettiin karttapohjalle. Samoin kussakin ryhmässä arvoltaan suurimmat noin 30 havaintoa ja pienimmät noin 30 havaintoa paikallistettiin karttapohjalle. Korrelaatioanalyysillä tarkasteltiin sekä koko aineistossa että ryhmitellyssä aineistossa neulasvuosikertojen lukumäärän riippuvuutta havaintojen maantieteellisestä sijainnista (pohjois- ja itäkoordinaatti), korkeudesta merenpinnasta sekä lämpösummasta. Tulokset neulasvuosikertojen lukumäärän ja itäkoordinaatin välisistä vuorosuhteista esitetään korrelaatiokuvina tiettyjen ryhmien osalta.

TULOKSET

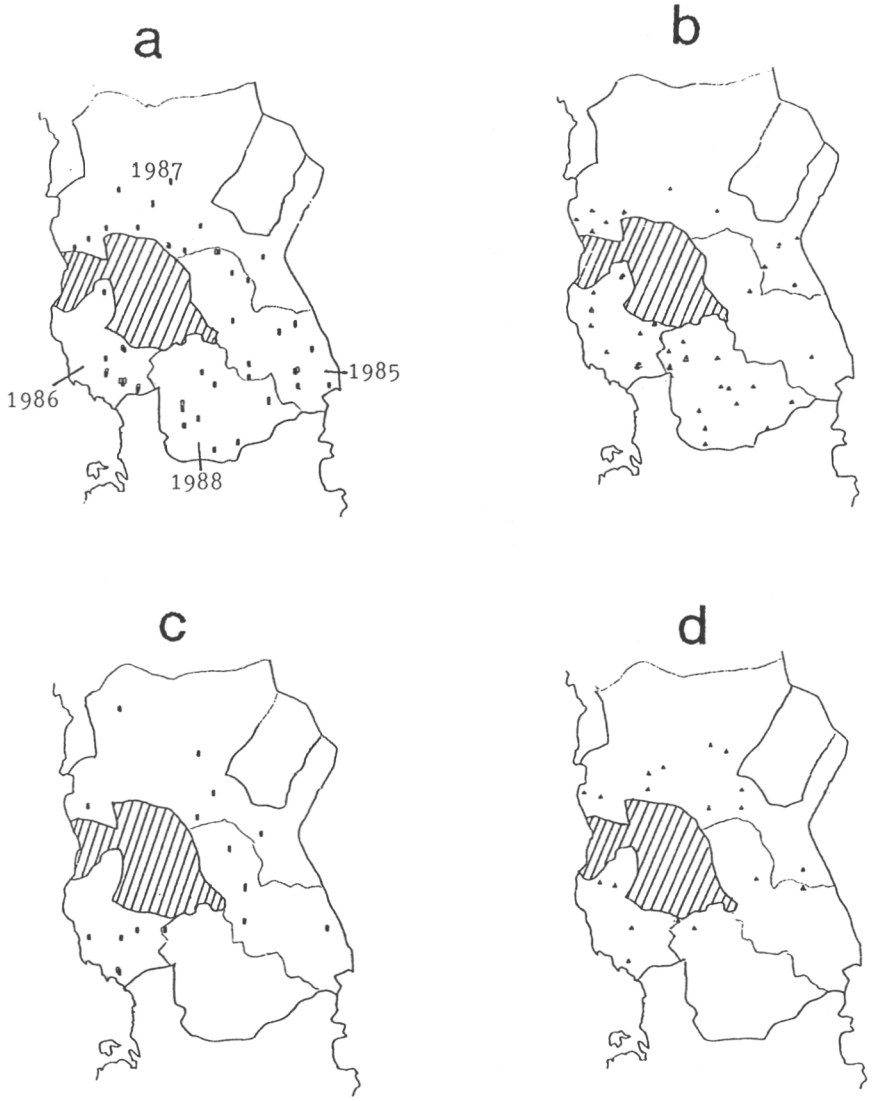
Turvemaiden männiköiden keskimääräinen neulasvuosikertojen lukumäärä erikseen ojitetuilla ja ojittamattomilla soilla eri vuosina inventoiduilla alueilla on esitetty kuvassa 1. Eri

vuosina inventoidut alueet ovat sijoittuneet mm. ilmaston ja kasvupaikkojen suhteen erilaisiin oloihin. Siksi vuotuiset keskiarvot eivät ole analyysin kannalta keskenään täysin vertailukelpoisia. Vuoden -85 aineiston (Kuusamo, Posio, Kemijärvi) keskiarvo erottuu kuitenkin selvästi koko muusta aineistosta. Seuraavalla inventointikerralla selvinnee, johtuuko ero vuosien välisestä vaihtelusta vai todellisista alueiden välisistä erosta. Ojitetuilla soilla oli keskimäärin puoli neulasvuosikertaa enemmän kuin ojittamattomilla soilla. Alustavissa analyyseissä havaittiin, että neulasvuosikertojen määrä riippui jonkin verran myös kasvupaikan ravinteisuustasosta. On siten ilmeistä, että puiden vesi- ja ravinnetalouteen liittyvät kasvun minimitekijät vaikuttavat neulasvuosikertojen lukumäärään.

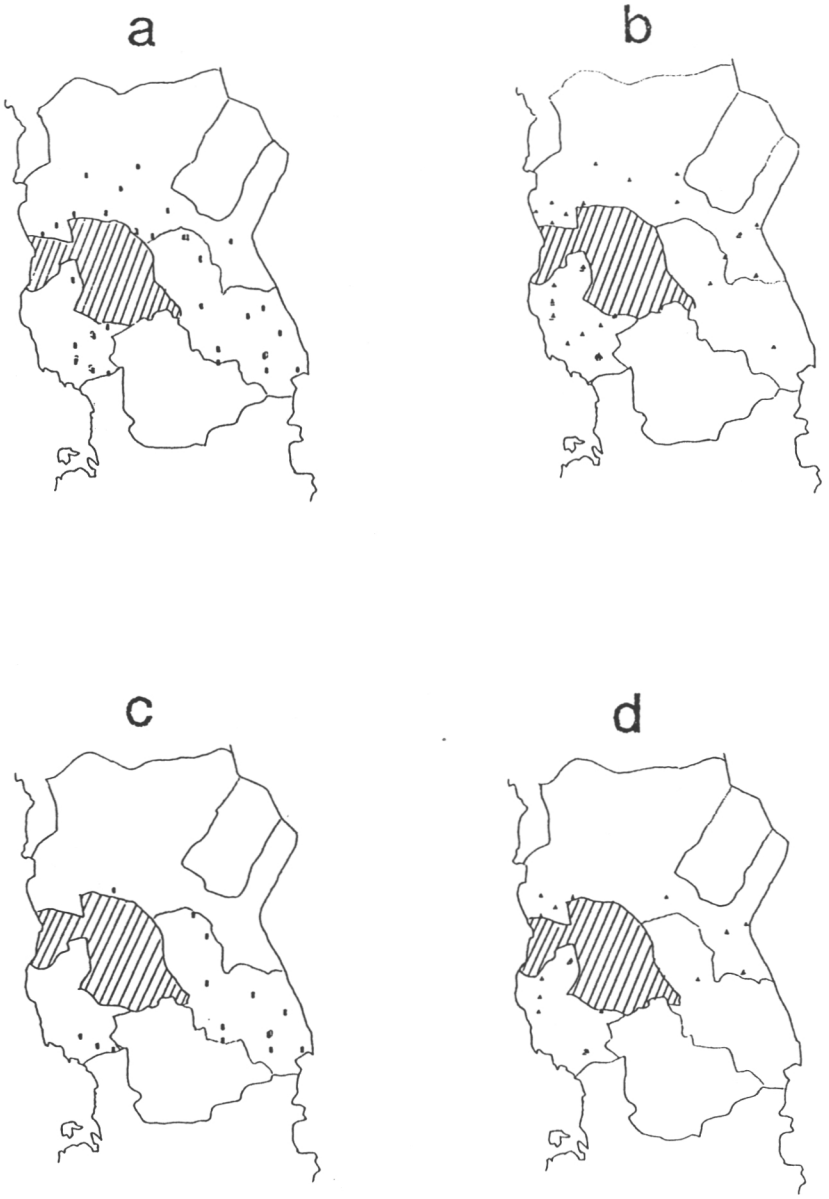
Lisävalaistusta alueellisesta vaihtelusta antavat karttapohjalle tulostetut havainnot neulasvuosikertajakaumien "huonoimmasta" ja "parhaasta" kolmanneksesta. Kuvassa 2 on esitetty tilanne koko aineiston osalta erikseen ojitetuilla ja ojittamattomilla koealoilla. Kuvassa 3 on esitetty ojitettujen soiden jakauman huonoin ja paras kolmannes vuosien 1985-1987 inventoinneista eli jaksolta ennen kesän 1987 neulaskatoa, sekä lisäksi noin 30 arvoiltaan huonoimman ja parhaan koealan maantieteellinen sijainti. Selviä alueellisia keskittymiä ei näiden aineistoryhmien osalta ole havaittavissa. Suurimmat arvot näyttäisivät hieman painottuvan tutkimusalueen keski- ja kaakkoisosaan. Pienimpiä arvoja esiintyy varsinkin Länsi-Lapissa ja Sallan seudulla.



Kuva 1. Turvemaiden mäntyjen neulasvuosikertojen lukumäärä SINKA-koealoilla Pohjois-Suomessa eri vuosina inventoiduilla alueilla (ks. kuva 2). Pylväiden yläpäässä oleva luku ilmaisee koealojen lukumäärän, sen alapuolella oleva luku keskihajonnan.



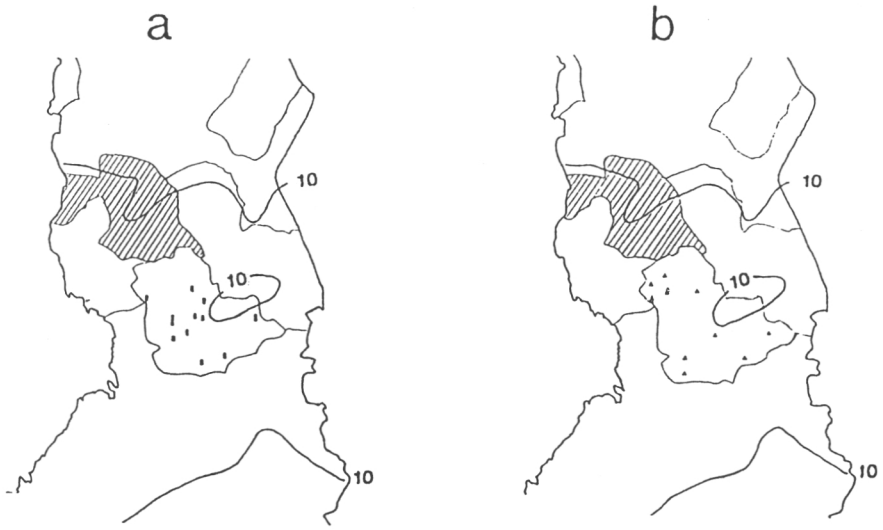
*Kuva 2. Tutkimusalueen eri vuosina inventoidut osat sekä tiettyjen neulasvuosikertahavaintojen alueellinen jakautuminen (n = koealojen lukumäärä, x = neulasvuosikertojen lukumäärä): **a)** Koko aineiston ojitettujen soiden neulasvuosikerta-arvojen paras kolmannes (n=109, x=4,1), **b)** Koko aineiston ojitettujen soiden neulasvuosikerta-arvojen huonoin kolmannes (n=106, x=3,7), **c)** Kuten a), mutta ojittamattomat suot (n=42, x=3,7), **d)** Kuten b), mutta ojittamattomat suot (n=44, x=3,1)*



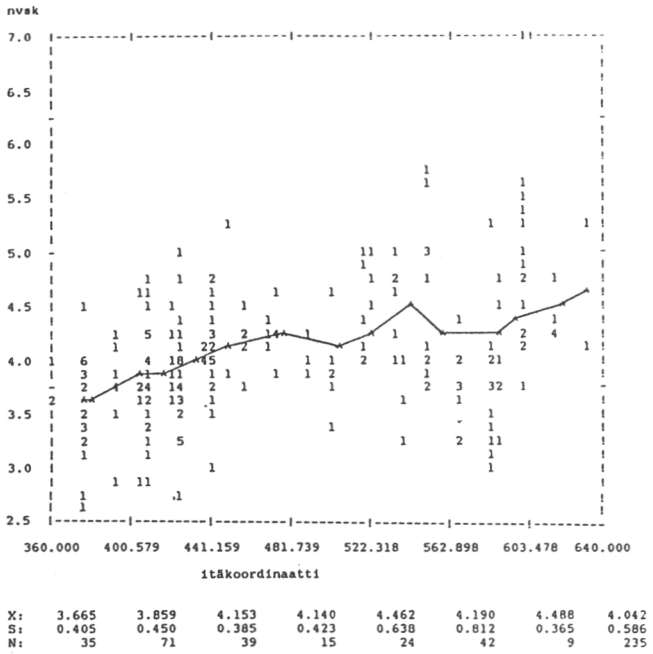
Kuva 3. Kuten kuva 2, mutta vuosina 1985-1987 (ennen neulaskatoa) inventoidut ojitetut suot: a) paras kolmannes (n=75, x=4,2), b) huonoin kolmannes (n=83, x=3,8), c) parhaat 29 havaintoa (x=4,7), d) huonoimmat 31 havaintoa (x=3,4)

Kesällä 1988 inventoitiin alue, joka sijaitsi pääosaksi edelliskesän neulaskatoalueella. Tällöin todettiin, että ne metsiköt, joissa oli runsaimmin neulasvuosikertoja, sijaitsivat lähinnä aluetta, joka joulukuun 1986 kovan pakkasen alkaessa oli n. 10 cm paksuisen lumikerroksen peitossa (kuva 4). Kauempana tästä alueesta neulasvuosikertoja oli vähiten. Valitettavasti joulukuussa 1986 vähintään 10 cm paksuisen lumikerroksen peittämä alue jää pääosin Kuusamon ja Posion kuntien alueelle, joka tulee inventointivuoroon vasta v. 1990. Lumitilanteesta dokumentoitujen tietojen tarkkuus ei myöskään riitä selvittämään mahdollisen ohuemman lumikerroksen esiintymistä tutkimusalueella.

