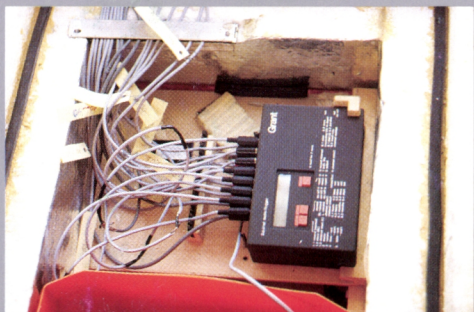


Lapin neulaskato



Männyn neulaskatoon 1987 johtaneet tekijät
Pohjois-Suomessa

Loppuraportti

Risto Jalkanen, Tarmo Aalto, Kirsti Derome,
Kaarina Niska ja Aulis Ritari

ROVANIEMEN TUTKIMUSASEMA 1995

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto



Kansikuvat:

Vasemmalla ylhäällä: Tyypillistä Lapin neulaskatoa. Kuohunki 27.8.1987. *Oikealla ylhäällä:* Juurten kokeellisessa kylmästressissä käytetty muovikatos. Hietaperänkangas 14.12.1987. *Vasemmalla alhaalla:* Ilman- ja maan lämpötiloja mittaava Grant-tiedonkeruulaite. Hietaperänkangas. *Oikealla alhaalla:* Neulaskadosta toipuneen männyn oksa 21.6.1989 Hietaperänkankaalla. Oksan kärjessä pitkä kasvain, jossa vielä keskenkasvuiset neulaset. Sen takana erityisen lyhyt vuoden 1988 kasvain pitkine neulasineen. Näiden takana kesän 1987 poikkeuksellisen lyhyet neulaset. Kuvassa myös kesinä 1986 ja 1985 syntyneet neulaset. Kuvat: Risto Jalkanen ja Tarmo Aalto.

Lapin neulaskato

Männyn neulaskatoon 1987 johtaneet tekijät Pohjois-Suomessa

Loppuraportti

Risto Jalkanen, Tarmo Aalto, Kirsti Derome,
Kaarina Niska ja Aulis Ritari

Metsäntutkimuslaitos
Helsingin tutkimuskeskus
Kirjasto

Metsäntutkimuslaitos
Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi 1995

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 544

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

Jalkanen Risto, Aalto Tarmo, Derome Kirsti, Niska Kaarina ja Ritari Aulis 1995. Lapin neulaskato. Männyn neulaskatoon 1987 johtaneet tekijät Pohjois-Suomessa. Loppuraportti. Summary: Needle loss in Lapland. Factors leading to needle loss of Scots pine in 1987 in northern Finland. Final report. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 544. 75 s.

Lapin neulaskato -projektin loppuraportissa ratkotaan männyn neulasten voimakkaaseen kellastumiseen ja kuolemiseen (neulaskatoon) kesällä 1987 johtaneita syitä tutkimuksen keinoin. Lapin neulaskato oli voimakkainta kolmion Rovaniemi-Salla-Suomussalmi mäntykankailla ja rämeillä.

Neulaskatoilmiöön liittyviä ominaisuuksia kartoitettiin vuosina 1987-1988. Epäpuhtauksien merkitystä selvitettiin sekä märkälasseumamäärityksin että sijoittamalla yksi kokeellisen tutkimuksen kenttäkoe suu-remman laskeuman oloihin lounaiseen Suomeen (Jämijärvi) kuin kaksi pohjoissuomalaista kohdetta (Hietaperä ja Sattanen). Rovaniemen maalaiskunnan Hietaperänkankaalla, Sodankylän Sattasessa ja Jämijärven Hämeenkankaalla sijainneissa kenttäkokeissa selvitettiin talvina 1987/88, 1988/89 ja 1989/90 joulukuun 1986 kaltaisen lumettomuuden ja kovan pakkasen vaikutuksia kuivan kankaan mäntytaimikkoon estämällä lumisuojan synty. Samanaikaisesti seurattiin maan ja ilman lämpöoloja sekä lumipeitteen ja roudan kehittymistä. Talven jälkeen analysoitiin puuston tilaa kasvumittauksin sekä juuri- ja neulasanalysein. Kokeellisen neulaspoiston ja juuriston supistamisen vaikutuksia tutkittiin vuosina 1989-1992. Kaikki kokeet perustettiin lajittuneille maille.

Kesän 1987 neulaskadolle ominainen vanhojen neulasten kellastuminen ennenaikaisesti heinäkuussa voitiin aiheuttaa myös kokeellisesti altistamalla puiden juuret keskitalven kylmälle. Sama ennenaikainen kellastuminen aiheutettiin myös supistamalla männyn pinta-juuristoa. Myös kaikki muut Lapin neulaskatoilmiöön liitetyt tärkeimmät oireet kuten neulasten ja versojen kasvun taantuma sekä kuivalatvaisuus ja taimien kuoleminen voitiin tuottaa kokeellisesti jo ensimmäisenä kasvukautena. Sitä vastoin kokeellinen neulaspoisto vähensi neulasten ja versojen kasvua vasta toisena kasvukautena toimenpiteestä. Typpi- ja rikki-laskeuman kaksinkertainen taso Jämissä ei johtanut

lisääntyneeseen neulaskatoon tai muihin Lapin neulaskadon kaltaisiin oireisiin. Sekä kokeellisen juuristressin kokeneet puut että nuoret Lapin neulaskatomännyn ovat elpyneet näkyvistä vaurioistaan.

Keskitalven lumi suojasi maata ja puiden juuristoa tehokkaasti. Kun Pohjois-Suomessa (Hietaperä, Sattanen) lämpötila oli 5 cm:n syvyydessä maassa lumen alla alimmillaan $-15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, niin lumettomalla alueella se oli $-27,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja vielä 20 cm:n syvyydessä $-18,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Massiivisen roudan ruudulla lämpötila laski vieläkin alemmaksi, $-28,8\text{ }^{\circ}\text{C}$:een 5 cm:n syvyydessä ja $-24,4\text{ }^{\circ}\text{C}$:een 20 cm:n syvyydessä. Talven 1988/89 alin lämpötila 2 m:n korkeudella ilmassa oli $-40,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Etelä-Suomen (Jämi) vastaavat arvot olivat $-20,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ilmassa, $-6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 5 cm:n syvyydessä lumen alla, $-10,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ lumettomalla alueella ja $-7,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ massiivisen roudan ruudulla. Lapin kuivilta kankailla puuttuvaa jäkäläkerrosta jäljittelevän olkkikerroksen alla maan lämpötila oli korkein ja tasaisin koko talven: minimilämpötila 20 cm:n syvyydessä vaihteli välillä $-2,4\text{ }^{\circ}\text{C}$... $-5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ Hietaperällä, $-4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$... $-7,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ Sattasessa ja $-1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$... $-3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ Jämissä marras-maaliskuussa 1988-1989.

Johtopäätöksinä todetaan, että Lapin neulaskato johtui pakkasen aiheuttamista juurivaurioista, jotka olivat seurausta joului-tammikuun 1986-87 kovista pakkasista ja alhaisista lämpötiloista lumettomassa maassa. Lumipeite suojaa maata normaalina talvena, mutta tilastollisestikin harvinainen lumeton pakkastalvi oli nyt vaarallinen puille. Tulosten perusteella päätellään, että mistä tahansa syystä syntynyt juuristovaurio harsuunnuttaa mäntyä. Jäkäläpeitteen puuttumisen arvellaan edistäneen maan kylmenemistä talvella 1986/87 ja voimistaneen männyn neulaskatoa kesällä 1987. Jatkossa tulisikin tutkia tarkemmin jäkäläkerroksen pysyvän puuttumisen vaikutuksia kuivien ja karukokankaiden männiköiden ekologiaan niin talvella kuin kesällä.

Avainsanat: Lappi, neulaskato, juuret, pakkasen, jäkäläkerros, mänty, ekologia, kokeellinen tutkimus

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema. Hanke 3064. Hyväksynyt: Aarne Reunala, tutkimusjohtaja, o.t.o., 3.3.1995

Kirjoittajien yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema, PL 16, 96301 Rovaniemi, tel 960-33 64 11, fax 960-336 46 40, email: Risto.Jalkanen@metla.fi

ISBN 951-40-1417-0
ISSN 0358-4283

Vammalan Kirjapaino Oy 1995

Sisällys

1 Johdanto	5
1.1 Lapin neulaskato	5
1.2 Männyn neulasvuosikerroista	5
2 Neulaskatoa edeltäneet ympäristöolosuhteet Pohjois-Suomessa	7
2.1 Pitkän ajanjakson sääolosuhteet talveen 1986/87 verrattuna	7
2.2 Ilman epäpuhtaudet ennen kesän 1987 neulaskatoa	8
3 Lapin luonnon vaurioita vuosina 1987–1990	11
3.1 Neulasten kellastuminen keskikesällä 1987 ja sen seuraukset männyllä vuosina 1987–1990	11
3.2 Muita vaurioita ja poikkeuksellisia havaintoja metsä-, maatalous- ja puutarhakasveilla	13
4 Tutkimukset neulaskatoisten metsien tilasta vuosina 1987–1988	14
4.1 Johdanto	14
4.2 Aineisto ja menetelmät	14
4.2.1 Tutkimusmetsiköt ja koejärjestelyt	14
4.2.2 Neulasten ravinneanalyysi	14
4.2.3 Neulasvuosikertojen määrittäminen	14
4.2.4 Kylmänkestävyyden testaus	15
4.2.5 Koejärjestelyt kesän 1987 neulaspoistuman määrittämiseksi	15
4.3 Neulaskatoisten metsien tila vuosina 1987–1988	16
4.3.1 Kesän 1987 neulaskadon määrä	16
4.3.2 Mäntyjen kylmänkestävyys syksyllä 1987	16
4.3.3 Puiden ravinnetila syksyltä 1987 huhtikuulle 1988	17
5 Kokeelliset tutkimukset neulaskadon syistä vuosina 1987–1990	19
5.1 Juurten kylmästressin vaikutus puuston tilaan	19
5.1.1 Johdanto ja hypoteesit	19
5.1.2 Aineisto ja menetelmät	20
5.1.2.1 Koemetsiköt	20
5.1.2.2 Koejärjestelyt	21
5.1.2.3 Ilmastotunnusten mittaus ja laskenta	23
5.1.2.4 Märkälaskeuman mittaukset	24
5.1.2.5 Kasvumittaukset	24
5.1.2.6 Neulasvuosikertojen määrittäminen ja verson ulkoisten tunnusten mittaukset	25
5.1.2.7 Neulasanalyysit	25
5.1.2.8 Maaperä	26
5.1.2.9 Juuriston tilan arviointi	27
5.1.3 Juurten kylmästressikokeiden tulokset esikokeessa	28
5.1.3.1 Lumi-, routa- ja lämpöolot	28
5.1.3.2 Neulaskato ja puuston reaktiot	29
5.1.4 Juurten kylmästressikokeiden tulokset varsinaisessa kokeessa	31
5.1.4.1 Lumi-, routa- ja lämpöolot	31
5.1.4.2 Märkälaskeuman laatu	37
5.1.4.3 Neulaskato ja puuston elävyys	39