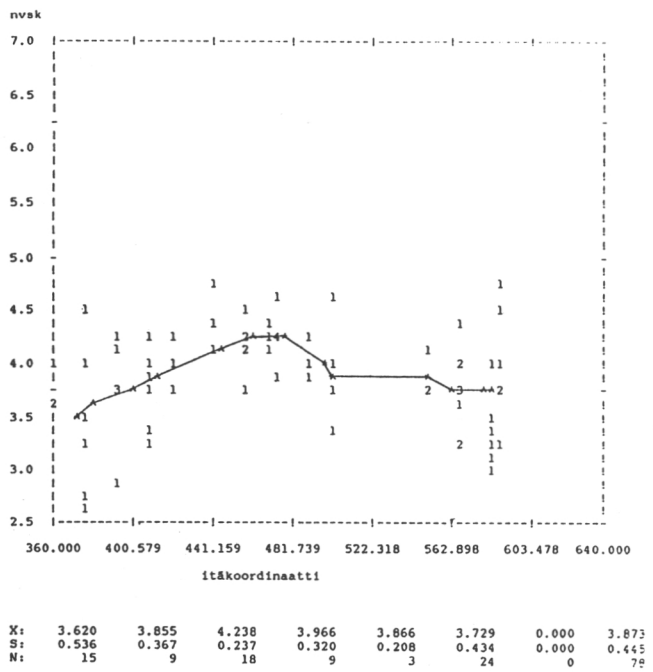
Korrelaatioanalyysien mukaan ojittamattomilla soilla neulasvuosikertojen määrä ei ollut yhteydessä maantieteelliseen sijaintiin, maaston korkeuteen tai lämpösummaan riippumatta siitä, millaisiin inventointivuosien mukaisiin ryhmiin aineisto jaettiin. Ojittamattomilla soilla ei myöskään havaittu vuosikertojen vähenemistä kesän -87 jälkeen (kuva 1), tosin havaintoja vuodelta 1988 on niukasti. Seuraavassa keskitytään tarkastelemaan ojitettujen soiden mäntyjen neulasvuosikertojen lukumäärän riippuvuutta eräistä sijaintia kuvaavista tunnuksista korrelaatioanalyysien perusteella.



*Kuva 4. Vuonna 1988 inventoitujen ojitettujen soiden neulasvuosikertahavaintojen **a)** parhaan kolmanneksen ja **b)** huonoimman kolmanneksen alueellinen jakautuminen sekä lumitilanne Pohjois-Suomessa 15.12.1986 Ilmatieteen laitoksen kuukausikatsauksen mukaan.*



Kuva 5. Vuosina 1985-1987 inventoitujen ojitettujen soiden koealojen neulasvuosikertojen lukumäärän ja itäkoordinaatin välinen korrelaatio.



Kuva 6. Kuten kuva 5, mutta vain vuonna 1987 inventoitu ojitettujen soiden aineisto.

Ojitettujen soiden aineistossa ennen neulaskatoa, siis vuosina 1985-1987 havaittiin neulasvuosikertojen lisääntyvän siirryttäessä kohti itää ja samalla korkeammalle merenpinnasta (kuva 5). Sama tulos saatiin myös analysoimalla erikseen vuosien 1985 ja 1988 aineisto. Näissä kaikissa osa-aineistoissa itäisyys ja korkeus merenpinnasta korreloivat voimakkaasti keskenään. Sen sijaan vuoden 1987 aineistossa (Kolari, Kittilä, Sodankylä, Pelkosenniemi, Salla) itäisyys ja korkeus merenpinnasta eivät korreloineet keskenään. Muutenkin tämä osa aineistosta on erityisen mielenkiintoinen itä-länsi -suuntaisen kattavuutensa vuoksi. Vuoden 1987 ojitettujen soiden aineistossa neulasvuosikertojen määrä lisääntyi ojitetuilla soilla kohti pohjoista lämpösumman samalla pienentyessä. Sen sijaan itä-länsi -suuntaisella sijainnilla (kuva 6) ja korkeudella merenpinnasta ei vuoden 1987 aineistossa ollut ainakaan lineaarista korrelaatiota neulasvuosikertojen lukumäärän kanssa. Korkeimmat luokkakeskiarvot sijoittuivat kuitenkin Keski-Lappiin ja vastaavasti alimmat toisaalta länsi- ja toisaalta itärajan tuntumaan.

TULOSTEN TARKASTELUA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää turvemaiden mäntyvaltaisten metsiköiden neulasvuosikertojen määrän vaihtelua Pohjois-Suomessa vuosina 1985-1988 mitattujen suometsien pysyvien kasvukoealojen (SINKA) aineiston perusteella. Koska mittaukset tehtiin eri vuosina tutkimusalueen eri osissa, vuotuisen ja alueittaisen vaihtelun erotteleminen tämän aineiston perusteella ei ollut mahdollista. Tulosten perusteella tehtävät päätelmät ovat siltä osin varauksellisia.

Vuoteen 1987 mennessä (ennen neulaskatoa) inventoidussa aineistossa neulasvuosikertojen määrä oli vähäisin metsiköissä, jotka sijaitsivat toisaalta Lapin länsirajalla ja toisaalta Sallan seudulla. Metsiköt, joissa neulasvuosikertoja oli runsaimmin, sijaitsivat pääosin tutkimusalueen keski- ja kaakkoisosassa. Missään osa-aineistossa neulasvuosikertojen lukumäärän ei todettu trendinomaisesti vähenevän siirryttäessä kohti itää, josta suunnasta on arveltu kertyvän rikki- ja raskasmetallilaskeumaa Lapin alueelle. Toisaalta todettiin useilla Sallan alueella olevilla koealoilla varsin alhaisia neulasvuosikertojen lukumääriä.

Neulaskadon jälkeen inventoidulla alueella saatiin viitteitä siitä, että neulaskato olisi ollut voimakkainta alueilla, jotka olivat joulukuussa 1986 jokseenkin lumettomia. Lumisuustietojen epätarkkuuden vuoksi tästä ei kuitenkaan ole varmuutta.

Kesällä 1987 sattunut neulaskato keskittyi suunnilleen Sallan kirkonkylän, Rovaniemen ja Suomussalmen kirkonkylän rajaamalle alueelle (Jalkanen 1988). Tässä tutkimuksessa saadut tulokset turvemaiden männiköiden neulasvuosikertojen lukumäärän alueittaisesta vaihtelusta ennen kesää 1987 tai sen jälkeen eivät tue sitä hypoteesia, että laaja-alainen neulaskato olisi pääosaksi aiheutunut idästä kulkeutuvista ilmansaasteista. Sen sijaan tulokset myötäilevät varsin pitkälle ilmastostressihypoteesista johdettuja päätelmiä neulasvuosikertojen alueellisesta jakautumisesta. Toisaalta havainnot eivät sulje pois sitä mahdollisuutta, etteikö esim. Sallan alueella voisi esiintyä neulasvuosikertojen vähenemistä, joka voi olla yhteydessä ilmansaasteisiin. Useissa yhteyksissä onkin korostettu, että kesällä 1987 sattuneessa Etelä- ja Itä-Lapin neulaskadossa ei ollut kyse samasta ilmiöstä kuin Sallan Sätsissä havaituissa metsätuhoissa (esim. Jalkanen 1990).

Neulasvuosikertojen vaihtelun ja siihen vaikuttavien tekijöiden selvitystä jatketaan osana Pohjois-Suomen suoekosysteemien tilan seurantaa. Samojen koealojen ja koepuiden uusintainventoinnit voivat muuttaa nyt saatua käsitystä neulaskadon alueellisuudesta. Mikäli osoittautuu, että neulasvuosikertojen määrästä puihin vaikuttavien ympäristötekijöiden mittarina on yleisempääkin hyötyä, SINKA-koealojen antama tieto tulee jatkossa olemaan tutkijoiden käytettävissä.

Kirjallisuus

Jalkanen, R., Airaksinen, K. & Niska, K. 1989. Juurten jäädytyskokeet Hietaperänkankaalla. Julkaisussa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347:43-47.

Jalkanen, R. 1988. Kovia kokeneet pohjoisen puut. Teollisuuden metsäviesti 1/1988:8-11.

Lindström, A. & Nyström, C. 1987. Seasonal variation in root hardiness of container-grown Scots pine, Norway spruce and lodgepole pine seedlings. Can. J. For. Res. 17:787-793.

Norokorpi, Y. 1990. Talviekologiset tekijät ja puiden terveydentila. Julkaisussa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347:76-80.

Penttilä, T. & Honkanen, M. 1986. Suometsien pysyvien kasvukoealaojen (SINKA) maastotyöohjeet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 226. 98 s.

Päivänen, J. 1982. Turvemaan fysikaaliset ominaisuudet. Helsingin yliopiston suometsätieteen laitoksen julkaisuja 2. 69 s.

Ritari A. 1990. Talven 1986-87 sääolojen poikkeuksellisuus ja pakkasvauriot Pohjois-Suomessa. Julkaisussa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347:47-57.

Sutinen, M-L. 1986. Taimien fysiologisesta kunnosta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 253:39-47.

Sutinen, S. & Pesonen, R. 1990. Männyn ja kuusen neulasten soluvaurioista Lapissa. Julkaisussa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347:69-75.

Tikkanen, E. & Raitio, H. 1990. Ilmastostressi ja ilmansaasteet - kesän 1987 neulaskadon syitä. Julkaisussa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347:34-42.

AURAUSALUEIDEN MARJAKASVIEN KEMIALLISESTA KOOSTUMUKSESTA

Pentti Sepponen

JOHDANTO

Metsämaan aurauksella on vaikutusta maan ravinnetalouteen (Kubin 1984, Tikkanen 1985). Nuorilla aurausalueilla on todettu esim. liukoisen typen selvää lisääntymistä heti aurausta seuraavina vuosina. Tämä näkyy paitsi palteen sisään jäävän humuksen nitraattityppipitoisuudessa, myös valumavesien laadussa (Kubin mt.).

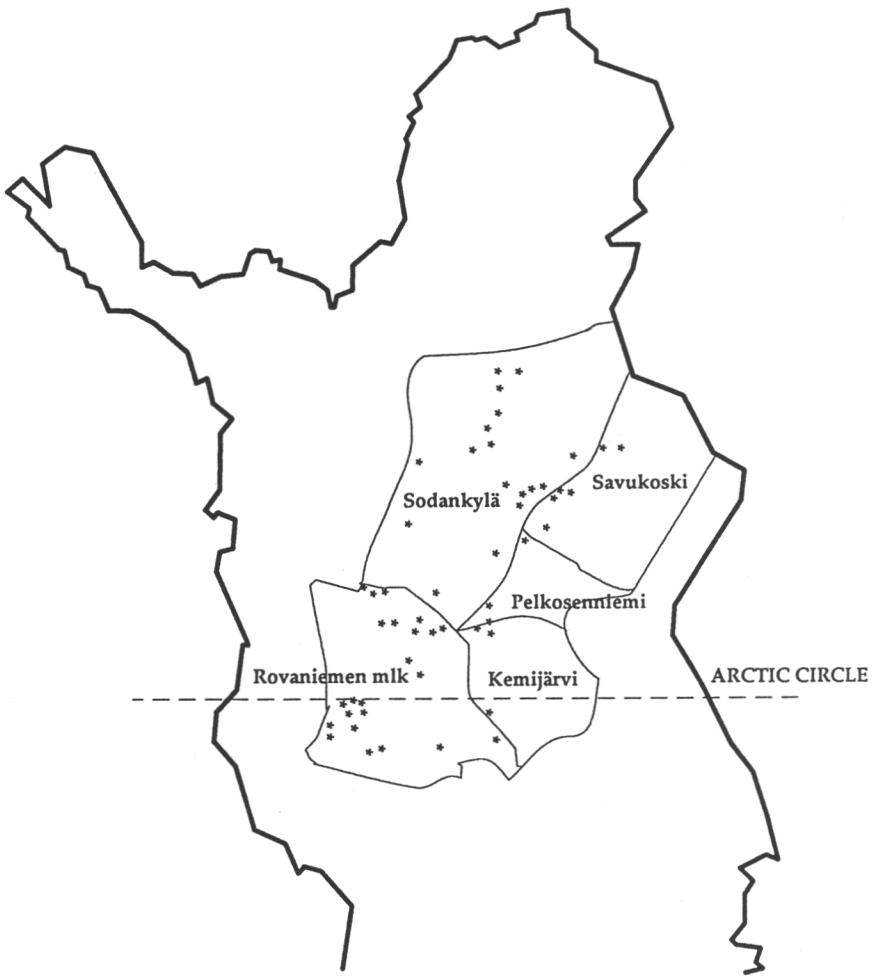
Tikkanen (1985) on tutkinut aurausalueiden rauta- ja alumiiniyhdisteitä. Hän toteaa, että aktiivista, amorfista rautaa ja alumiinia on eniten maan rikastumiskerroksessa. Amorfista rautaa on selvästi eniten palteen päälle käännetyssä rikastumiskerroksessa. Sekä alumiinin että raudan liukoisuus maassa kasvaa pH-arvon laskiessa. Näin tapahtuu, kun rikastumiskerros käännetään palteen päälle ja siihen saostuneet rautayhdisteet joutuvat tekemisiin happaman sadeveden kanssa. Samoin käy aurausvaon pohjalla, kun vako ulottuu rikastumiskerrokseen. Tämä merkitsee mainittujen alkuaineiden runsaampaa liukoisuutta ja näin ollen mahdollisesti nopeampaa ravinnekiertoon joutumista.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää vanhojen aurausalueiden ravinnetilannetta analysoimalla aurausvaon eri pienmuodoilla kasvavien marjakasvien ravinnepitoisuutta.