5.1.4.4 Puuston kasvu	39
5.1.4.5 Neulasten koko ja väri	42
5.1.4.6 Neulasten ravinnetila, sokeripitoisuudet ja kylmänkestävyys	44
5.1.4.7 Juuriston elävyys.....	49
5.1.5 Hietaperän lämpöolojen simulointi talvelle 1986/87	49
5.2 Lämpötilan vaikutus ravinteiden uuttumiseen maassa.....	52
5.2.1 Johdanto	52
5.2.2 Aineisto ja menetelmä.....	52
5.2.3 Tulokset	53
5.3 Neulaspoiston vaikutus männyn kehitykseen.....	54
5.3.1 Johdanto	54
5.3.2 Aineisto ja menetelmä.....	54
5.3.3 Tulokset	56
5.3.3.1 Neulasvuosikertojen määrä.....	56
5.3.3.2 Puuston kasvu	56
5.3.3.3 Neulasten pituus	56
5.4 Juurten vaurioittamisen vaikutus männyn kehitykseen ja ravinnetilaan	57
5.4.1 Johdanto	57
5.4.2 Aineisto ja menetelmä.....	57
5.4.3 Tulokset	58
5.4.3.1 Neulasvuosikertojen määrä.....	58
5.4.3.2 Puuston kasvu	59
5.4.3.3 Neulasten pituus	59
5.4.3.4 Versojen kuivapainot.....	60
5.4.3.5 Neulasten ravinnetila	60
6 Tulosten tarkastelu	62
6.1 Neulaskatometsien tila	62
6.2 Ilman epäpuhtaudet ja neulaskato	64
6.3 Juurten kylmästressi ja neulaskato	65
6.3.1 Koejärjestelyt.....	65
6.3.2 Maan lämpötilan mittausta ja lämpöolot	66
6.3.3 Luontaisen neulaskadon ja kokeellisen juuristressin oireiden yhtäläisyys	66
6.4 Puiden ravinnetalous ja neulaskato	67
6.5 Neulaspoisto.....	67
6.6 Juurten katkonta	68
6.7 Jäkäläpeite ja neulaskato.....	68
7 Johtopäätökset	69
Viitteet.....	71
Muu aiheeseen liittyvä kirjallisuus.....	72
Summary.....	75

1 Johdanto

1.1 Lapin neulaskato

Kesken parhaan kasvukauden 1987 pohjois-suomalaisten kankaiden ja rämeiden mäntyjen neulasia kellastui, ruskistui ja karisi nopeassa tahdissa kesä–heinäkuun vaihteesta elokuuhun. Ilmiö oli poikkeuksellinen, vaikka se kohdistuikin voimakkaimmin vanhimpiin neulasiin. Ilmiön luonteen ja esiintymistavan perusteella sitä nimitetään seuraavassa **kesän 1987 neulaskadoksi** (ks. kansikuva vas. ylh.) tai lyhyesti vain **neulaskadoksi** erotuksena neulastuhosta tai muista puita harsuunnuttavista ilmiöistä.

Lapin neulaskato herätti laajuudellaan suurta huomiota metsien parissa työskentelevien piirissä, mutta ennen kaikkea ja valtakunnan laajuisesti julkisessa sanassa: Lapin neulaskato oli ensimmäinen laajamittainen pohjoissuomalainen metsien tilan muutoksiin liittynyt tapahtuma, joka julkisuudessa liitettiin ilman epäpuhtauksiin.

Metsäntutkimuslaitoksessa (METLA) aloitettiin tutkimukset heti neulasten kellastumisen jälkeen kesällä 1987. Neulaskadon syiden selvittämiseksi Metsäntutkimuslaitoksen Rovaniemen tutkimusasemalla perustettiin tutkimusprojekti 'Männyn neulaskatoon 1987 johtaneet tekijät Pohjois-Suomessa'. Neulaskatotutkimus, jonka aineiston keruu ajoittui pääosin vuosille 1987–1990, jakaantui yhtäältä neulaskadon jälkeisen ajan puuston tilan kuvaamiseen ja toisaalta keskeisesti kokeelliseen tutkimukseen kangasmaiden neulaskadon aiheuttaneiden syiden selvittämiseksi. Tutkimuksia ei tehty rämeillä. Käsillä oleva julkaisu on neulaskatoprojektin loppuraportti.

Tutkimus tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen Rovaniemen tutkimusasemalla. Työ alkoi tutkimusaseman hankkeena 'Männyn neulaskatoon 1987 johtaneet tekijät Pohjois-Suomessa'. Tutkimussuunnittelun uudistamisen seurauksena neulaskatotutkimukset siirtyivät eri vaiheiden kautta METLAN metsäekologian tutkimusosaston hankkeen 3064 (Verso- ja lehtitautitut-

kimukset) osaksi. Projekti aloitettiin syksyllä 1987 METLAN pikaisella rahoituspäätöksellä, mistä kiitämme silloista ylijohtajaa, professori Aarne Nyyssöstä. Projektin saama tutkimusrahoitus vuosina 1987–1990 oli kaikkiaan 265.000 mk.

Tutkimuksen kuluessa monet henkilöt ovat osallistuneet hankkeeseen tavalla tai toisella. Erityisen kiitoksen ansaitsee Pekka Välikangas osallisuudestaan kokeellisen tutkimustoiminnan käytännön töiden aloittamisessa syksystä 1987 alkaen. METLAN Kivalon ja Parkanon tutkimusalueiden henkilökunta avusti erilaisissa koetoiminnan tehtävissä. Rovaniemen tutkimusaseman laboratorio- ja laskentahenkilökunnan apu erilaisissa analyyseissä oli hankkeelle välttämätön. FT Hannu Raitio vastasi Jämin kenttäkokeista ja MMT Tapani Repo kylmänkestävyyden testauksesta syksyllä 1987. Kiitämme kaikkia edellä mainittuja henkilöitä ja tahoja, muuta avustavaa henkilökuntaa ja myös MMT Hannu Saarenmaata, FL Eero Tikkasta ja MML Martti Varmolaa osallistumisesta ja keskusteluista tutkimuksen eri vaiheissa. Arvostamme MML John Deromen, prof. Timo Kurkelan, MMT Arvi Valmarin ja FT Pentti Sepposen käsikirjoitukseen tekemiä huomautuksia. Kiitämme myös Puolustusvoimia Jämin ja maanomistaja Kari Luiron Sattasen metsäalueen luovuttamisesta tutkimuksen käyttöön. Ilman tiedotusvälineiden osoittamaa vilkasta mielenkiintoa Lapin neulaskatoon tutkimushankkeemme ei olisi toteutunut ko. laajuudessa, mistä olemme pelkästään hyvillämme. Lopuksi haluaisimme mainita vielä Suomen Akatemian, jonka asettama ympäristötutkimuksen kansainvälinen työryhmä evaluoi hankkeemme ja totesi sen hyväksi ja toteuttamiskelpoiseksi (Evaluation... 1992).

1.2 Männyn neulasvuosikerroista

Männyn kannalta kaikkein tärkein toiminto, yhteyttäminen, tapahtuu neulasissa. Ilman neulasia mänty ei siten voi elää pitkään. Toisaalta vanhimmat, latvuksen sisempiin osiin jääneet neulasat ovat sille rasite, koska ne kuluttavat puun käyttövoimaa enemmän kuin tuottavat sitä. Niinpä vanhoja neulasia karisee pois ja uusia syntyy oksien kärkiin. Oksissa on aina laskettavissa oleva määrä neulasvuosikertoja. Vuosikerralla tarkoitetaan kaikkia samana kesänä syntyneitä neulasia. Vuosikertojen määrä taas ilmaisee, monenko

ikäisiä neulasia puussa on. Esimerkiksi, jos männynssä on neljä vuosikertaa, ne ovat syntyneet neljän kesän aikana, mutta vanhimman ja nuorimman neulasen ikäero on tällöin vain kolme vuotta.

Pitkällä aikavälillä ja muuttumattomissa oloissa männyllä on sama määrä neulasvuosikertoja vuodesta toiseen. Se tarkoittaa, että joka vuosi puusta putoaisi vanhin vuosikerta, jonka korvaisi oksan kärkeen syntyvä uusi vuosikerta. Vanhat neulaset kellastuvat pääosin elokuussa puun elämään kuuluvana luonnollisena ilmiönä.