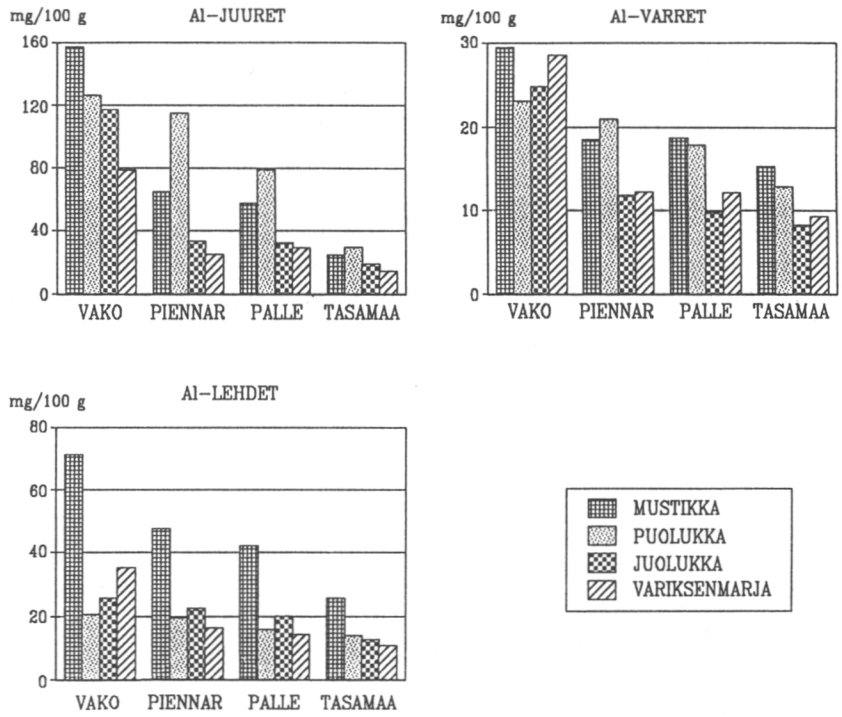
AINEISTO JA MENETELMÄT

Aineisto koostuu metsähallinnon Rovaniemen ja Sodankylän hoitoalueissa sijaitsevien yli 10 vuotta vanhojen piennaraurattujen alueiden satunnaisotoksesta (kuva 1). Se koottiin aurausalueiden ekologisen inventoinnin yhteydessä.

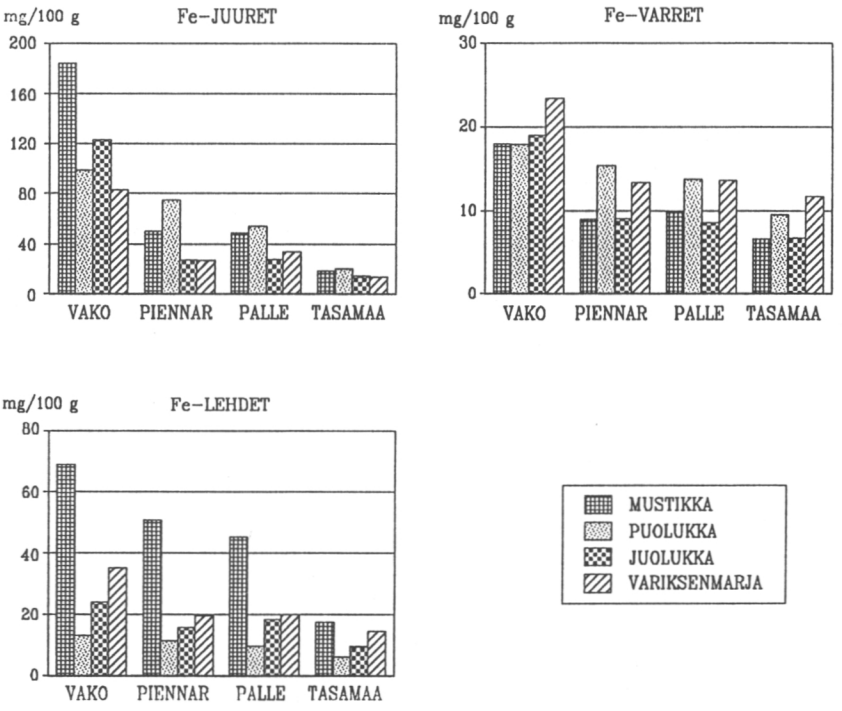
Osasta inventoituja aurausalueita kerättiin kesinä 1986-88 näytteitä mustikan, puolukan, variksenmarjan ja juolukan osista; juurista, varsista ja lehdistä siten, että saatiin vertailukelpoiset näytteet vaosta, pientareelta, palteelta ja rikkomattomalta tasamaalta. Näytteitä kerättiin 42 aurausalueelta. Näytteet kuivattiin ja niistä tehtiin kemiallinen analyysi. Kokonaistyppi määritettiin Kjeldahl-menetelmällä, tuhkaksi polttamista ja suolahappouuttoa käytettiin määritettäessä seuraavia alkuaineita: Fe, Al, P, Ca, Mg, K, Mn, Zn, Na ja Cu. Yhteensä analysoitiin 1938 näytettä.



Kuva 1. Tutkittujen aurausalueiden sijainti.



Kuva 2. Alumiinipitoisuus tutkittujen kasvien eri osissa kullakin aurausalueen pienmuodolla.



Kuva 3. Rautapitoisuus tutkittujen kasvien eri osissa kullakin aurausalueen pienmuodolla.

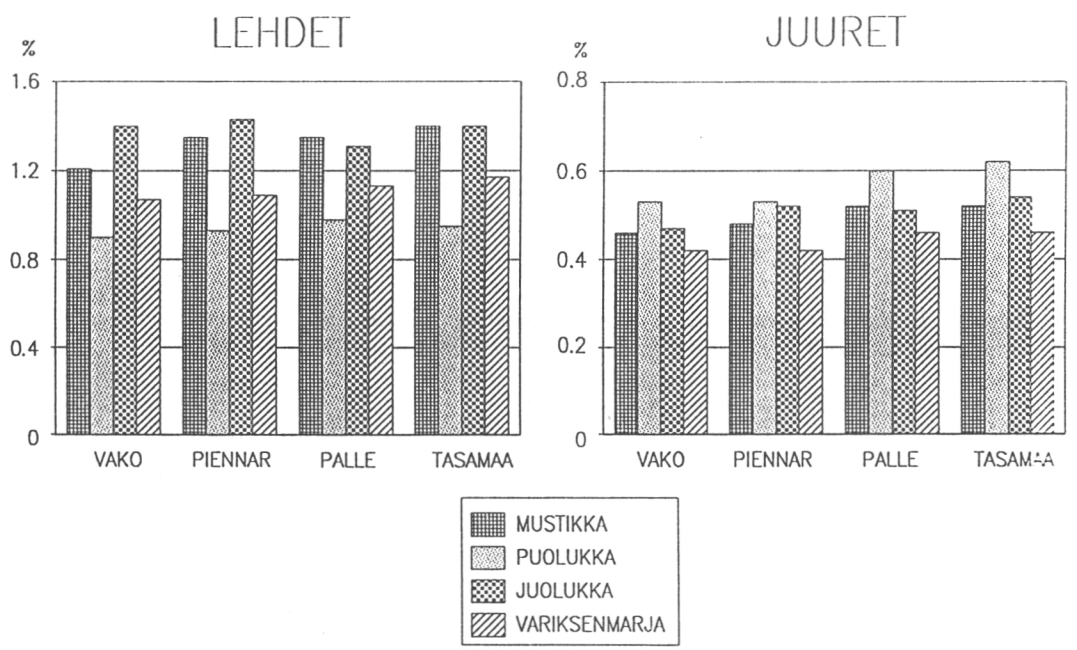
TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Eri pienmuotojen välinen ero kasvien kemiallisessa koostumuksessa näkyi selvimmin rauta- ja alumiinipitoisuudessa (kuvat 2 ja 3). Alumiinipitoisuus on suurin juurissa. Aurausvaon pohjalta otetuissa näytteissä pitoisuus on moninkertainen verrattuna muokkaamattomalta tasamaalta otettuihin. Samoin poikkeavat tasamaalta mitatuista pitoisuuksista pientareen ja palteen kasvien alumiiniarvot. Samanlainen vaihtelu näkyy myös muissa kasvinosissa.

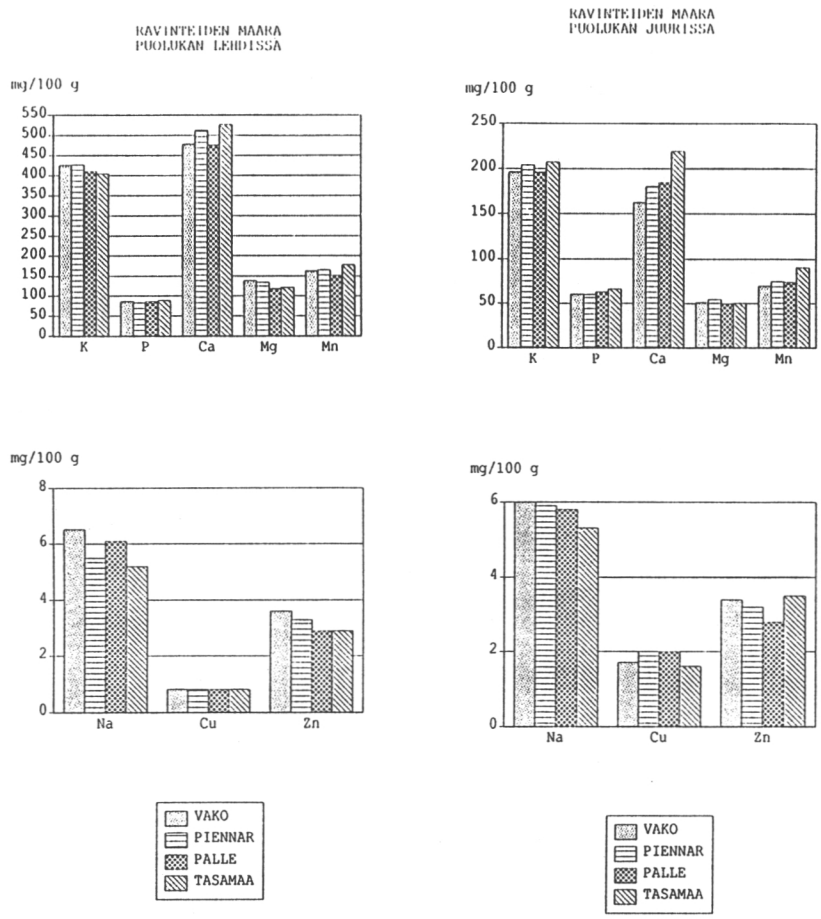
Kasvin eri osien rautapitoisuus noudattelee samanlaista vaihtelua kuin alumiinipitoisuus (kuva 3). Sekä alumiinin että raudan pitoisuusvaihtelu näyttää kuvastelevan niiden mobilisaatiota sellaisissa aurausvaon kohdissa, joissa maan rikastumiskerroksen rauta- ja alumiiniyhdisteet joutuvat tekemisiin ilman ja sadeveden kanssa. Tikkasen (1985) mukaan pH-arvo tällöin laskee, mikä puolestaan johtaa raudan ja alumiinin liukoisuuden lisääntymiseen. Tässä saadut tulokset tukevat näin ollen Tikkasen(mt.) havaintoja ja johtopäätöksiä.