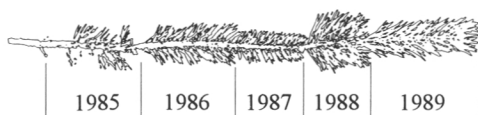
Koska ympäristö muuttuu jatkuvasti, neulasvuosikertoja ei ole aina yhtä paljon. Joinakin kesinä neulasia kellastuu tavallista runsaammin eli enemmän kuin yksi vuosikerta. Silloin vuosikertojen määrä vähenee. Jos tällaiset vuodet kertaantuvat, puu harsuuntuu. Koska jäljelle jääneillä neulasilla on poistuneisiin verrattuna enemmän valoa yhteyttämiseen, lämpimän ja aurinkoisen kesän (kuten 1988 ja 1989) tuloksena vanhoja neulasia karisee keskimääräistä vähemmän. Joinakin vuosina neulasia ei karise lainkaan, ja näin vuosikertojen määrä taas lisääntyy. Puut näyttävät milloin harsuilta, milloin tuuheilta vuosikertojen määristä riippuen. Tähän kasvukauden aikaisilla sääoloilla on suuri vaikutus.

Kun männyn verso kasvaa täyteen mitaansa viimeistään heinäkuussa, sen päähän muodostuu useita silmuja. Yhdestä niistä, tavallisesti suurimmasta jatkuu oksan pituuskasvu seuraavana vuonna. Muista silmuista syntyy sivuoksia. Paikkaa, mistä sivuoksat syntyvät, sanotaan oksakiehkuraksi riippumatta siitä, onko kyse oksan vai rungon sivuoksista.

Kahden oksakiehkuran väliin jäävät neulaset ovat samana kesänä syntyneitä muodostaen neulasvuosikerran. Niinpä laskemalla, kuinka monessa kiehkuravälissä neulaset ovat vihreinä tallella, saadaan neulasvuosikertojen määrä. Normaalina pidetään 4–7 vuosikertaa männyn oksissa Pohjois-Suomessa. UK-kansallispuiston itäosien männynillä oli kesällä 1988 jopa kymmenen neulasvuosi-

kertaa. Vanhimmat vihreät neulaset olivat syntyneet siten 10 kesää aikaisemmin eli vuonna 1979. Neulasten tarkka ikä oli 9 vuotta ja 2 kuukautta. Neulasia ei kuitenkaan aina ole koko kiehkuroiden välisellä matkalla, varsinkaan, jos neulaset ovat vanhoja. Vuosikerrasta ei nimittäin läheskään aina karise kaikki neulaset yhdellä kertaa. Neulasten määrää vähentää myös runsas hedekukinta.

Usein neulasten koko vaihtelee eri vuosikerroissa, jolloin ne voidaan erottaa toisistaan, vaikka oksakiehkuroita puuttuisi. Asiaa voidaan tarkastella männynoksesta, jonka oksakiehkuroiden oksat on leikattu pois ja jossa vuosikerrat on rajattu näkyviin (kuva 1). Kyseinen oksa on runsaasta neulaskadosta kesällä 1987 kärsineestä männystä Rovaniemen maalaiskunnan Hietaperänkankaalta Vanttauskoskella. Oksassa, joka edustaa keskimääräistä neulaskatoalueen puuta elokuun alussa 1989, on erikoista se, että kolmannen vuosikerran neulaset ovat poikkeuksellisen lyhyitä (ks. myös julkaisun Varmola & Palviainen (1990) kansikuva). Vuosien 1987 ja 1988 rajakohdan erottaa helposti neulasten koon perusteella, ovathan 2. vuosikerran neulaset noin kaksi kertaa kolmatta pidemmät. Kolmannen vuosikerran kääpiöneulaset syntyivät neulaskatokesänä 1987. Oksassa on vieläkin tallella vuosina 1985 ja 1986 syntyneet ja siis ennen Lapin neulaskatoa kasvaneet neulaset.



Kuva 1. Neulaskatoisen metsän männynoksa ilman sivuoksia kolmantena kasvukautena neulaskadon jälkeen. Neulasten pituus oli lyhimmillään vuonna 1987 ja pisimmillään seuraavana vuonna (tarkempi kuvaus tekstissä).

2 Neulaskatoa edeltäneet ympäristöolosuhteet Pohjois-Suomessa

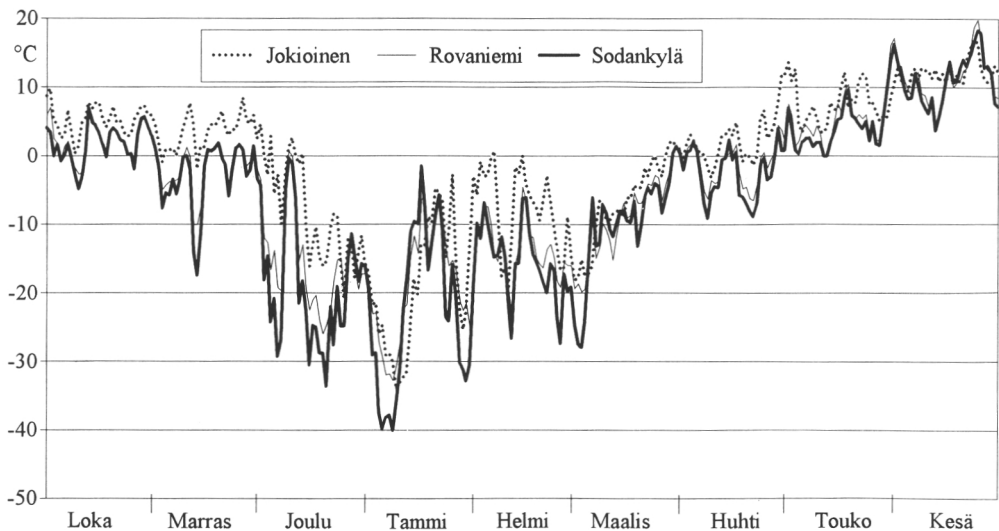
2.1 Pitkän ajanjakson sääolosuhteet talveen 1986/87 verrattuna

Seuraavassa verrataan Ilmatieteen laitoksen ilman ja maan lämpötila- ja sadetietoja sekä Vesi- ja ympäristöhallituksen lumi- ja routatietoja talvella 1986/87 ja pitkällä aikavälillä. Neulaskatoalueen olosuhteita kuvaavia tietoja on täydennetty myös Maatalouden tutkimuskeskuksen Lapin tutkimusaseman (Apukan) mittauksista.

Marraskuu 1986 oli 3–4 astetta normaalia lämpimämpi. Joulu–tammikuun 1986–87 keskilämpötilat olivat sitä vastoin 5–10 astetta normaalia alempia, vaikka kauteen sisältyi keskimääräistä lämpimämpiä jaksoja. Kuu-kauden keskilämpötila laski lähes -24 °C:een Sallan Naruskalla joulu–tammikuussa. Poikkeuksellisen kylmää oli myös muualla Suomessa. Tammikuu 1987 oli yleisesti kylmempi kuin joulukuu 1986 (Kuukausikatsaus... 1987). Vuorokauden keskilämpötila laski alimmillaan Rovaniemellä 33:een ja

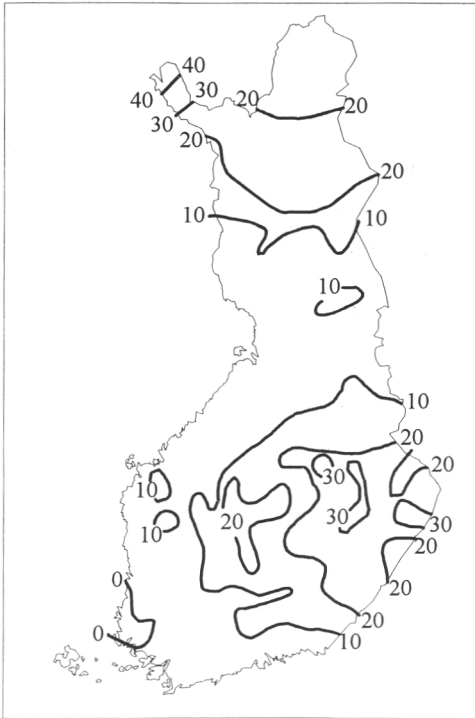
Sodankylässä 40 pakkasasteeseen tammikuun ensimmäisellä viikolla 1987 (kuva 2). Kylmempiä päivälämpötiloja on kuitenkin mitattu usein. Esimerkiksi 1900-luvun kylmyysennätys Suomessa ($-50,4$ °C Sallan Naruskalla) on tammikuulta 1985 (Kuukausikatsaus... 1985).

Syksyä 1986 luonnehti runsassateisuus; elo- ja marraskuussa sademäärä ylitti huomattavasti pitkän ajan keskiarvon. Maa oli täten poikkeuksellisen märkää routaantumisen alkaessa. Syystalvella 1986 oli tyypillistä lumen tulo ja sulaminen useamman kerran. Marraskuun sade tuli myös vetenä Pohjois-Suomessa. Erityisen merkittävä oli marras–joulu-kuun vaihteen lämpöjakso, joka sulatti kaiken lumen eteläisestä Lapista; pakkasen tultua sulavedet jäätyivät vaihtelevan paksuiksi kerroksiksi maan pinnalle. Kun em. kylmä jakso alkoi, lunta ei ollut lainkaan tai vain vähän. Kuitenkin Rovaniemen korkeudella tulisi joulukuussa olla lunta lähes 100 %:n todennäköisyydellä (Ritari 1990).



Kuva 2. Vuorokauden keskilämpötila ilmassa muutamilla havaintoasemilla loka–kesäkuussa 1986–1987.

Joulukuun 15. päivän tilaston mukaan (Kuukausikatsaus...1987) Pohjois-Pohjanmaalla, Kainuussa ja Etelä-Lapissa oli 10–20 cm keskimääräistä vähemmän lunta. Erytisen vähälumista (0–10 cm) oli eteläisessä Lapissa ja Kainuussa (kuva 3). Lumen syvyys oli esim. Pudasjärvellä 4 cm ja Taivaalkoskella 3 cm, mutta Kuusamossa jo 9 cm ja Suomussalmellakin 8 cm. Lapin läänin puolella neulaskatoalueen ydinalueella lumen syvyys oli 15. joulukuuta Kemijärven Jumiskolla ainoastaan 1 cm, Simon Simonniemessä, Ranualla keskustassa ja Rovaniemen maalaiskunnan Kilvenaavalla 3 cm, Ylitornion Portimojärvellä ja Meltosjärvellä 4 cm, Kemlin lentoasemalla ja Rovaniemen maalaiskunnan Apukassa 5 cm, sekä Pellon keskustassa ja Rovaniemen mlk:n Marrasjärvellä 8 cm. Muualla Lapissa oli selvästi enemmän lunta (13–52 cm), mikä onkin lähellä tai jopa yli



Kuva 3. Lumen syvyys 15. joulukuuta 1986 Suomessa.