Typpipitoisuudessa ei todettu yhtä selviä pienmuotojen välisiä eroja (kuva 4). Muokatun maan typen mobilisaatio ei näin ollen ilmene vanhojen aurausalueiden kasveissa ja ajoittuneekin runsaimmillaan ensimmäisiin aurausta seuraaviin vuosiin (ks. Kubin 1984).

Muidenkaan ravinteiden pitoisuudessa ei todettu kovin selviä aurausvaon pienmuotojen välisiä eroja. Esimerkkinä tarkastellaan tässä vain puolukan juurten ja lehtien K-, P-, Ca-, Mg-, Na-, Mn-, Cu- ja Zn-pitoisuuksia (kuva 5). Kalsiumia ja mangaania näyttää rikkomattomalta tasamaalta kerätyissä näytteissä olevan hieman korkeampia pitoisuuksia kuin muilla pienpuodoilla, muuten ei havaittavia eroja esiinny. Näidenkin ravinteiden osalta on muistettava, että aurausalueet ovat yli 10 vuotta vanhoja. On mahdollista, että eri ravinteiden runsaampi mobilisaatio ajoittuu nuoremmille aurausalueille.



Kuva 4. Typpipitoisuus tutkittujen kasvien lehdissä ja juurissa kullakin aurausalueen pienmuodolla.



Kuva 5. Eräiden kasviravinteiden pitoisuus puolukan lehdissä ja juurissa kullakin aurausalueen pienmuodolla.

Kirjallisuus

Kubin, E. 1984. Kulotuksen ja metsämaan aurauksen vaikutuksesta maapperän ravinteisiin. Jyväskylän yliopiston biologian laitoksen tiedonantoja 40: 60-67.

Tikkanen, E. 1985. Aurausalueen heikkokuntoisten männyntaimien ravinnetaloudesta Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 186. 23 s.

SAIRAAN METSÄN RAVINNEANALYYSI

Heikki Nuorteva

JOHDANTO

Neulasista tehtyjen ravinneanalyysien käyttö metsätalouden tutkimuksen ja käytännön piirissä on lisääntynyt viime aikoina. Nykyiset metsiemme terveydentilaa heikentävät bioottiset ja abioottiset tekijät ovat aiheuttaneet sen, että tutkimukselta odotetaan uusia käytännön apukeinoja puuston elinvoiman ylläpitämiseksi. Neulasravinnetutkimuksen eräänä tällaisena tavoitteena onkin ollut selvittää niitä rajoja, joiden puitteissa puuston voidaan katsoa olevan tervettä ja riittävän kasvukykyistä ravinteisuuden suhteen. Tällaisia neulasten optimipitoisuuksia on viimeksi ja laajahkoon aineistoon perustuen pyritty esittämään mm. ILVES-metsänterveyspalvelun 'Metsänterveysoppaassa' (Metsänterveysopas 1988), jonka neulasanalyysiohjearvot perustuvat pitkälti Metsäntutkimuslaitoksen maan- ja suontutkimusosastojen koetuloksiin. Myös neulasanalyysien käyttökelpoisuutta erilaisten ravinnepuutos- ja kasvuhäiriöiden selvittämisessä on arvioitu (mm. Paarlahti ym. 1971, Veijalainen 1977, Kolari 1979 (toim.), 1983, 1988, Veijalainen ym. 1984, Raitio 1987).

Neulasanalyysien tulkintaan liittyy monia vaikeuksia, joista eräs on neulasten ravinnepitoisuuksien suhteellisen voimakas puu- ja metsikkökohtainen vaihtelu. Jos lisäksi puulle ominainen ravinnefysiologia on jostakin ulkopuolisesta syystä häiriintynyt, kuten esimerkiksi sairauden aiheuttaman neulaskadon vuoksi, saattaa analyysitulosten tulkinta vielä huomattavasti vaikeutua. Neulasnäytteitä kerättäessä ei latvuksen kuntoon yleensä ole kiinnitetty huomiota. Näin ollen ei juurikaan ole käytettävissä puukohtaista tietoa siitä, miten puun nopea neulasmenetys vaikuttaa jäljellejäävien ja myöhemmin kehittyvien neulasten ravinnepitoisuuksiin.

V. 1987 käynnistettiin Metsäntutkimuslaitoksen metsäpatologian tutkimussuunnalla Vantaalla tutkimus, jonka tarkoituksena oli selvittää, poikkeavatko männynversosyövän (*Ascocalyx abietina* (Lagerb.) Schläpfer-Bernhard) pahasti vaurioittamien puiden neulasten ravinnepitoisuudet vieressä kasvavien terveiden puiden pitoisuuksista. Versosyöpä on viimeisen 10-15 vuoden aikana muodostunut Suomessa taloudellisesti merkittävimmäksi nuorten ja paikoin myös vanhempien männiköiden sienitaudiksi, jonka elintavoista sekä aiheuttamista tuhoista on raportoitu useassa yhteydessä (Kurkela 1981, 1988, Kurkela ja Lilja 1984, Uotila 1988, Aalto-Kallonen ja Kurkela 1985, Jokinen 1988). Tutkimusmetsiköiksi valittiin sellaisia versosyövän vaivaamia nuoria männiköitä, joissa tauti oli tappanut oksia etupäässä alhaalta käsin. Vertailun vuoksi tutkittiin myös voimakkaalla pystykarsinnalla supistettujen latvusten ravinnepitoisuuksia terveiksi luokitelluissa metsiköissä. Tutkimuksen käytännön sovellutustarpeena oli mm. selvittää, poikkeavatko sairaiden tai latvukseltaan pienentyneiden puiden ravinnepitoisuudet normaaleista siinä määrin, että se tulisi huomioida neulasanalyysejä tulkittaessa.

TUTKIMUSAINEISTO

Tutkittavat puut sijaitsivat neljässä versosyövän vaivaamassa metsikössä Kurun ja Multian alueella sekä kahdessa pystykarsinnan voimakkuuskoemetsikössä Kuorevedellä ja Vesijaolla. Sairaat metsiköt olivat iältään 25-30 vuotiaita ja metsätyypiltään puolukkatyyppiä,

yhden edustaessa karuhkoa turvemaan männikköä. Karsitut metsiköt taas olivat puolukka- ja mustikkatyypin männiköitä iältään noin 10 vuotta em. nuorempia. Kustakin metsiköstä valittiin elävän latvuksen pituuden perusteella 10 puuparia. Jokaisessa parissa toisen puun latvus oli normaaliksi arvioitu (=kontrollipuu), ja toisen vieressä kasvavan puun (keskim. etäisyys n. 4 m) latvus oli sairauden supistama tai voimakkaasti pystykarsittu. Latvussuhde (ts. elävän latvuksen pituus / puun pituus) oli sairaissa tai karsituissa puissa noin puolet pienempi kuin kontrollipuissa. Sairaiden puiden keskipituus oli hieman terveitä pienempi, karsittujen ja karsimattomien välillä ei käytännössä ollut eroa. Valitsemalla tutkittavat puut pareittain pyrittiin minimoimaan maaperän ravinteisuuden ja muiden ympäristötekijöiden aiheuttama vaihtelu "sairaan" ja "terveen" puuluokan välillä. Ravinneanalysoitavia puita oli yhteensä siis 120 kpl, joista versosyövän latvukseltaan supistamia puita 40 kpl, pystykarsittuja 20 kpl ja latvukseltaan normaaleja 60 kpl.

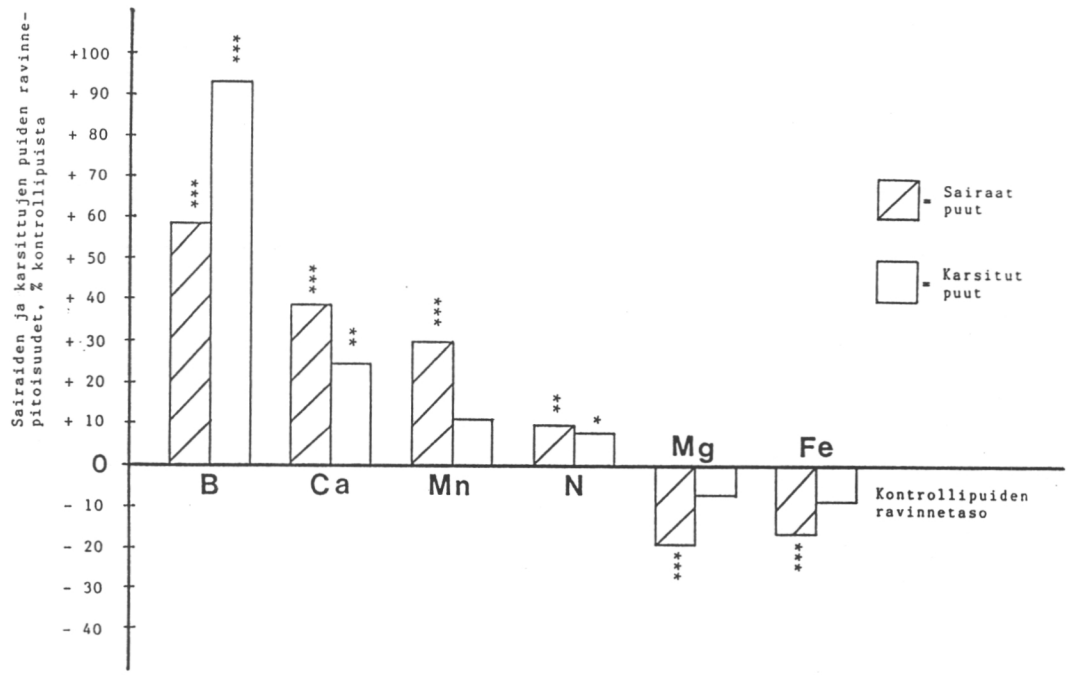
Kustakin koepuusta otettiin maaliskuussa 1987 ylimmästä oksakiehkurasta kaksi eteläpuoleista vuosikasvainta, ts. neulaset olivat edellisenä kesänä kehittyneitä. Jokaisen puun neulasnäytteestä analysoitiin erikseen 14 alkuainetta; N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Al, Cu, Zn, Na, B, C ja H. Lisäksi mitattiin mm. neulasten kokoon liittyviä tunnuksia. Alkuaineanalyysit tehtiin näytteiden esikäsittelyjen osalta pääasiassa Halosen ym. (1983) ohjeiden mukaan ja itse mittaukset ICP-plasmaemissiospektrometrillä sekä LECO CHN-600-analysaattorilla.

Aineiston tilastollisina käsittely-yksikköinä käytettiin kunkin puuparin puiden välisiä ravinnepitoisuuseroja (sairas-terve, karsittu-karsimaton) neulasten kuivapainoa kohden. Näin voitiin osaksi eliminoida kasvupaikkojen vaihtelusta johtuvat itse puuparien väliset erot metsiköiden sisällä ja aineisto käsitellä riippuvien ryhmien parittaisella t-testillä. Lähtöoletuksena oli ts. se, että kahdella vierekkäin kasvavalla vallitsevan latvuskerroksen puulla tulisi olla keskimäärin samat ravinnepitoisuudet samasta kohtaa latvuksesta otetuissa saman vuoden neulasissa. Tässä yhteydessä esitetyt tiedot ovat alustavia ennakkotuloksia. Myöhemmin julkaistavassa laajemmassa raportissa on esitettynä mm. neulasten absoluuttiset ravinnepitoisuudet, neulasparien pituus- ja kuivapainomittaustulokset sekä tarkempia puu- ja metsikkökohtaisia tunnuksia.

ENNAKKOTULOKSIA

Kuvassa 1 on esitetty yhteenveto niiden ravinteiden osalta, joissa havaittiin kaikissa metsiköissä yhdenmukaisimmat sekä tilastollisesti merkitsevät erot (riskitaso 5 %) latvukseltaan supistuneiden ja kontrollipuiden välillä. Nollalla merkitty vaaka-akseli edustaa terveiden tai karsimattomien puiden ravinnepitoisuustasoa. Se, kuinka monta prosenttia sairaiden tai karsittujen puiden pitoisuudet keskimäärin eroavat tästä tasosta, on kuvattu pylväillä.