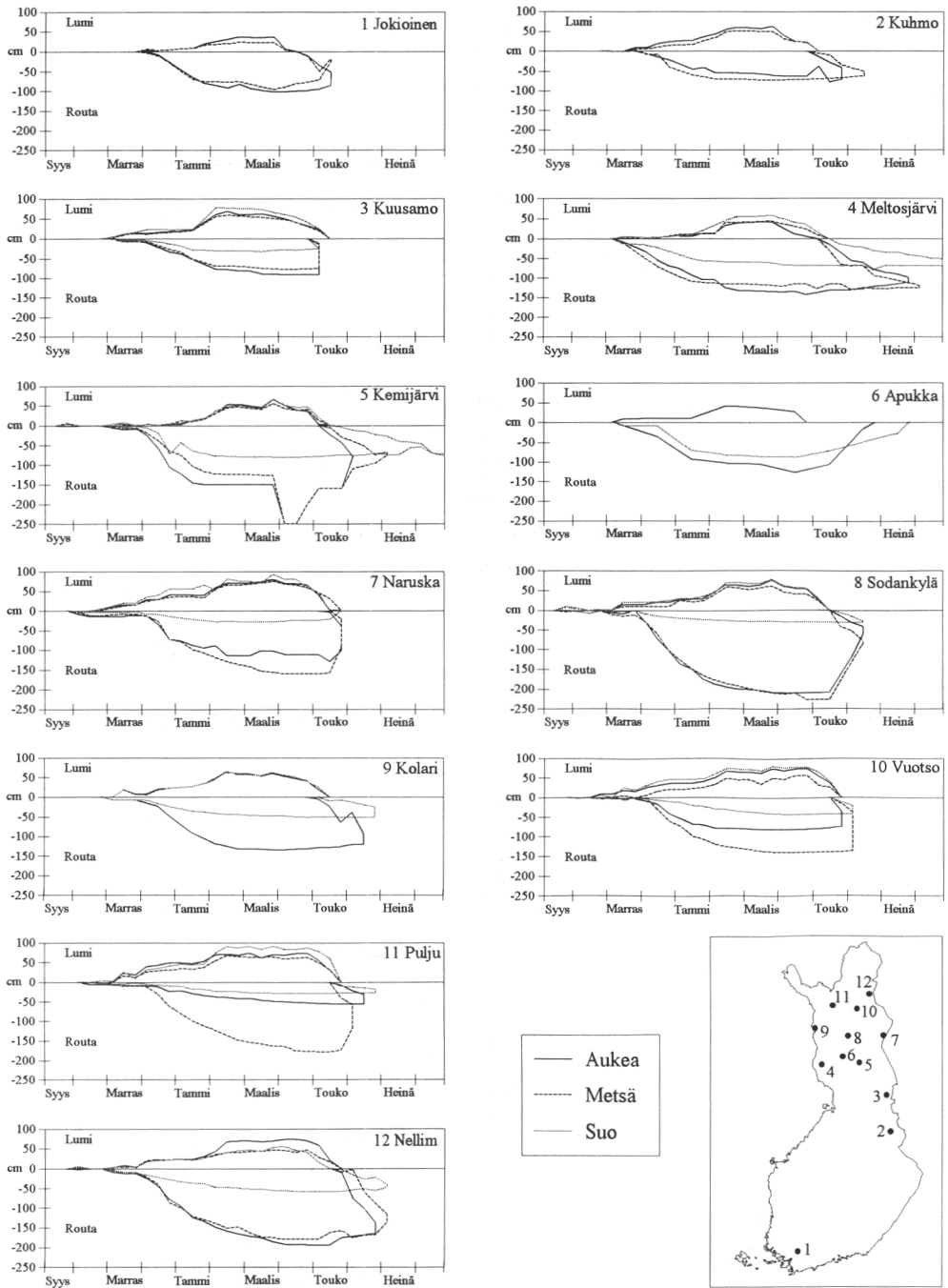
pitkän ajan keskiarvon. Neulaskatoalueen ulkopuolelta mainittakoon Sodankylän observatorio (23 cm), Savukosken keskusta (17 cm) ja Sallan Naruska (31 cm). Naruskan arvo oli sama kuin pitkän ajan keskiarvo (Kuukausikatsaus... 1987). Erytisen luminen ajankohtaan nähden oli Enontekiö, missä lunta oli 15–22 cm normaalia enemmän.

Lumipeitteen ohuudesta tai puuttumisesta johtuen maan lämpötila laski nopeasti joulukuussa 1986 ilman kylmettyä. Pitkän aikajakson arvoihin verrattuna viiden vuorokauden keskilämpötilat laskivat 20 cm:n syvyydellä maassa noin 5 astetta kylmemmiksi. Routaa oli muodostunut jo poikkeuksellisen lauhan syksyn aikana, vaikka kehitys oli viivästynyt normaalista. Erytisen nopeasti sitä karttui kuitenkin joulutammikuussa 1986–87. Monilla Keski- ja Pohjois-Lapin paikkakunnilla (Utsjoki, Inari, Sodankylä) routaa oli keväällä 1987 yli 2 metriä eli selvästi yli pitkän ajan keskiarvon (kuva 4). Tästä oli seurauksena, että varsinkin itäisen Lapin alueen soilla routa viipyi paikoin koko kesän 1987 (ks. Kemijärvi ja Meltosjärvi). Edellisen kerran näin oli käynyt kesällä 1985. Maa jäähtyi ja routautui poikkeuksellisesti myös Etelä-Suomessa (Ritari 1990).

Talvien ankaruuksien vertailussa vain talvi 1965/66 on ollut talvea 1986/87 ankarampi. Lähes yhtä kylmiä talvia on ollut ennenkin, etenkin 1960- ja 1980-luvuilla. Neulaskatoon johtanut talvi ei ollut siten ankaruudeltaan mitenkään poikkeava. Sen sijaan se erottui aiemmista talvista maan minimilämpötilojen ja roudan syvyyksien sekä lumipeitteen vähäisyyden perusteella (taulukko 1).

2.2. Ilman epäpuhtaudet ennen kesän 1987 neulaskatoa

Sekä Suomen omat rikkipäästöt että kokonaisrikkilaskeuma ovat vähentyneet voimakkaasti koko 1980-luvun (Anttila & Tähtinen 1992). Sen sijaan typpilaskeuma on kasvanut lievästi koko 1980-luvun, vaikkakin nitraatti-



Kuva 4. Lumen ja roudan syvyys eräillä mittausasemilla kaudella 1986-1987.

Taulukko 1. Kuukausittainen ilman keskilämpötila ja maan minimilämpötila aukealla sekä roudan maksimisyvyys ja lumipeitteen paksuus metsässä Suomen 35:llä ilman lämpötilan ja 8:lla maan lämpötilan mitta-asemalla (Ilmatieteen laitos) sekä 20:llä lumi- ja routa-asemalla (Vesi- ja ympäristöhallitus). Aineistossa on mukana koko olemassa oleva mittausjakso. Vuosien järjestys määräytyy joului–maaliskuun ilman keskilämpötilan mataluuden perusteella (Ritari 1990).

Vuosi	Kuukausi	Keskilämpötila °C, ilma 2 m aukea	Routa maksimi, cm metsä	Lumipeite keskim., cm metsä	Minimilämpötila °C, maa 20 cm 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

typen määrä on vastaavana aikana laskenut Lapissa. Rikin ja typen märkäläskemusta, mikä on noin 50–70 % ko. aineiden kokonaisläskemusta (Tuovinen ym. 1990), Pohjois-Suomen osuus on huomattavasti vähäisempi kuin Etelä-Suomen (Anttila & Tähtinen 1992). Lappi onkin ollut Suomen puhtainta

aluetta neulaskatoa edeltävänä aikana (Kulmala ym. 1990), mistä syystä esim. Kuusamo on puhtaan ilmansa vuoksi käytetty tausta-alueena monissa tutkimuksissa (Laine ym. 1984). Puhtainta ilma on Länsi-Lapin pohjoisosissa (Laurila ym. 1991); tosin esim. ilman rikkidioksidipitoisuudet ovat olleet

lähellä normaaleja tausta-arvoja myös Itä-Lapissa (Huttunen ym. 1992). Kuolan teollisuuspäästöjen vaikutukset Suomessa havaitaan parhaiten Inarin Lapin itäosissa (Kauhanen & Varmola 1992, Juntto & Tuovinen 1995).

Sammal-, jäkälä- ja kaarnanäytteiden perusteella raskasmetallit ovat kuormittaneet Pohjois-Suomen luontoa vain päästölähteiden lähellä eli Tornion jaloterästehtaan ympäristössä (kromin osalta) ja Inarin-Utsjoen itäosissa (nikkelin ja kuparin osalta) Kuolan teollisuuslaitosten päästöjen seurauksena (Kubin ym. 1994, Rühling 1994).

Alailmakehän otsonin määrää on mitattu huomattavasti lyhyemmän aikaa ja harvemalla mittausverkolla kuin rikin ja typen oksideja. EMEP-tasoisia, jatkuvasti mitattavia asemia oli Suomessa ennen neulaskatoa vain kahdella paikkakunnalla: Utössä (per. 1985) ja Ähtärissä (1986). Virolahdella mittaukset aloitettiin kesällä 1988 ja Oulangalla vasta v. 1990. Neulaskatoa edeltävänä kesänä ja syk-

synä 1986 Napapiirin eteläpuolella Västerbottenissa Ruotsissa sijaitsevalla, silloin Skandinavian pohjoisimmalla alailmakehän otsonia mittaavalla asemalla (Ammarnäs) otsonipitoisuudet olivat noin puolet Utössä mitatuista arvoista eli maksimissaan noin $60 \mu\text{gm}^{-3}$ (Reissell 1990). Kun otsonipitoisuudet ovat korkeimmillaan Lapissa keväisin, puut ovat tuolloin vielä lepotilassa. Otsonia sekä kaukokulkeutuu että muodostuu paikallisesti. Runsas auringonpaiste edistää sen syntyä. Neulaskatoa edeltävä kevät (1987) oli kuitenkin pilvinen ja vähäsateinen, ja aurinkoiset päivät olivat harvinaisia (Kuukausikatsaus... 1987). Sen sijaan erityisen runsasta auringonpaiste oli keväällä 1988. Kasvillisuusvaurioiden estämiseksi määritelty kynnyisarvo ($70 \mu\text{gm}^{-3}$ 24 tunnin keskiarvona) ylittyi Oulangan mittausasemalla sekä keväällä 1991 että kevättalvella 1992 useasti (Ruoho-Airola & Leinonen 1994). Uutta neulaskatoa ei tästä seurannut.

3 Lapin luonnon vaurioita vuosina 1987–1990

3.1 Neulasten kellastuminen

keskikesällä 1987 ja sen seuraukset
männyllä vuosina 1987–1990

Keskikesän 1987 neulaskato oli pahimmillaan kolmiossa Rovaniemi–Salla–Suomussalmi, ydinalueen sijaitessa Rovaniemen maalaiskunnan itäosan–Kemijärven–Posion -seudulla (kuva 5). Suomen valtiollisen itärajan takaisesta tilanteesta kesältä 1987 ei ole tietoja. Neulaskatoon johtaneet syyt ovat mitä ilmeisimmin vaikuttaneet metsiin kuitenkin huomattavasti laajemmalla alueella, mutta lievemmin ja/tai viivästynein seurauksin kuin em. neulaskatokolmiossa. Syksyllä 1987 varisi poikkeuksellisen runsaasti vanhoja neulasia koko maakunnan alueella, mihin osaltaan lienevät vaikuttaneet samat tekijät, jotka aiheuttivat kesän 1987 neulaskadon. Neulasten syksyistä kellastumista tosin pide-



Kuva 5. Männyn neulaskadon esiintymisalue kesäkesällä 1987 Pohjois-Suomessa. Kartta perustuu heinä–syyskuun 1987 aikana tehtyihin maastohavaintoihin ilmiön laajuudesta.

tään normaalina puun elämään kuuluvana ilmiönä.

Neulaskato rajoittui karuimmille kasvu-paikoille sekä kankailla että soilla. Näin neulaskato muodostui puulajeista lähinnä männyn ongelmaksi. Neulaskadosta kärsivät kaikenkokoiset ja -ikäiset männyt, vaikka kesikesällä 1987 neulasmenetykset näyttivät ankarimmilta taimikoissa. Normaalitylanteessa Lapin männyllä on neulasvuosikertoja 4–7. Kesän 1987 jälkeen neulaskatoalueen männynissä oli jäljellä vain 1–5 neulasvuosikertaa. Osa neulaskatoalueen ydinalueen männiköiden taimista kuoli karistamatta ainoatakaan niistä neulasvuosikerroista, jotka niillä oli ennen kesää 1987.

Karujen kankaiden taimille oli tyyppillistä pituuskasvun välitön taantuminen jo neulaskatoikesänä. Myös neulasat jäivät huomattavan lyhyiksi kesällä 1987. Seuraavan kasvukauden jälkeen metsiköissä oli kuitenkin nähtävissä toipumista mm. neulasten pituuden perusteella (ks. kuva 1). Puut toipuivat myös huhti–toukokuussa 1988 neulaskatoisissa taimikoissa todetusta poikkeuksellisen keltaisesta yleisväristään ja vihertyivät kesäkuussa kasvun alkaessa. Niinpä neulaskatoisten metsien tila arvioitiin huomattavasti paremmaksi kesällä 1988 kuin vuotta aikaisemmin (ks. myös kuva 40).

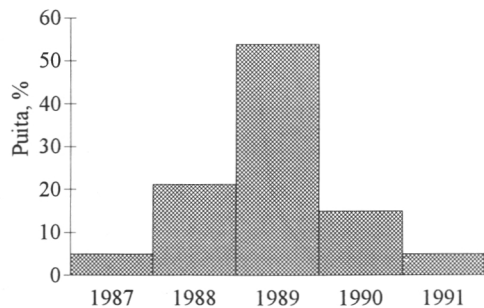
Neulaskato ei synnyttänyt laajoja seuraustuhoja männyllä. Sellaisena on kuitenkin pidettävä mäntyjen pystyynkuivumista neulaskatoalueen lajittuneilla mailla heinäkuun lopulla 1988. Tätä tapahtui ainakin Oulankajokilaaksossa Kuusamossa, Rovaniemen maalaiskunnassa ja Posiolla. Kuivuminen oli todennäköisesti seurausta heinäkuun 1988 sateettomuudesta, joka haittasi juuristoltaan huonokuntoisten puiden vedensantia. Se, että puut olisivat latvustoltaan olleet heikkokuntoisia jo toukokuussa 1988, voitiin kumota sillä, että heinäkuun lopulla ruskettuneissa puissa ei ollut kevätkesällä parveilevien hyönteisten iskeymiä lainkaan. Männyn ohella myös kuusi reagoi heinäkuun 1988 kuivuuteen, mikä havaittiin vanhimpien neulasvuosikertojen harmaantumisenä etäältä katsot-

taessa. Lähitarkastelu osoitti neulasten pinnan koostuvan halkaisijaltaan alle yhden millimetrin kokoisista mosaiikkimaisista keltaisista pisteistä vihreällä pinnalla.

Toinen seuraustuho oli männyn latvojen kuivuminen. Latvakato saattoi ulottua jopa kymmenen nuorimman oksakiehkuran oksien kärkiin (kuva 6). Kuivalatvaisuuden synty rajoittui pääosin vuoden 1989 kasvaimiin, joskin ensimmäiset latvakasvaimet kuolivat jo 1987 (kuva 7). Tuho oli keskittynyt kapeille harjuille, tieleikkausten reunoille ja muille vastaaville talvella vähälumisimmille paikoille. Kasvuhäiriötyypistä latvakatoa oli koko neulaskatoalueella, mm. Rovaniemen maalaiskunnan Hietaperänkankaalla, Posion



Kuva 6. Lapin neulaskatoalueella havaittiin männyn latvojen kuivumista kesältä 1988 alkaen. Hossa, Suomussalmi 17.6.1991. Kuva: Risto Jalkanen.



Kuva 7. Männyn latvojen kuolemisaikajohdan jakauma Rovaniemen maalaiskunnan Hietaperänkankaalla ja Sallan Kotalassa (n = 80).

Suottakankaalla, Sallan Kotalan harjulla ja Suomussalmen Hossassa. Tämä seuraustuho voi olla vakavampikin, jos ilmiö on ravinneperäinen kasvuhäiriö.

Lapin neulaskatoalueen mäntyjen näkyvä oireisto oli tiivistettynä seuraava:

1. voimakas vanhojen neulasten kellastuminen heinäkuussa 1987
2. pituuskasvun taantuminen samanaikaisesti neulasmenetysten kanssa
3. neulaskatokesänä syntyneiden neulasten jääminen huomattavan lyhyiksi
4. yksittäisten puiden kuoleminen kesällä 1987
5. puuston kasvun hidas, mutta varma toipuminen ja neulaston nopea palautuminen normaaliksi neulaskadon jälkeisinä vuosina. Neulaset olivat erityisen pitkiä kesällä 1988; neulasten pituusvaihtelu oli kuitenkin valtavaa
6. seuraustuhona kaikenkokoisten mäntyjen kuivumista heinäkuussa 1988 ja latvakatoa vuosina 1988–1990.

Mainittujen oireiden ohella neulaskatoaluetta rajasivat monet muut ilmiöt.

3.2 Muita vaurioita ja poikkeuksellisia havaintoja metsä-, maatalous- ja puutarhakasveilla

Keskeisellä neulaskatoalueella todettiin monia muita ilmiöitä, jotka ajallisesti ja paikallisesti näyttivät liittyneen kesän 1987 neulaskatoon. Tällaisia jo kesällä 1987 todettuja olivat kanervan ja muiden varpujen vaurioituminen ja kuoleminen suojattomilla paikoilla kuten kumpareilla tai rahkamättäillä, taimitarhaimien juuristojen tuhoutuminen taimitarhoilla ja jo viljeltynä metsissä (kymmenien miljoonien taimien menetykset) sekä runsaan päänjäämuodostuksen aiheuttamat totaaliset

kuolemat niin kasvipeitteessä kuin puustossa (Jalkanen 1990). Hyvin kasvaneilla männyillä oli usein rotanhäntämäiset latvakasvaimet (Jalkanen 1988). Kasvukauden 1987 kylmyydestä ja lyhyydestä oli seurauksena keskenkasvuisia kasvaimia myös keskikesän neulaskadosta kärsimättömillä alueilla, joilla sitten elokuussa 1987 havaittiin hallavaurioita männyn kasvaimissa. Keskenkasvuiset kasvaimet kärsivät kevätahavasta keväällä 1988.

Neulaskatoon johtaneet tekijät lienevät olleet osallisena myös neulaskatoalueen rämeiden mäntyjen yleiseen huonoon pituuskehitykseen vuosina 1987–1992. Kuitenkin rämepuustojen kehitys näyttäisi poikkeavan tapahtumista ympäröivillä kangasmailla: itäisen Lapin rämeet olivat roudassa läpi kesän vuosina 1985 ja 1987.