Sairaiden puiden boori-, kalsium-, mangaani- ja typpipitoisuudet olivat kaikissa tutkituissa metsiköissä keskimäärin korkeammat kuin terveiden puiden. Erityisesti boorin kohdalla saatiin suuruusluokaltaan kaikkein merkittävimmät erot puuluokkien välille. Sairaissa puissa sitä oli keskimäärin noin 60 % ($p<0,001$) ja karsituissa puissa jopa yli 90 % ($p<0,001$) enemmän kuin niissä puissa, joiden latvus oli normaali. Kalsiumia oli sairaissa puissa vajaat 40 % enemmän kuin terveissä puissa ($p<0,001$). Myös karsituissa puissa oli kalsiumia enemmän noin 25 % ($p<0,01$). Mangaania oli sairaissa puissa noin 30 % enemmän kuin terveissä ($p<0,001$). Karsimisen osalta ei saatu tilastollista eroa puuluokkien välille, vaikkakin karsittujen puiden mangaanipitoisuuksien keskiarvo oli terveitä korkeampi. Sen sijaan typpeä oli sekä sairaissa ($p<0,01$) että karsituissa puissa ($p<0,05$) noin 10 % enemmän kuin niillä puilla, joissa oli normaali latvus. Yhteyttämisen kannalta tärkeitä ravinteita magnesiumia ja rautaa oli sairaissa puissa vajaat 20 % vähemmän kuin terveissä ($p<0,001$). Karsittujen puiden vastaavissa ravinteissa ei ollut tilastollista eroa kontrollipuihin, jos huomioitiin kaikki karsitut puut. Sen sijaan pelkän puolukkatyypin metsikössä magnesiumia oli karsituissa puissa noin 16 % vähemmän (5 %:n riskillä) ja rautaa noin 17 % vähemmän (10



Kuva 1. Suhteelliset ravinnepitoisuudet latvukseltaan supistuneiden puiden (sairaat; n=40 ja karsitut; n=20) ja kontrollipuiden (terveet; n=40 ja karsimattomat; n=20) välillä. Merkitsevyyden riskitaso ko. puuluokan ja kontrollipuiden neulasten ravinnepitoisuuksien välillä (=p<0,05, **=p<0,01, ***=p<0,001).*

%:n riskillä) kuin niissä puissa, joiden latvusta ei oltu karsittu. Vertailtujen puiden määrä ei riittänyt kaikkien tutkittujen ravinteiden tai alkuaineiden mahdollisten erojen selvittämiseen suuren puukohtaisen hajonnan takia. Mm. sinkin ja kuparin pitoisuusero kahden puun välillä saattoi versosyöpämetsikössä olla jopa kymmenkertainen.

Tutkimuksen tulosten merkitystä analysoitaessa on syytä huomioida mm. seuraavia epävarmuustekijöitä:

1) Neulasnäytteiden ravinneanalyysi perustui aineistoon, joka oli kerätty elävän latvuksen supistumisen jälkeen, ts. tietoa neulasten ravinnepitoisuuksista ennen sairautta tai karsintaa ei ole.

2) Puiden elävän latvuksen supistuminen oli tapahtunut sekä metsikkö- että puukohtaisesti eri aikoina ja tavoin. Sairaissa metsiköissä pahin versosyöpäepidemia oli ollut v. 1982, eli 5 vuotta ennen neulasnäytteiden keruuta. Lisäksi tautia oli ranganvaihtojen perusteella esiintynyt vuosittain samoissa metsiköissä v. 1976-1985. Pystykarsitut puut oli karsittu kummassakin metsikössä liukuvasti siten, että karsinnasta oli vain 1-2 vuotta neulasnäytteiden keruuseen. Jo yksistään tämän takia on epätodennäköistä, että ravinnepitoisuuserot kontrollipuihin olisivat sekä versosyöpä- että karsintametsiköissä täysin samankaltaisia.

Epävarmuustekijöistä huolimatta latvukseltaan supistuneet puut poikkesivat ravinteisuuden suhteen vieressä kasvavista normaalilatvuksisista puista enemmän, kuin mitä luonnollinen satunnaisvaihtelu aiheuttaa. Tämän tutkimusaineiston perusteella näyttääkin mahdolliselta, että männyn elävän latvuksen supistuminen voi lisätä tai vähentää neulasten tiettyjen ravinteiden tai alkuaineiden pitoisuuksia. Näin on erityisesti boorin, typen ja kal-

siumin kohdalla, mutta mahdollisesti myös magnesiumin, mangaanin ja raudan osalta. Sairaan metsän ravinneanalyysin tulkinnassa tämä mahdollisuus kannattanee ottaa huomioon ennen päätöstä mahdollisista metsänhoidollisista toimenpiteistä kuten esimerkiksi lannoituksesta oletetun ravinnehäiriön korjaamiseksi. Teoriassa voidaan nimittäin spekuloida ajatuksella, että maan ravinteisuuden suhteen esim. boorinpuutteesta kärsivä metsikkö ei neulasanalyysien mukaan enää kärsisikään ko. puutteesta sairastuttuaan versosyöpään tai menetettyä äkillisesti osan neulasistaan. Vastaavasti taas magnesiumin tai raudan kohdalla neulasanalyysi saattaisi antaa todellisuutta heikomman kuvan maan ravinnepitoisuuksista ko. ravinteiden suhteen.

Kirjallisuus

Aalto-Kallonen, T. & Kurkela, T. 1985. Gremmeniella disease and site factors affecting the condition and growth of Scots pine. Seloste: Versosyöpätauti ja ympäristö männyn kuntoon ja kasvuun vaikuttavina tekijöinä. Commun. Inst. For. Fenn. 126. 28 s.

Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121. 28 s.

Jokinen, K. 1988. Metsänlannoituksen vaikutus puiden tuhonkestävyyteen. Kirjallisuuskatsaus. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 287:14-15.

Kolari, K.K. 1979. Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriöilmiö Suomessa - kirjallisuuskatsaus. Abstract: Micronutrient deficiency in forest trees and dieback of Scots pine in Finland - a review. Folia. For. 389. 37 s.

Kolari, K.K. (toim.) 1983. Growth disturbances of forest trees. Proceedings of international workshop and excursion held in Jyväskylä and Kivisuo, Finland, 10.13. October, 1982. Seloste: Metsäpuiden kasvuhäiriöt. Jyväskylässä ja Kivisuolla 10.-13. lokakuuta 1982 pidetyn kansainvälisen symposiumin esitelmäraportit. Commun. Inst. For. Fenn. 116. 208 s.

Kolari, K.K. 1988. Metsäpuiden kasvuhäiriöt. Kasvuhäiriöiden loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 310. 35 s.

Kurkela, T. 1981. Versosyöpä (*Gremmeniella abietina*) riukuasteen männiköissä. Summary: Canker and die back of Scots pine at precommercial stage caused by *Gremmeniella abietina*. Folia For. 485. 12 s.

Kurkela, T. 1988. Metsän taudit. Metsäpatologian perusteet. Erikoisosa. Helsingin yliopiston kasvipatologian laitoksen monisteita 42. 208 s.

Kurkela, T. & Lilja, S. 1984. Taimitarhan sienitauteja. Keskusmetsälautakunta Tapio. 15 s.

Metsäterveysopas, 1988. Metsätuhot ja niiden torjunta. Jukka, L. (toim.). Samerka Oy. Vaasa. 168 s.

Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of scots pine stands by needle and peat analysis. Seloste: Maa- ja neulasanalyysi turvemaiden männiköiden ravitsemustilan määrityksessä. Commun. Inst. For. Fenn. 74(5). 58 s.

Raitio, H. 1987. Neulasvuosikertojen merkitys neulasanalyysin tulkinnassa. Abstract: The significance of the number of needle year classes in interpreting needle analysis results. Silva Fennica 21(1):11-16.

Uotila, A. 1988. Ilmastotekijöiden vaikutus männynversosyöpätuhoihin. Summary: The effect of climate factors on the occurrence of Scleroderris canker. Folia For. 721. 23 s.

Veijalainen, H. 1977. Use of needle analysis for diagnosing micronutrient deficiencies of Scots pine on drained peatlands. Seloste: Neulasanalyysi männyn mikroravinnetilanteen määrityksessä turvemailla. Commun. Inst. For. Fenn. 92(4). 32 s.

Veijalainen, H., Reinikainen, A. & Kolari, K.K. 1984. Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Kasvuhäiriöprojektin väliraportti. Summary: Nutritional growth disturbances of forest trees in Finland. Interim report. Folia For. 601. 41 s.

SORMIPAISUKARVEJÄKÄLÄN, *HYPOGYMNIA PHYSODES*, ALKUAINEPITOISUUDET LAPIN JA KOILLIS-SUOMEN METSÄLAUTAKUNTIEN ALUEILLA 1986

Eero Kubin

JOHDANTO

Sormipaisukarve (*Hypogymnia physodes*) on laajalle levinnyt epifyyttijäkälä, joka on suhteellisen kestävä ilman epäpuhtauksia vastaan. Esim. kokeellisessa tutkimuksessa rikkidioksidin vaikutuksesta jäkäliin (O'Hare ja Williams 1975) *Usnea subfloridana*-lajin klorofyllissä ilmeni muutoksia jo kahden päivän kuluttua kun vastaava aika *Hypogymnialla* oli 24 ja *Pseudevernia furfuracealla* 21 päivää. Kokeen jälkeen kaikkien käsiteltyjen lajien rikkipitoisuudet olivat suuremmat kuin vastaavilla kontrollinäytteillä. Transplantaatiokokeessa (O'Hare 1974) sekä *Usnea subfloridana* että *Hypogymnia physodes* akkumuloivat rikkiä siinä suhteessa, mikä oli ilman keskimääräinen rikkidioksidipitoisuustaso. Myös Griffith 1966 (Cit. Hawksworth 1973) havaitsi, että *Hypogymnia physodes*-lajin rikkipitoisuus oli suhteessa ilman rikkipitoisuuden kanssa. Guderian (1977) puolestaan korostaa, että *Hypogymnia physodes*-lajin indikaattoriarvo on erityisen suuri siellä, missä ilman epäpuhtauspitoisuudet ovat alhaiset.

Tämän tutkimuksen *Hypogymnia physodes* näytteet kemiallista analyysiä varten kerättiin Metsäntutkimuslaitoksen ILME-projektin pysyviltä koealoilta (Valtakunnan ...1986). Koko maan kattavasta aineistosta on tehty kaksi julkaisua, joista toinen käsittelee rikkipitoisuutta (Kubin 1988a) ja toinen kaikkia tutkittuja aineita (Kubin 1989b). Tässä yhteydessä esitetään karttoina osa Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueilta kerättyjen näytteiden tuloksista. Nämä kartat eivät sisälly edellä mainittuihin julkaisuihin.

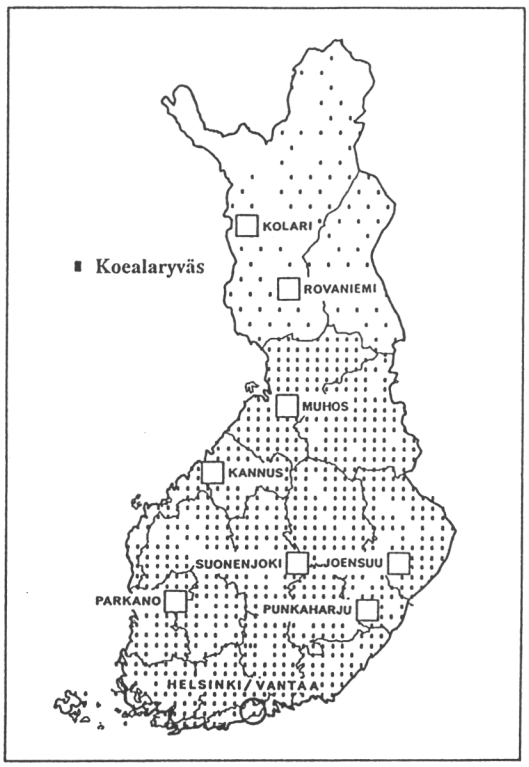
AINEISTO JA MENETELMÄT

Näytteiden keruu

Koealojen perustamista, näytteiden ottoa ja maastomittauksia varten koulutettiin 12 työryhmää, joihin kuhunkin kuului tavanomaisesta inventoinnista poiketen kasvitieteeseen perehtynyt biologi. Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueita lukuunottamatta luonteeltaan samanlaiset koealat perustettiin kesällä 1985 siten, että ryhmät toimivat samanaikaisesti eri osissa maata. Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueilla koealojen perustaminen ja näytteiden keruu tehtiin kesällä 1986.

Koealojen sijoittaminen maastoon noudatti valtakunnan metsien 5. inventoinnista alkaen käytössä ollutta lohkoinventoinnin periaatetta (Kuusela ja Salminen 1969), jossa lohkolla tarkoitetaan koko maan kattavan verkoston muodostamia inventointiyksiköitä.

Inventoinnin näyteyksikkö lohkolla on linja, jossa yksittäiset koealat ovat tietyllä etäisyydellä lohkon määrityspisteestä. Koko järjestelmä on sidottu yhtenäiskoordinaatistoon.



Kuva 1. Metsäntutkimuslaitoksen pysyvien koealojen rypäät, joilta sormipaisukarvejäkälää kerättiin vuosina 1985 ja 86. Kuvaan on erikseen merkitty metsälautakuntien alueiden rajat sekä Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusasemat.

Pysyvillä koealoilla lohkojen identifioimispisteiden etäisyydet olivat pääilmansuunnissa 16 km poikkeuksena Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueet, joissa etäisyys itälänsisuunnassa oli 32 ja eteläpohjoisuunnassa 24 km (kuva 1). Lohkon koealoista käytetään nimitystä ryväs, joka tiheämmällä alueella käsitti neljä 400 m:n ja harvemmalla alueella kolme 600 m:n päässä toisistaan olevaa koealaa. Jäkälänäytteet kerättiin erikseen jokaiselta koealan edustamalta kuviolta (Reinikainen ja Nousiainen 1985).