Etenkin neulaskatoisissa metsissä suursienisato jäi syksyllä 1987 olemattomaksi, vaikka sateisuudeltaan olosuhteet olivat erinomaista sienisatoa ennustavia. Sen sijaan kuivan kasvukauden 1988 sienisato oli ennätyksellinen. Monet puuvartisten koristekasvit tuhoutuivat kokonaan. Perinteiset juurakkona talvehtivat koriste- ja hyötykasvit kuten humala, apila ja mansikka, eivät versoneet neulaskatoalueella kesällä 1987.

Jo talvella 1986/87 alettiin epäillä luonnon kestäkykyä vallinneissa lumettomuuden ja kovan pakkasen olosuhteissa. Ensimmäiset osoitukset talven epäedullisten olosuhteiden vaarallisuudesta saatiin, kun keskitalvella ilman lumen suojaa taimitarhalla säilytettyjä taimia kannettiin maaliskuussa 1987 lumen alta lämpimään kasvihuoneeseen: niiden juuret olivat tuhoutuneet, mutta maanpäälliset osat olivat useimmiten terveitä (Jalkanen 1990).

4 Tutkimukset neulaskatoisten metsien tilasta vuosina 1987–1988

4.1 Johdanto

Kun mäntyjen vanhoja neulasia kellastui poikkeuksellisen runsaasti kesällä 1987, syntyi välitön tarve ratkoa tutkimuksen keinoin, millaiseen tilaan puusto oli joutunut tai joutumassa. Niinpä syksyllä 1987 aloitettiin paitsi kokeelliset tutkimukset neulaskatoon johtaneista syistä niin myös inventointiselvitykset puuston tilasta. Tulokset puuston tilasta vuosina 1987–1988 julkaistaan tässä luvussa.

4.2 Aineisto ja menetelmät

4.2.1 Tutkimusmetsiköt ja koejärjestelyt

Metsien tilan tutkimusta varten valittiin metsiköitä yhtäältä sekä neulaskatoalueelta että sen ulkopuolelta ja toisaalta sekä hyviltä että huonoilta kasvupaikoilta neulaskatoalueen sisällä. Näitä edustivat Metsäntutkimuslaitoksen Kivalon tutkimusalueen Hietaperänkankaan taimikot 1 (Rovaniemi–Kuusamo-tien varrella) ja 3 (Hyypiöntien varrella) sekä Höpöttäjän taimikko (Hyypiöntiestä erkanevan Höpöttäjätien alkupään taimikko) Rovaniemen maalaiskunnassa, yksityismailla sijaitsevat Hirvasvaara Kemijärven Räisälässä ja Tähtelä Sodankylässä (ks. kuva 11). Hietaperänkankaasta käytetään jatkossa lyhennettyä muotoa Hietaperä.

Tähtelää lukuunottamatta metsiköt sijaitsevat neulaskatoalueella. Höpöttäjän taimikko ei kokenut voimakasta keskikesän neulaskatoa. Tätä tuoreen kankaan kylvömännikköä lukuunottamatta metsiköt olivat syntyneet luontaisesti kuivalle kankaalle. Taimikoiden ikä oli 25–40 vuotta ja keskipituus 2,3–4,0 m.

Näytteiden keruuta ja puuston mittausta varten kuhunkin metsikköön perustettiin kaksi

50 x 50 metrin ruutua marraskuussa 1987. Jokainen ruutu jaettiin 10 x 10 metrin osaruutuihin joista kymmenen valittiin satunnaisesti näyteruuduiksi ja joiden keskipuu numeroitiin. Viisi lähinnä keskipuuta olevaa mäntyä merkittiin **neulasnäytepuiksi**.

4.2.2 Neulasten ravinneanalyysi

Kunkin neulasnäytepuun 3. oksakiehkuran yhdestä oksasta muodostettiin ruutukohtainen kokoomanäyte erikseen vuosina 1986 ja 1987 syntyneille neulasille. Nämä ravinneanalyysinäytteet, yhteensä 20 kpl/metsikkö/ajankohta, kerättiin sekä marras–joulukuussa 1987 että huhti–toukokuussa 1988. Neulasnäytteistä mitattiin tyyppi (N) CHN-analysaattorilla (Leco) ja fosfori (P), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), kupari (Cu), sinkki (Zn), alumiini (Al), mangaani (Mn), rauta (Fe), natrium (Na) ja rikki (S) typpihappovetyperoksidimärkäpoltton jälkeen plasmaemissiospektrometrillä (ICP/AES) (Huang & Schulte 1985). Rikin analysoinnin tarkoituksena oli selvittää alueen rikkikuormaa.

4.2.3 Neulasvuosikertojen määrittäminen

Neulasnäytepuiden neulasvuosikerrat määritettiin vihreän latvuksen keskiosasta usean oksan keskiarvona 0,25 neulasvuosikerran tarkkuudella kesäkuun alkupuolella 1988. Samalla mitattiin puiden pituudet. Koska osa Hirvasvaaran puista oli kuollut kesällä 1987, kaikkien kuolleiden puiden pituudet ja vuosien 1985–1987 pituuskasvut mitattiin 19.7.1988. Samalla määritettiin puissa kuivuneina olleiden neulasvuosikertojen määrän ruutukohtaiset keskiarvot. Ne kuvasivat vähintään sitä vuosikertojen määrää, mikä puissa oli ennen neulaskatoa alkukesällä 1987 ja ilman vuoden 1987 neulasia.

4.2.4 Kylmänkestävyyden testaus

Mäntyjen talveentumisasteen selvittämiseksi Hietaperä 3:n ja Tähtelän yhden 50 x 50 metrin ruudun kaikista merkityistä keskipuista (kymmenen mäntyä/metsikkö) kerättiin 24.11.1987 kymmenen vähintään 2 mm paksumaa oksaa. Yksi näyteoksa sisälsi kahden viimeisen vuoden eli neulaskatokesän (1987) ja sitä edeltäneen kasvukauden (1986) versot neulasineen. Metsikkökohtainen näytemäärä oli siten 200 kpl. Syksyllä 1987 näytteidenkeruupuissa (10 kpl/metsikkö) oli Hietaperällä keskimäärin 3,1 vihreää vuosikertaa ja Tähtelässä 4,1. Puiden keskipituudet olivat vastaavasti 3,2 ja 2,2 m.

Näytteet lähetettiin välittömästi keräyksen jälkeen kylmälaukkuihin pakattuina Metsäntutkimuslaitoksen Suomenjoen tutkimusasemalle jatkokäsitteltäväksi.

Kun kylmävarastossa säilytettyjä näytteitä tuotiin käsiteltäväksi, oksien tyveltä leikattiin noin 1 cm:n pituinen pala pois. Kylmäkäsitelyyn menevät oksat sijoitettiin vesiastiaan koko testauksen ajaksi niin, että tyvet olivat vedessä. Koko materiaali käsiteltiin kylmäkaapeissa kolmen yön aikana 30.11.–3.12.1987. Käsitelylämpötiloina olivat vaihteluvälin (2,5 °C) maksimin mukaan –20,0, –22,5, –25,0, –27,5, –35,0, –37,5 ja –45,0 °C. Oksat olivat minimilämpötilassa kolme tuntia. Kustakin oksasta mitattiin uusimman vuosikasvaimen verson paksuus sekä impedanssi ($f = 1$ kHz) ennen kylmäkäsitelyä ja sen jälkeen. Tuloksista laskettua verson ominaisimpedanssieroä käytettiin hyväksi kylmyyden mahdollisesti aiheuttamien verson sisäisten vaurioiden osoittamisessa. Näkyvien vaurioiden määrittämiseksi kylmäkäsitellyt versot vietiin astioissaan kasvihuoneeseen (+20 °C) pitkään päivään (16 h/8 h). Kuivumisvaurioiden välttämiseksi oksia sumutettiin noin sekunnin ajan joka tunti. Neulasten vaurioituneisuus arvioitiin 16.12.1987 seuraavan luokituksen mukaan:

- 0 = ei näkyviä vaurioita;
 1 = hyvin lieviä vaurioita, esim. ruskeita täpläsiellä täällä; ja
 2 = selviä neulasvaurioita, esim. muutamia kuolleita neulasia siellä täällä, vaurioituneiden neulasten määrä alle 20 %.

4.2.5 Koejärjestelyt kesän 1987 neulaspoistuman määrittämiseksi

Neulaston inventointiin käytettiin viittä kangasmaan mäntytaimikkoa, jotka olivat Hietaperä 1, 2 ja 3, Höpöttäjä ja Kuohunki (ks. kuva 11). Hietaperä 1 ja 3 sekä Höpöttäjä olivat samoja taimikoita kuin luvuissa 4.2.1 ja 5.1.2.1 mainitut metsiköt. Hietaperän taimikko 2 oli noin 40-vuotias, luontaisesti syntynyt kuivan kankaan riuukaasteen taimikko Hyypiöntien länsipuolella valtatiestä etelään (taulukko 2). Ominaisuuksiltaan vastaava Kuohungin koe sijaitsi Narkaus–Jokela -tien varressa. Kaikki kokeet olivat neulaskatoalueella. Höpöttäjää lukuunottamatta kohteet olivat tyypillisiä kesällä 1987 neulaskadosta kärsineitä taimikoita.

Kussakin metsikössä oli neulasvuosikertojen vuotuisen vaihtelun seurantaan perustettu pysyvä koe, joka koostuu neljästä 20 koepuun koealasta. Koko aineistossa koepuita oli siten 400 kpl. Kunkin koepuun vuosikerrat määritettiin elävän latvuston keskiosan neljästä oksasta 15.–29.9.1987. Vihreiden, kellastuneiden, ruskeiden ja mahdollisesti karisseiden neulasten osuudet määritettiin vuosikerroittain 0,25 vuosikerran tarkkuudella.

Taulukko 2. Neulasvuosikertojen seurantakokeiden metsikkö- ja puustotietoja.