Näytteitä ei saanut ottaa, jos koeala oli lähempänä kuin 300 m valtatiestä, taajamasta tai teollisuuslaitoksesta tai 100 m lähempänä paikallistietä, metsäautotietä, talvitietä, taloa tai kesämökkiä. Se ei saanut olla myöskään 20 m lähempänä ajouraa tai nuotiopaikkaa. Lisäksi näyte otettiin (1) lumirajan yläpuolelta, (2) mahdollisimman avoimelta tuulettuvalta paikalta, (3) ensisijaisesti metsikön valtapuulajilta, joko männyltä tai kuuselta ja (4) sitä ei saanut ottaa tippuveden vaikutuspiiristä. Missään vaiheessa näytteitä ei saanut koskettaa paljain käsin, vaan näytteet irroitettiin muovikäsineen suojaamin sormin poutasäällä paperipussiin ja sadesäällä muovipussiin.

Pysyviä salaisia koealoja perustettiin koko maahan kaikkiaan 3 009, mutta edellä mainituista ehdoista ja jäkälien puuttumisesta johtuen *Hypogymnia physodes*-lajia kertyi vain 2 385 näytettä. Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueilta näytteitä kertyi 154.

Koealojen perustamisessa oli kyse sattumanvaraisen koealaverkoston luomisesta, mikä merkitsi samalla myös kasvupaikan rakenteen sattumanvaraista vaihtelua. Näin ollen esim. kerättyjä jäkälänäytteitä ei aina saatu samanlaiselta kasvualustalta tai samalta puulajilta.

Puulajin suhteen jakauma lopullisessa materiaalissa oli 1 413 näytettä männyltä, 689 kuuselta, 11 rauduskoivulta, 252 hieskoivulta, 5 haavalta, 6 harmaalepältä ja 9 muilta nimeltä mainitsemattomilta lehtipuilta. Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueilta oli vastaavasti 47 näytettä männyltä, 35 kuuselta ja 72 hieskoivulta.

Männyiltä kerätyistä näytteistä 1 286 kasvoi rungolla, 25 elävillä oksilla, 83 kuolleilla oksilla ja 19 näytteen alustaa oli kerättäessä jäänyt kirjaamatta. Kuuselta kerätyistä näytteistä 72 oli rungolta, 314 eläviltä oksilta, 296 kuolleilta oksilta ja 7 näytettä jäi alustaltaan tuntemattomien ryhmään. Lapin ja Koillis-Suomen lautakuntien alueilta saaduista näytteistä männyn rungoilta kerättiin 23, eläviltä oksilta 2 ja kuolleilta oksilta 22. Kuuselta näytteitä kertyi eläviltä oksilta 21 ja kuolleilta 14. Aineiston valtakunnallisessa ja alueellisessa tarkastelussa kasvualustaa ja puulajia ei ole erotettu, sillä mahdollisen laskeuman oletetaan näkyvän näitä tekijöitä voimakkaampana. Tästä seuraa, että niiden alkuaineiden, jotka eivät ole suurina määrinä peräisin eri päästälähteistä, alueellinen vaihtelu saattaa enemmän kuin päästöistä peräisin olevilla aineilla johtua juuri ekologisista olosuhteista.

Varastointi

Näytteet lähetettiin välittömästi keruun jälkeen Metsäntutkimuslaitoksen Muhoksen tutkimusasemalle varastoitavaksi erikseen tätä tutkimusta varten kunnostettuun tasalämpöiseen varastoon. Ennen lopullista sijoittamista näytteitä kuivattiin +30 °C:n lämmössä niin kauan, että painon vähenemistä ei enää tapahtunut. Pikäaikainen varastointi tapahtuu huoneen lämpötilassa. Lämpötilaa ja ilman suhteellista kosteutta kontrolloidaan piirtävällä termohygrogarfilla.

Kemiallinen analyysi

Kemiallisen analyysin ensimmäinen vaihe oli näytteiden puhdistaminen. Tämä tehtiin kuivista näytteistä, jonka jälkeen sekovarret jauhettiin hienoksi myllyssä. Jauhettua massaa punnittiin 1 g 250 ml:n Kjeltec-putkeen ja lisättiin 10 ml väkevää typpihappoa. Yli yön kestäneen seisottamisen jälkeen lisättiin 4 ml 70 %:sta perkloorihappoa, ravistettiin ja siirrettiin polttolaitteeseen. Märkäpoltto tehtiin 20-paikkaisella Tecator Digestion System 20 laitteella siten, että lämpötila nostettiin vaiheittain 225 °C:seen. Kokonaispolttoaika oli 3 h 15 min. Jäähtynyt liuos laimennettiin mittapullossa 25 ml:n tilavuuteeen.

Edellä kuvatut vaiheet tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen Muhoksen tutkimusaseman laboratoriossa, jota seurasi alkuainepitoisuuksien mittaus ICP-plasmaemissiospektro- fotometrillä Metsäntutkimuslaitoksen keskuslaboratoriossa. Typen määritys tehtiin kuitenkin alusta loppuun Muhoksella käyttäen erityistä mikro-Kjeldahl -menetelmän sovellutusta (Kubin 1978), joka aikaisemmissa tutkimuksissa (Kubin ja Siira 1980) oltiin todettu varsin sopivaksi myös jäkälän (*Cladonia stellaris*) typpipitoisuuden mittaamiseen.

Kemiallista analyysiä valmisteltiin huolella ennen varsinaista näytteiden tutkimista (Kubin 1987). Menetelmän luotettavuutta testattiin mm. käyttämällä kansainvälistä arvostettua standartia, jonka ainepitoisuuksille standartin valmistaja oli luvannut määrätyn luotettavuuden. Tämän kemisti Harri Lipon johdolla tehdyn menetelmäkokeilun perusteella perkloorihapossa tehty märkäpoltto yhdistettynä ICP määritykseen antoi luotettavia tuloksia seuraavista aineista: Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu ja Pb. Kromi-, kadmium-, nikkeli ja vanadiinipitoisuuksissa oli selvä tasoero käytettyyn standartiin nähden, mutta niiden toistettavuus oli kuitenkin hyvä ja myös ne sisällytettiin määrityksiin.

Heikoimmin vertailukelpoinen oli titaanin määritys, joskin myös sen toistuvuus oli tyydyttävä. Na ja B pitoisuuksia ei kansainväliselle standartille ollut annettu, sillä näitä aineita irtoaa epäpuhtautena mm. koeputkien seinästä.

Tässä tutkimuksessa myös näiden pitoisuus jäkälässä mitattiin, mutta tulokset oli boorin osalta hylättävä mainitun kontaminaation takia. Vanadiinipitoisuudet puolestaan olivat selvästi alle ICP:n toteamisrajan, mistä johtuen mittauksia ei tehty kuin osasta jäkälänäytteitä. Molydeeniarvot mitattiin kaikista näytteistä, mutta pitoisuudet olivat lähes kaikki ICP:n toteamisrajan alapuolella ja siten myös ne hylättiin lopullisesta tarkastelusta. Ne alkuaineet, joista saatiin luotettavia tuloksia, ovat: Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, N, Na, Ni, Pb, S, Ti ja Zn. Tässä raportista esitellään Lapin alueelta Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, N, Ni, Pb ja S.

Märkäpoltto on tulosten luotettavuuden kannalta ehkä kaikkein vaativin kemiallisen analyysin vaihe. Vaillinainen poltto jättää ainetta hajoamattomaan muotoon, liiallinen taas saattaa haihduttaa ainetta höyryn mukana pois liuoksesta. Työvaiheen vaativuutta korostaa lisäksi se, että saman koesarjan näytteitä joudutaan polttamaan useita kertoja, tässä tutkimuksessa 161 kertaa.

Tämän sekä myös muiden kemiallisen analyysin vaiheiden kontrollointiin kiinnitettiin tässä tutkimuksessa erityistä huomiota. Jokaiseen yksittäiseen märkäpolttoon sijoitettiin kolme nollaa eli koeputkia joissa oli vain liuos mutta ei näytettä. Tämän perusteella Cr-, Cd-, Mo- ja Ni-pitoisuuksissa reagensseista aiheutuva epäpuhtaus katsottiin aiheelliseksi vähentää ennen tulosten lopullista ilmoittamista.

Kemiallisen analyysin luotettavuutta testattiin myös mittaamalla toistuvasti saman näytteen ainepitoisuuksia. Tällä tavalla saatiin kuva menetelmän toistettavuudesta ja myös polttolaitteen eri putkien polttotehosta. Tätä samaa jäkälämassaa sijoitettiin myös niiden näytteiden sekaan, jotka oli kerätty maastosta. Alunperin koko tutkimusta varten kerätty näyte kuitenkin loppui ja sitä jouduttiin keräämään vielä kaksi kertaa. Kolmen eri keruuerän käytöstä huolimatta kontrollinäytteiden avulla saatiin hyvä kuva menetelmän luotettavuudesta, sillä tulosten hajonta peräkkäisten märkäpolttokertojen muodostamassa aineistossa oli pieni verrattuna varsinaisiin näytteisiin. Tästä voitiin päätellä, että varsinaiset näytteet todella kuvastavat sitä vaihtelua, mikä luonnossa näytteiden keruuhetkellä vallitsi.

Tulosten esittäminen

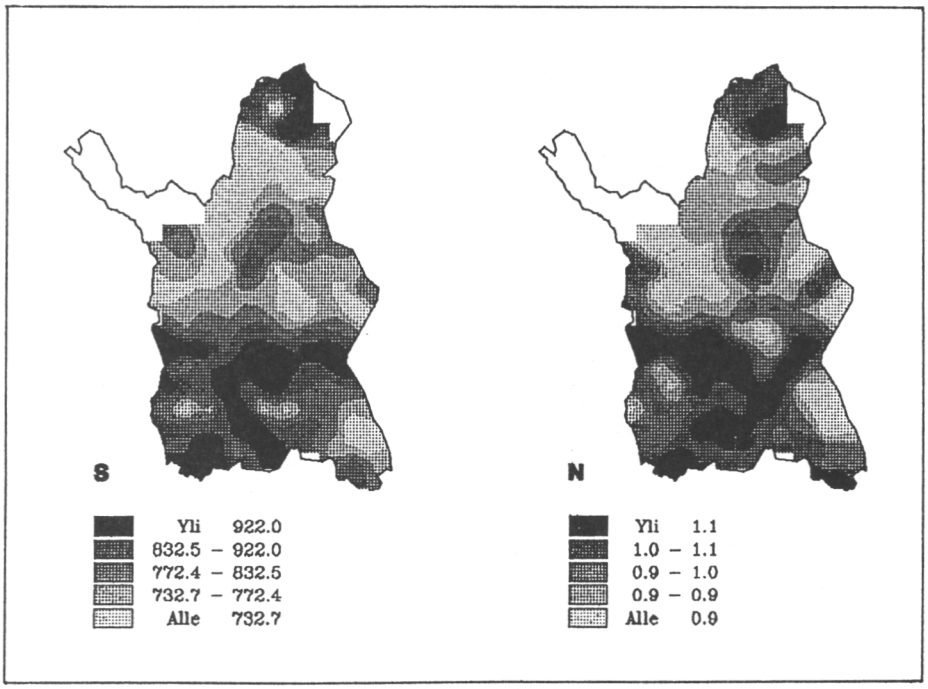
Koko maan aineisto koostui 2 385 yksittäisestä *Hypogymnia physodes*-näytteestä. Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueilta näytteitä analysoitiin 154 ja koealarypäitä oli 92. Rypäiden muodostama verkosto oli harvempi kuin muualla Suomessa ja lisäksi yhteen rypääseen kuului vain 3 koealaa (kuva 1). Tulosten esittämisen pohjana on ryväskeskiarvo, mikä menettely tasoittaa suurempien pitoisuuksien vaikutusta.

Ryväskeskiarvojen perusteella on laadittu kartat, joissa ainepitoisuudet on ryhmitelty viiteen eri luokkaan. Karttojen laadinnassa avusti FK Alfret Colbaert Oulun yliopiston maantieteen laitokselta. Tässä yhteydessä esitetään rikki-, typpi-, kupari-, rauta-, mangaani-, sinkki-, kadmium-, kromi-, nikkeli- ja lyijypitoisuuksien alueellinen vaihtelu Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueilta kerätyissä näytteissä.

TULOKSET

Rikki ja typpi

Rikki ja typpi ovat molemmat keskeisiä kasvien runsaina määrinä tarvitsemia ravinteita, joilla molemmilla on tärkeä merkitys protoplasman ja entsyymien rakenneosina. Happaman sateen muodostumisessa molemmilla on myös samankaltainen osuus, sillä niiden oksidideista muodostuu eri vaiheiden kautta kemiallisia yhdisteitä, jotka lisäävät veden happamuutta eli vetyionien määrää.



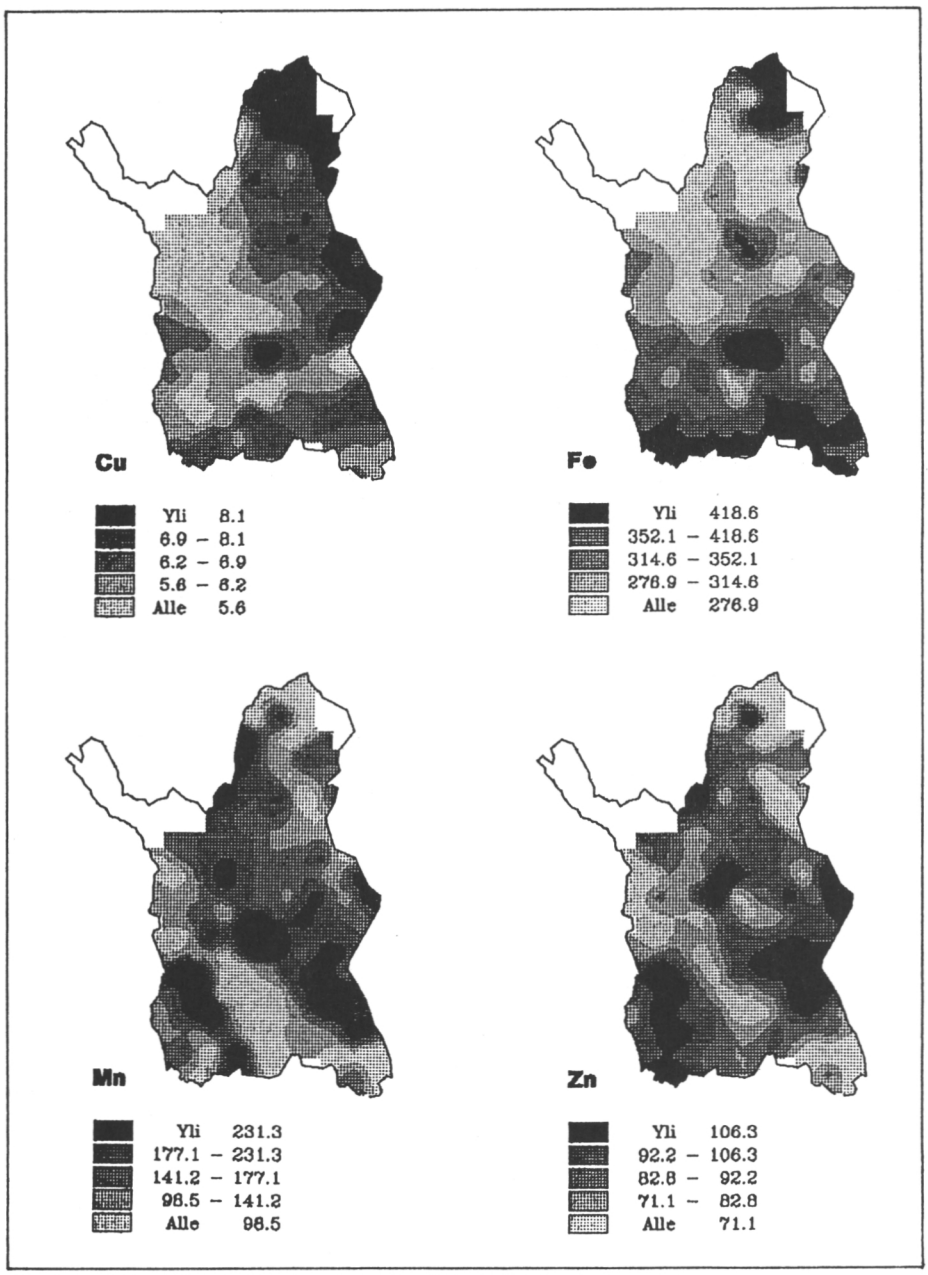
Kuva 2. Rikki- ja typpipitoisuuden alueellinen vaihtelu sormipaisukarvejäkälässä Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueilla 1986. Valkealta alueelta ei ole kerätty näytteitä. Pitoisuudet µg/g kuivaa jäkälää.

Hypogymnia physodes -epipfyyttijäkälän rikkipitoisuuden koko maan keskiarvo oli 1092 µg/g ja vaihteluväli 599-2610 µg/g. Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueelta kerättyjen näytteiden keskiarvo oli 832 µg/g ja vaihteluväli 599-1250 µg/g. Suurimpien pitoisuuksien alueita (kuva 2) oli useita. Yksi ulottui Neuvostoliiton rajalta Sallan-Kemijärven korkeudelta Keski-Lappiin ja sieltä etelään. Kemi-Tornion pohjoispuolella oli suurten pitoisuuksien alue sekä myös Kolarin kohdalla länsirajalla. Vastaava alue on myös pohjoisimmassa osassa Inarin Lappia, jossa aivan itärajan tuntumasta ei kuitenkaan saatu näytteitä.

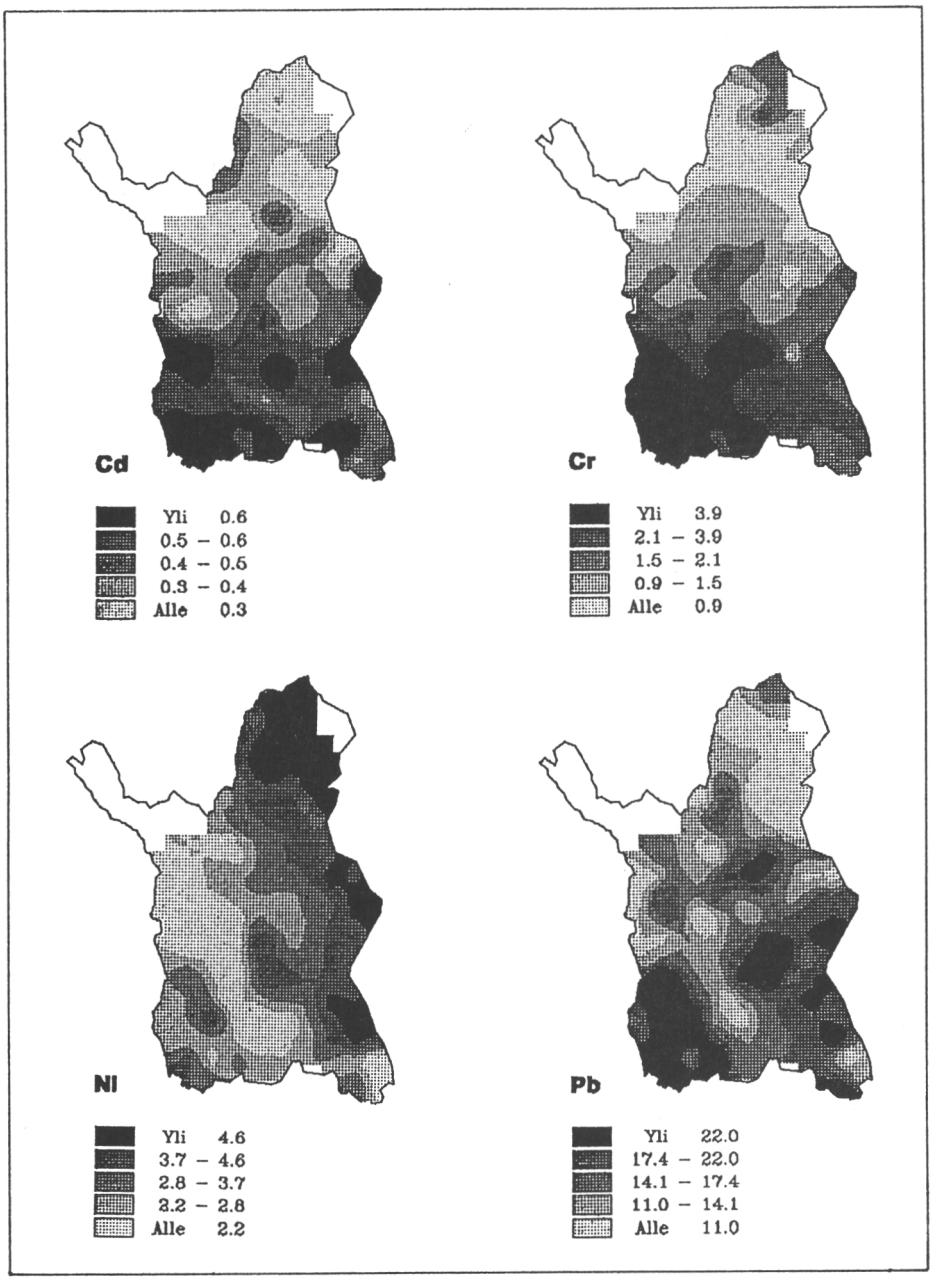
Jäkälien typpipitoisuuden keskiarvo koko maassa oli puolestaan 1,3 % ja vaihteluväli 0,75-2,56 % kuivapainosta. Typpipitoisuuden keskiarvo Lapissa oli 1,0 % kuivapainosta ja vaihteluväli 0,7-1,4 %. Pitoisuusluokkien alueellisuus (kuva 2) oli huomattavalta osin rikin kaltainen.

Kupari, rauta, mangaani ja sinkki

Mainitut alkuaineet ovat keskeisiä mikroravinteita, joilla on olennainen merkitys kasvin perusaineenvaidunnassa ja eri biokemiallisessa reaktioissa. Rautaa lukuunottamatta niiden on todettu suurina määrinä luontoon joutuessaan olevan myös ympäristösaasteita. Koska näiden ravinteiden yhdisteet maaliuoksessa ovat monimuotoiset, olosuhteista riippuen kasveissa voi ilmetä myös niiden puutosoireita.



Kuva 3. Kupari-, rauta-, mangaani- ja sinkkipitoisuuksien alueellinen vaihtelu sormipaisukarvejäkälässä Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueilla 1986. Valkealta alueelta ei ole kerätty näytteitä. Pitoisuudet µg/g kuivaa jäkälää.



Kuva 4. Kadmium-, kromi-, nikkeli- ja lyijypitoisuuksien alueellinen vaihtelu sormipaisukarvejäkälässä Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueilla 1986. Valkealta alueelta ei ole kerätty näytteitä. Pitoisuudet µg/g kuivaa jäkälää.

Jäkälien kuparipitoisuuksien keskiarvo oli koko maan aineistossa 7,3 µg/g ja vaihteluväli 3,5-199,6 µg/g. Lapissa keskiarvo oli 6,9 µg/g ja vaihteluväli 4,0-22,4 µg/g. Suurten arvojen painottuminen Koillis-Lappiin on selvä (kuva 3). Rautapitoisuuksien keskiarvo oli koko maassa 544 µg/g ja vaihteluväli 180-3759 µg/g jäkälää. Lapin alueen keskiarvo oli 344 µg/g ja vaihteluväli 180-782 µg/g. Suurimmat arvot olivat Lapin eteläosissa ja Inarin Lapissa.

Mangaanipitoisuuden koko maan keskiarvo oli 131 µg/g ja vaihtelevasti 20-693 µg/g jäkälää, Lapissa vastaavasti 172 µg/g ja vaihteluväli 20-693 µg/g. Merkille pantavaa on, että Lapin alueen keskiarvo on muuta maata suurempi. Sinkkipitoisuuden maan keskiarvo oli 86 µg/g ja vaihteluväli 38-216 µg/g jäkälää. Lapissa keskiarvo oli 91 µg/g ja vaihteluväli 38-216 µg/g. Sinkki- ja mangaanipitoisuuksien alueellisuus oli jossain määrin toistensa kaltaista (kuva 3).

Raskasmetallit

Määritetyistä alkuaineista kemiallisen luonteen ja biologisen vaikutuksen perusteella raskasmetalleihin kuuluvat cadmium, kromi, lyijy ja nikkeli. Vaikka näitä aineita esiintyy kasveissa, niitä ei kuitenkaan mainita kasveille välttämättömäksi alkuaineiksi. Erityisesti kadmium on haitallinen aine sekä ihmiselle että kasveille.

Kasveissa kadmiumin vaikutus perustuu kykyyn syrjäyttää sinkki entsymaattisista reaktioista. Ihmiselle kadmium on kumuloituva myrkky. Kasvien solukoissa on normaalisti kadmiumia 0,1-1,0 µg/g (Mengel ja Kirkby 1979), mutta sen määrä voi myös kohota suuren kadmiumtarjonnan ansiosta. Tämän tutkimuksen jäkälänäytteistä kadmiumpitoisuuden keskiarvo koko maan näytteistä oli 0,70 µg/g ja vaihteluväli 0,12-4,25 µg/g. Kun ottaa huomioon sen, että jäkälät yleensä tarvitsevat vähän ravinteita, eikä ilmeisesti kadmiumia lainkaan, mitattua maksimiarvoa on pidettävä varsin korkeana. Lapissa keskiarvo oli 0,57 ja vaihteluväli 0,12-1,93 µg/g jäkälää. Suuria pitoisuuksia (kuva 4) oli Kemi-Tornio alueella, sekä länsi-, keski- ja itä-osissa Lappia.

Kromin merkitys kasvien aineenvahdunnassa on toistaiseksi epäselvä eikä sen osuus kasvien biomassasta ole suuri. Myös maassa se on vaikealiukoisessa muodossa. Toisaalta kromia pidetään myrkyllisenä aineena. Jäkälien kromipitoisuuden keskiarvo koko maassa oli 2,13 µg/g (Lapissa 3,84) ja vaihteluväli 0,30-56,00 µg/g (Lapissa 0,53-56,00). Toisaalta käytetty menetelmä (Kubin 1987) antaa kromille hiukan korkeita pitoisuuksia, mutta kun määritysraja on niinkin alhainen kuin 0,75 µg/g, on varsinkin suurten pitoisuuksien määritys toistettavuuden osalta sinänsä luotettavaa. Suurimmat pitoisuudet muodostavatkin laajan yhtenäisen alueen (kuva 4).