Metsikkö	Kasvu- paikka- tyyppi	Ikä v	Runko- luku kpl/ha	Keski- pituus m
Hietaperä 1	KK	35	2500	3,0
Hietaperä 2	KK	45	2000	6,4
Hietaperä 3	KK	35	2600	4,1
Kuohunki	KK	55	1600	6,9
Höpöttäjä	TrK	25	1900	4,3

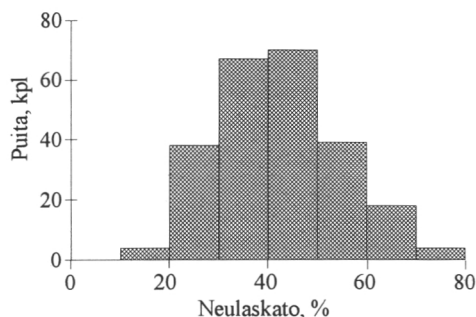
4.3 Neulaskatoisten metsien tila vuosina 1987–1988

4.3.1 Kesän 1987 neulaskadon määrä

Männyn neulasvuosikertoja oli kesäkuun lopulla 1987 keskimäärin viidestä kuuteen uudet, vuoden 1987 neulaset mukaan lukien. Neulasia alkoi kellastua vanhimmasta päästä heinäkuussa, ja neulasten kuolemista tapahtui aina syksyyn 1987. Keskimäärin metsiköiden puut menettivät 2,2 (40 %) neulasvuosikertaa. Hietaperällä kato oli 2,4 vuosikertaa ja neljässä kuivan kankaan taimikossa keskimäärin 2,3. Selvästi vähiten (1,5 vsk) neulasia kellastui Höpöttäjän tuoreen kankaan taimikossa (taulukko 3). Kellastuneet neulaset olivat vähintään yhden vuoden vanhoja. Talveh-tineista (ennen v. 1987 syntyneistä) neulasista menetettiin kuivilla kankailla 44,7–61,2 %, Höpöttäjällä 32,6 % ja keskimäärin koko aineistossa 48,9 %.

Puiden väliset neulasvuosikertaerot metsikön sisällä olivat suuria sekä ennen neulas-katoa että sen jälkeen. Kesäkuussa 1987 män-nyn neulasvuosikertojen määrä vaihteli kol-mesta kahdeksaan. Syksyllä 1987 vihreitä vuosikertoja oli pienimmillään 1,2 ja suurim-millaan 5,4. Kesällä 1987 puittainen poistuma vaihteli yhdestä vuosikerrasta (pitkän aika-välin normaaliarvo) 4,6:een (10–80 % neulas-tosta, kuva 8).

Syystalvella 1987 metsiköiden suurin neulasvuosikertamäärä (4,3) oli neulaskatoalueen tuoreen kankaan taimikossa (Höpöttäjä), minkä tason (4,1) saavutti myös neulaskato-alueen ulkopuolinen kuivan kankaan taimikko (Tähtelä Sodankylässä). Ainoa tutkimuksen piiriin kuulunut taimikko, missä todettiin neulaskatoilmiöön kesällä 1987 liittynyttä taimien kuolemista (14,1 % taimimäärästä), oli Kemijärven Hirvasvaara. Neulasvuosiker-tojen määrä sen elävinä säilyneissä männyissä oli huomattavan alhainen (2,7) verrattuna alkukesällä 1987 kuolleisiin taimiin (4,4), kun laskelmassa on otettu huomioon kesän 1987 neulasvuosikerta. Hirvasvaaran kuolleet puut



Kuva 8. Puittaisen neulaskadon (%) jakauma Rovanie-men maalaiskunnan Hietaperänkankaan taimikoissa 1, 2 ja 3 kesällä 1987 (n = 240).

olivat selvästi lyhyempiä (1,7 m) kuin koko metsikön keskipituus (3,3 m). Osa kuolleista puista kasvoi hieman kesällä 1987 (pituuskasvu keskimäärin 2,9 cm), suurin osa (84,2 %) kuitenkin kuoli ilman kasvua.

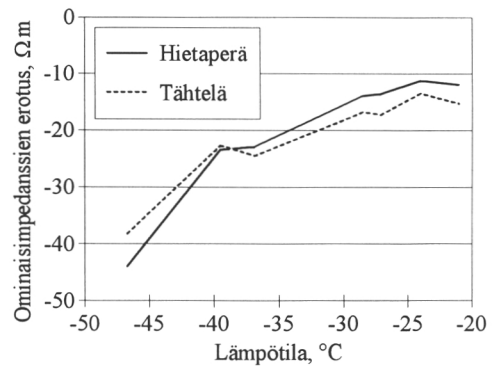
4.3.2 Mäntyjen kylmänkestävyys syksyllä 1987

Impedanssimittausten perusteella neulas-kadosta kesällä 1987 kärsineiden mäntyjen (Hietaperä) versojen kylmänkestävyys ei ollut heikentynyt verrattuna neulaskatoalueen pohjoispuolisiin mäntyihin (Sodankylän Tähtelä) marraskuussa 1987. Impedanssikäyrät olivat tyypillisiä karaistuneiden oksien käyriä (kuva 9). 70 oksan keskiarvona laskettu ominaisimpe-danssi ennen pakkaskäsittelyä oli Hietaperällä 72,8 Ω m ja Tähtelässä 77,2 Ω m. Impedanssien erotuksen muutos $-40...-45$ °C:ssa osoittaa versojen vaurioituneen lievästi. Kylmä-käsittely ei kuitenkaan vaurioittanut neulasia näkyvästi alhaisimmissakaan lämpötiloissa.

4.3.3 Puiden ravinnetila syksyltä 1987 huhtikuulle 1988

Sekä marraskuun 1987 että huhtikuun 1988 neulasanalyysit kuvastivat lajittuneen karun kankaan niukkaravinteisuutta Hietaperällä, Hirvasvaaralla ja Tähtelässä. Niiden kaikkien kasvupaikkatyyppi oli kuiva kangas. Höpöttäjän tuoreella kankaalla ravinteisuustaso oli edellisiä korkeampi. Kuivan kankaan typpipitoisuus oli keskimäärin noin 10 mg/g:ssa kuiva-ainetta, uusimmassa neulasvuosikerrossa hieman enemmän kuin vuotta vanhemmassa. Pääravinteiden taso oli yleensä hyvä ja maanlaajuiseen aineistoon verrattuna normaali (Raitio 1994). Uusimman neulasvuosikerran magnesiumipitoisuus oli sen sijaan alhainen verrattuna vuotta vanhempiin neulasiin erityisesti Hirvasvaaralla (taulukko 4). Myös kalsiumin määrä oli jäänyt poikkeuksellisen alhaiseksi neulaskatoalueen kuivilla, mutta ei tuoreella kankaalla (Höpöttäjä) tai neulaskatoalueen ulkopuolisella kuivalla kankaalla (Tähtelä), vaikka kalsiumipitoisuudet ovatkin normaalisti alhaisimpia uusimmissa neulassissa. Rikkipitoisuudet olivat normaalit kuvastuen samalla sitä, että tutkimusmetsiköt Rovaniemellä, Kemijärvellä ja Sodankylässä eivät ole voineet saada suuria rikkilaskeumia.

Neulaskatopuustoista analysoitiin huomattavan alhaiset mangaanipitoisuudet molemmista neulasvuosikerroista verrattuna puustoihin, jotka eivät kokeneet neulaskatoa (taulukko 4). Myös vuoden vanhojen neulasten sinkkipitoisuudet olivat tavallista alhaisemmat, mikä viittaisi vaikeuksiin ko. ravinteiden saannissa neulaskatoalueella. Hirvasvaaran puuston uusimpien neulasten rautapitoisuus oli huomattavasti muita alhaisempi.



Kuva 9. Männyn versojen kylmäkäsittelyä edeltäneen ja sen jälkeisen ominaisimpedanssin erotus marraskuussa 1987 Hietaperällä ja Tähtelässä.

Taulukko 3. Neulasvuosikertojen määrä oksissa kesä-, heinä- ja lokakuussa 1987 Lapin neulaskatoalueen mäntymetsäyksissä. Luvut sisältävät kesällä 1987 syntyneet neulaset.

Metsikkö	Kesäkuu	Heinäkuu		Lokakuu
	nvs, kpl	Neulaskato nvs, kpl	Neulaskato %	nvs, kpl
Hietaperä 1	5,2	2,2	42,3	3,0
Hietaperä 2	5,7	2,1	36,8	3,6
Hietaperä 3	5,9	3,0	50,8	2,9
Kuohunki	5,1	2,0	39,2	3,1
Höpöttäjä	5,6	1,5	26,8	4,1
Keskimäärin	5,5	2,2	40,0	3,3

nvs = neulasvuosikertoja

Taulukko 4. Kahden uusimman neulasvuosikerran ravinnepitoisuudet männyllä Lapin neulaskadon jälkeen marras-
kuussa 1987 neulaskatoalueen kuivalla (Hietaperä 1 ja 3 sekä Hirvasvaara) ja tuoreella (Höpöttäjä) sekä neulas-
katoalueen ulkopuolisella kuivalla (Tähtelä) kankaalla (n = 20 per metsikkö).