Nikkelin tiedetään olevan myrkyllistä kasveille, vaikka sitä normaalisti tavataankin niissä 0,1-5 µg/g kuiva-ainetta. Mutta silloin kun nikkeliä on maaperässä runsaasti, pitoisuudet kasveissakin voivat kohota suuriksi. Jäkälänäytteiden nikkelipitoisuuden koko maan keskiarvo oli 2,62 µg/g ja vaihteluväli 0,00-51,82 µg/g. Lapissa keskiarvo oli 3,8 ja vaihteluväli 1,2-16,5 µg/g. Nikkelipitoisuuden suuret arvot painottuvat Itä-Lappiin (kuva 4).

Lyijy on erityisesti teiden varsien saaste (Rühling ja Tyler 1968, Takala ja Olkkonen 1981) ja se on myrkyllinen myös ihmiselle, mutta sen myrkkyvaikutuksista kasveille ei olla täysin perillä. Jäkälänäytteiden lyijypitoisuus oli koko maassa 18 µg/g ja vaihteluväli 1-62 µg/g, Lapissa 17,2 ja vaihteluväli 1,2-39,6 µg/g. Laajin suurimpien pitoisuuksien alue on Kemi-Tornion pohjoispuolella (kuva 4).

TULOSTEN TARKASTELU

Jäkälät on monissa laajoissa selvityksissä todettu herkiksi ilman saasteiden indikaattoreiksi ja niitä on käytetty tähän tarkoitukseen hyvin monella tavalla (Esim Ferry ym. 1973,

Kauppi 1980, Nash III ja Wirth 1988). Jäkälien ohella on varsinkin pohjoismaissa käytetty myös sammalia erityisesti raskasmetallien leviämisen kartoituksessa.

Verrattaessa jäkälistä saatua tulosta sammalten avulla laadittuihin yhteispohjoismaisiin karttoihin (Rühling ym. 1987) ovat kromi-, rauta- ja nikkelipitoisuuksien sekä myös kuparin alueelliset erot varsin yhteneviä. Toisaalta alueelliset erot tulevat jäkälänäytteissä sammalia herkemmin esille.

Verrattaessa tämän tutkimuksen rikkipitoisuuksia rikkilaskeumaa esittävään malliin (Kulmala 1985) suurimmat pitoisuudet jäkälässä ovat suurimman laskeuman alueella. Pohjois-Suomesta on ollut aiemmin esillä karttoja, joiden mukaan Kuolan alueelta peräisin oleva rikkilaskeuma olisi laajoilla alueilla Itä-Lappia yhtä suurta kuin Etelä-Suomessa. Tämän tutkimuksen tulokset eivät tue tätä käsitystä, vaan suurimman rikkilaskeuman alue olisi Inarijärven takana aivan pohjoisimmassa osassa Suomea. Uudemmissa vielä julkaisemattomissa malleissa Kuolan alueelta tuleva vaikutusalue on pitkälle yhtenevä tämän tutkimuksen tuloksen kanssa. Ruotsissa Westman (1986) on mitannut samasta *Hypogymnia physodes* -lajista suuria rikkipitoisuuksia siellä missä laskeuma on suuri ja vastaavasti pieniä pienen laskeuman alueella. On kuitenkin syytä korostaa, että jäkälänäytteet kerättiin vuonna 1986 ja tässä esitetty tilanne kuvaa keruuvuotta ja sitä edeltänyttä aikaa.

Vaikuttaakin siltä, että kun vallitsevat tuulet puhaltavat Pohjois-Suomessa pääsääntöisesti koilliseen ja vain vähäisessä määrin Kuolasta Lappiin tai pitkin Suomen ja Neuvostoliiton rajaa, ei tästä johtuen rikin akkumuloitumista jäkälään ehdi tapahtua siinä määrin kuin esim. Lapin lounaisosissa tai Etelä-Suomessa. Laskeumaa Kuolasta Suomen puolelle kyllä tulee, kuten eräiden metallien osalta on tässäkin tutkimuksessa nähtävissä, mutta ilmeisesti metallien leviäminen poikkeaa olennaisesti kaasumaisena leviävien rikki- ja typpiyhdisteiden laskeumasta. Typpi- ja rikkipitoisuuksien alueelliset erot olivat tämän tutkimuksen aineistossa pitkälle toistensa kaltaiset ja myös pohjoisimman Suomen osalta. Toisaalta rikin akkumuloitumista jäkälään eri olosuhteissa tarvitaan lisätutkimuksia, ja sellaista työtä on jo aloitettu.

Tämän tutkimuksen avulla on selvitetty, mitkä aineet ovat päätekijöitä alueellisessa laskeumassa Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueilla. Laskeuman absoluuttisesta määrästä ei kuitenkaan tämän tutkimuksen tulosten avulla voi tehdä päätelmiä. Tutkimukseen ei myöskään sisälly laskeuman luonnolle aiheuttamien vaikutusten selvittäminen. Tämänkaltaisen tutkimuksen alueelliselle suuntaamiselle ja vaikutustutkimusten painopistealueiden hakemiselle nyt tehdyn tutkimuksen pitäisi kuitenkin tarjota mitä otollisimmat lähtökohdat.

Kirjallisuus

Ferry, B. W., Baddeley, M. S. & Hawksworth, D. L. (eds.) 1973. Air pollution and lichens. The Athlone Press of the University of London. 389 s.

Griffith, J. L. 1966. Some aspects of the effect of at mospheric pollution on the lichen flora to the west of Consett, Co. Durham. M.Sc. thesis, University of Durham.

Guderian, R. 1977. Air Pollution. Phytotoxicity of acidic gases and its significance in air pollution control. Ecological studies 22. 127 s.

Hawksworth, D. L. 1973. Mapping studies. B. W. Ferry,M. S. Baddeley, and D. L. Hawksworth, (eds.), In Air pollution and lichens. The Athlone Press of the University of London. s. 38-76.

Kauppi, M. 1980. Methodological cotributions on the use of lichens as a tool for studying air pollution. Acta Universitatis Ouluensis A. 104. Biol. 10.

Kubin, E. 1978. Kasvimateriaalin typpipitoisuuden määrittämisestä.The determination of the organic nitrogen in plant material. Oulun yliopiston kasvitieteenlaitoksen monisteita nro 7.

Kubin, E. 1987. Jäkälänäytteiden kemiallinen analyysi Metsäntutkimuslaitoksen ILME-projektissa. Moniste. Muhoksen metsäntutkimusasema.

Kubin, E. 1989a. Sulphur content of the epiphytic lichen *Hypogymnia phsysodes* as an indicator of atmospheric deposition in Finland. (Svovelinnholdet i den epifytiske laven *Hypogymnia physodes* som en indikator på atmosfaerisk deposisjon i Finland). Medd.Nor.Inst.Skogfors. 42(1). In press.

Kubin, E. 1989b. A survey of element concentrations in the epiphytic lichen *Hypogymnia physodes* in Finland in 1985-86. In: Kauppi, P., Kenttämies, K. Anttila, P. (eds.). HAPRO Report on Acidification in Finland. Springer-Verlag. In press.

Kubin, E. & Siira, J. 1980. On the suitability of the phenyl hypochloriteprocedure for the determination of total

nitrogen from plant and soil samples. Aquilo Ser. Bot. 17:11-17.
Kulmala, A. 1985. Air quality in Finland. pp. 3-15. In Symposium on the effects of air pollution on forest and water ecosystems. The Foundation for Research of Natural Resources in Finland. Esan kirjapaino Oy, Lahti.
Kuusela, K. & Salminen, S. 1969. The 5th national forest inventory in Finland. General design, instructions for field work and data processing. Commun. Inst. For. Fenn. 69(4):1-72.
Mengel, K. & Kirkby, E. A. 1979. Principles of plant nutrition. «Der Bund» AG. Bern/Switzerland. 2nd Edition. 593 s.
Nash III, T. H. & Wirth, W. (eds.) 1988. Lichens, bryophytes and air quality. Bibl. Lichenol. 30.
O'Hare, G. P. 1974. Lichens and bark acidification as indicators of air pollution in west central Scotland. Journal of Biogeography 1:135-146.
O'Hare, G. P. & Williams, P. 1975. Some effects of sulphur dioxide flow on lichens. Lichenologist 7:116-120.
Reinikainen, A. & Nousiainen, H. (toim.) 1985. Biologien työohjeet VMI 8:n pysyviä koealoja varten. Moniste. Metsäntutkimuslaitos, Suontutkimusosasto.
Rühling, Å. & Tyler, G. 1968. An ecological approach to the lead problem. Bot. Notiser 121:321-342.
Rühling, Å., Rasmussen, L., Pilegaard, K., Mäkinen, A. & Steinnes, E. 1987. Survey of atmospheric heavy metal deposition in the Nordic countries in 1985. Nord 1987:21.
Takala, K. & Olkkonen, H. 1981. Lead content of an epiphytic lichen in the urban area of Kuopio, east central Finland. Ann. Bot. Fennici 18:85-89.
Valtakunnan metsien 8. inventointi. 1986. Pysyvien koealojen kenttätyön ohjeet 1985-86. 2. painos. Metsäntutkimuslaitos, Metsänarvioinnin tutkimusosasto. Metsäninventoinnin tutkimussuunta.

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
ROVANIEMEN TUTKIMUSASEMA

Osoite: PL 16
96301 Rovaniemi
Puhelin: (960) 157 21
Telefax: (960) 314 905

TUTKIJAT

Martti Varmola, MML (tutkimusaseman johtaja)

Kirsti Airaksinen, FM
Timo Helle, FT (erikoistutkija)
Hannu Hökkä, MMK
Risto Jalkanen, MMT
Erkki Kaila, FK (vs. erikoistutkija)
Eero Mattila, MMT (erikoistutkija)
Kari Mikkola, FK
Kari Mäkitalo, MH
Arto Naskali, TTM
Ari Nikula, MMK
Kaarina Niska, MMK
Yrjö Norokorpi, MMT (erikoistutkija)
Timo Penttilä, MH
Aulis Ritari, MML
Hannu Salminen, MMK
Pentti Sepponen, FT
Anna-Liisa Sippola, FK
Marja-Liisa Sutinen, FL
Eero Tikkanen, FL
Mauri Timonen, MH

Rovaniemen tutkimusasemalla ilmestyneet Metsäntutkimuslaitoksen Tiedonantoja -sarjan julkaisut:

N:o 6 Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1981. 1981.
N:o 35 Päivi Hänninen. Sammalen kemiallinen torjunta taimitarhalla. 1981.
N:o 58 Pohjois-Lapin metsät. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1982. 1982.
N:o 65 Yrjö Norokorpi ja Pentti Sepponen (toim.). Kilpisjärven alueen maankäytön yleissuunnitelma. 1982.
N:o 71 Päivi Hänninen. Alustavia päätelmiä kivivillan käytöstä männyntaimien kasvualustana muovihuoneessa. 1982.
N:o 77 Pohjois-Lapin metsien uudistaminen. 1982.
N:o 95 Jarmo Nieminen. Varttuneet kontortametsiköt Kivalon kokeilualueella. 1983.
N:o 105 Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1983. 1983.
N:o 148 Pentti Sepponen, Vuokko Pitkänen ja Helena Poikajärvi (toim.). Metsien kasvupaikkaluokitus. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1984. 1984.
N:o 157 Erkki Kaila ja Markku Taipale. TUTKA-tiedonhallinta ohjelmisto. Tietokannan muodostus ja käyttö. 1984.
N:o 165 Eero Tikkanen ja Hannu Raitio. Pohjois-Suomen aurausalueiden männyntaimien epänormaali kehitys ja olettamus sen syystä. Summary: A hypothesis on the cause of abnormal development of Scots pine saplings on ploughed sites in Northern Finland. 1984.
N:o 186 Eero Tikkanen. Aurausalueen heikkokuntoisten männyntaimien ravinnetaloudesta Pohjois-Suomessa. Abstract: Nutrient metabolism of weakened Scots pine saplings on a ploughed site in Northern Finland. 1985.
N:o 190 Erkki Kaila, Hilkka Kinnunen ja Tapio Timonen. BIB-viitetietokantaohjelmisto. Tietokannan muodostus ja käyttö. 1985.
N:o 196 Olli Saastamoinen ja Helena Poikajärvi (toim.). Tietojärjestelmien kehittäminen metsäalalla. Ajankohtaista tutkimuksesta. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1985. 1985.
N:o 226 Timo Penttilä ja Mikko Honkanen. Suometsien pysyvien kasvukoealojen (SINKA) maastotyöohjeet. 1986.
N:o 242 Esa Taskinen ja työryhmä. Metsäkanalintujen elinympäristövaatimukset – kirjallisuuskatsaus. 1986.
N:o 243 Timo Penttilä ja Martti Varmola (toim.). Lapin kolmion puuntuotannolliset mahdollisuudet. 1987.
N:o 253 Helena Poikajärvi (toim.). Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1986. 1987.
N:o 278 Hannu Saarenmaa ja Helena Poikajärvi (toim.). Korkeiden maiden metsien uudistaminen. Ajankohtaista tutkimuksesta. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1987. 1987.
N:o 345 Anna-Liisa Sippola. Suojelualuetyypit ja kansallispuistojen suojelun toteutuminen – kahdeksan esimerkkiä. 1989.

ISBN 951-40-1087-6
ISSN 0358-4283