Ravinne	Neulas- vuosikerta	Hietaperä 1	Hietaperä 3	Hirvasvaara	Höpöttäjä	Tähtelä
N, mg/g	1987	9,7	10,0	10,3	10,7	9,6
	1986	8,3	8,7	9,6	10,2	9,2
P, mg/g	1987	1,60	1,61	1,60	1,98	1,46
	1986	1,25	1,30	1,33	1,78	1,20
K, mg/g	1987	5,27	5,07	4,59	5,45	4,57
	1986	3,87	3,92	3,47	4,55	3,65
Mg, mg/g	1987	1,09	0,97	0,86	1,12	1,18
	1986	1,05	0,97	1,07	0,99	0,99
Ca, mg/g	1987	1,62	1,53	1,29	1,95	2,10
	1986	2,81	2,70	2,57	3,38	3,03
S, mg/g	1987	0,95	0,92	0,88	1,11	0,90
	1986	0,82	0,82	0,84	1,06	0,81
Cu, mg/kg	1987	2,93	3,20	2,85	3,61	3,25
	1986	2,49	2,67	2,41	3,11	2,96
Zn, mg/kg	1987	47,3	46,8	36,8	47,9	49,2
	1986	56,5	55,9	52,7	73,5	62,7
Al, mg/g	1987	0,26	0,26	0,22	0,27	0,37
	1986	0,40	0,41	0,39	0,40	0,46
Mn, mg/g	1987	0,41	0,36	0,39	0,58	0,55
	1986	0,59	0,53	0,64	1,02	0,74
Fe, mg/kg	1987	60,4	51,7	39,9	64,7	54,7
	1986	78,1	60,2	51,7	189	80,3
Na, mg/kg	1987	39,1	38,2	57,9	38,4	27,4
	1986	47,4	35,8	76,1	48,2	36,9
Kuiva- paino-%	1987	45,2	44,5	44,5	40,0	43,6
	1986	45,3	46,1	45,8	45,4	45,4

5 Kokeelliset tutkimukset neulaskadon syistä vuosina 1987–1990

5.1 Juurten kylmästressin vaikutus puuston tilaan

5.1.1 Johdanto ja hypoteesit

Kesän 1987 neulaskato aiheutui:

- A. talven 1986/87 lumettomista ja kylmistä sääoloista,
- B. ilman kautta leviävistä epäpuhtauksista tai
- C. molemmista yhdessä

Tarkennus hypoteesiin A:

Joulu–tammikuun 1986–87 äkillisen kylmän jakson aikana puiden juuret ja/tai mykorritsat vaurioituivat alueilla, missä oli erityisen vähän lunta tai paikoilla, missä juuret olivat muuten suojattomia (mm. karut kankaat – ohutkuntaisuus ja poron vähiin syömä kasvi-peite). Maanpinnalle jäänyt vesi ja maan routaantuminen märkänä vähensivät hapen määrää maassa. Juurten toimintavaikeuksien seurauksena puiden vesi- ja ravinnetalouden hoidon ongelmat johtivat vanhojen neulasten kellastumiseen, kun niistä siirtyi vettä ja ravinteita nuorempien osien tarpeisiin. Kun juuriston toiminta oli rajoittunut ja ravinteista ja vedestä oli pula, puiden kasvu taantui jo neulaskatokesänä.

Hypoteesin mukaan neulaskadosta toipuneilla puilla vanhojen neulasten kellastumista pidetään puun sisäisten toimintojen säätelemänä uudelleenallokointi-ilmiönä, eikä siten ulkopuolisten tekijöiden neulasiin kohdistuneena tuhona. Puut, joissa juuristovauriot olivat ankaria, eivät kyenneet em. säätelyyn, vaan kuolivat ilman neulaskatoa. Samoista syistä myös taimitarhataimien, kanervan, koristepensaiden, humalan, apilan ja mansikan juuret tai juurakot vaurioituivat. Toipuminen vaurioista oli seurausta neulaskatoon johtaneiden syiden hetkellisyydestä. Neulaskadon paikkasidonaisuus johtui eroista maan lämpötila-, lumi- ja routasuhteissa sekä kasvupaikan muissa ominaisuuksissa.

Tarkennus hypoteesiin B:

Epäpuhtauksien suorat vaikutukset neulasiin ja epäsuorasti maan kautta koko puun toimintaan vaurioittivat neulasten solukoita, minkä tuloksena eniten vaurioituneet ja heikkokuntoisimmat neulaset karisivat kesken kasvukauden. Koska epäpuhtaudet vaurioittivat juuristoja vain välillisesti, neulasmaenetykset heijastuivat juuriston kasvun ja uudistumisen hidastumisena, mutta ei sen tuhoutumisena. Myöskään pituuskasvu ei taantunut ilman epäpuhtauksien takia nopeasti, vaan johti asteittain puiden hitaaseen kuolemiseen. Ilman epäpuhtauksien aiheuttamien vaurioiden seurauksena maaperässä ja puiden ravinnetaloudessa tapahtui mitattavia, saastuneisuutta indikoivia muutoksia. Vaurioalueen puusto ei toipuisi.

Yllättävät vauriot saman kauden aikana paantamispaikkojen kasvillisuudessa, taimitarhataimissa, kanervalla, koristepensailta, humalalla, apilalla ja mansikalla johtuivat myös ilman epäpuhtauksista. Lapin kaikilla karuilla mäntykankailla todettaisiin neulaskatoilmiö — alueelliset erot selittyisivät perinnöllisillä ominaisuuksilla. Rikkilaskeumien ollessa kyseessä neulaskadon pitäisi olla voimakkainta pohjoisimmassa Lapissa metsänrajalla ja muualla Lapin itärajan tuntumassa. Otsonin ollessa kyseessä vauriot kohdistuisivat samalla tavalla koko Lapin alueeseen, koska otsoni on pääosin kaukokulkeutunutta. Otsonin syntytavasta johtuen kesän 1987 neulaskatoa voimakkaampaa neulasten vaurioitumista tapahtuisi kesällä 1988, koska saman vuoden maaliskuussa aurinko paistoi lähes joka päivä pilvettömältä taivaalta.

Tarkennus hypoteesiin C:

Ilmansaasteet heikensivät karujen maiden mäntyjen kestävyyttä niin paljon, että poikkeukselliset sääolot pystyivät vaurioittamaan juuristoja. Ilmansaasteet heikensivät samanai-

kaisesti myös muutaman kuukauden kasva-
neita taimitarhataimia uudella turvealustalla,
vasta metsään vietyjä taimia, kanervaa, koris-
tepensaita, humalaa, apilaa ja mansikkaa sekä
kasvillisuutta paannejäälaikuissa. Hypoteesien
A ja B tarkastelu erikseen antaa tietoa päätte-
llylle, millä tasolla esimerkiksi ilman epäpuh-
taudet ovat vaikuttaneet ilmiöön.

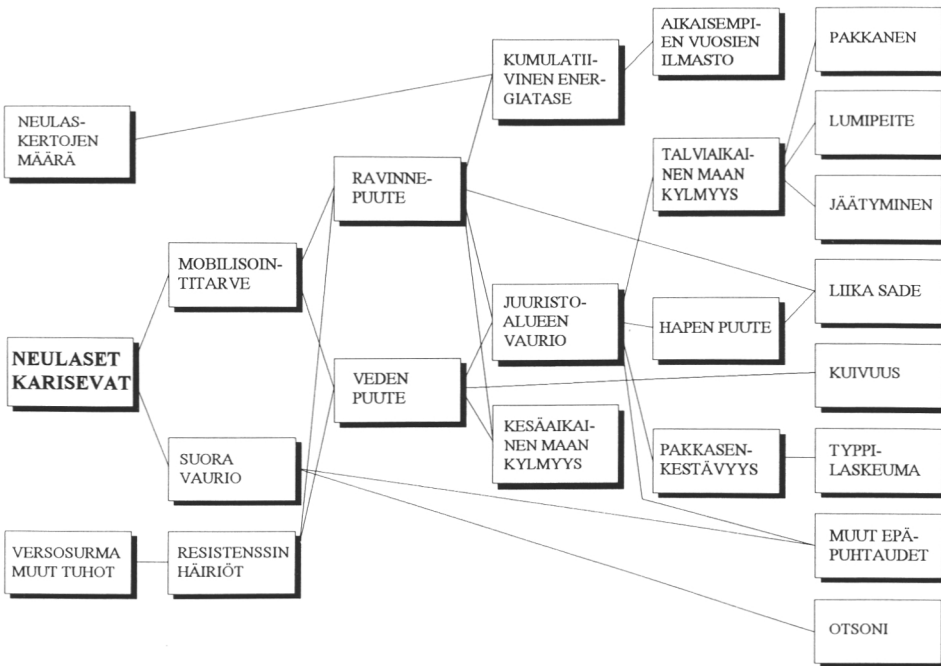
Lapin neulaskadon 1987 neulasten kari-
semiseen johtaneista ja vaikuttaneista teki-
jöistä ja niiden välisistä riippuvuusuhsteista
laadittiin alustava malli (kuva 10).

5.1.2 Aineisto ja menetelmät

5.1.2.1 Koemetsiköt

Juurten kylmästressikokeita tehtiin kahdella
paikkakunnalla Pohjois-Suomessa: Hietape-
ränkankaalla Rovaniemen maalaiskunnassa ja
Sattasessa Sodankylässä sekä yhdellä paikka-

kunnalla Lounais-Suomessa: Hämeenkan-
kaalla Jämijärvellä (kuva 11). Koska kesän 1987
neulaskato oli rämeiden ohella tyypillinen ja
merkittävä nimenomaan karuilla lajittuneilla
hiekkakankailla, myös varsinaiset koemetsiköt
sijoitettiin vastaaville kuiville kankailla.
Näistä Hietaperänkangas sijaitsi kesän 1987
neulaskatoalueella ja Sattanen sen pohjois-
puolella (noin 140 km Hietaperänkankaalta
pohjoiseen). Hietaperänkankaan esikoe ja var-
sinainen koe olivat samassa metsikössä
Rovaniemi-Kuusamo -valtatieltä Kivalon tut-
kimusalueen Hyypiöntien varressa Metsän-
tutkimuslaitoksen maalla. Sattasen koe oli
yksityismaalla. Kolmanneksi alueeksi valittiin
Hämeenkangas, koska se edusti ilman epä-
puhtauksien suhteen selkeästi saastuneinta
aluetta ollen myös kaukana kesän 1987 neu-
laskatoalueesta. Hämeenkan-
kaan koemetsikkö sijaitsi 3 km Jämin ilmailuopistolta kaakkoon
Puolustusministeriön maalla.



Kuva 10. Lapin neulaskadon 1987 neulasten karisemismalli.



Kuva 11. Juurten kylmästressikokeiden ja muiden tutkimusmetsiköiden sijainti.

Varsinaisiin koalueisiin liittyen meteorologisia mittauksia tehtiin myös Maatalouden tutkimuskeskuksen Lapin tutkimusaseman pihassa, noin 35 km Hietaperänkankaalta luoteeseen.

Koemetsiköiden valinnassa lähtökohtana tuli olla yhtäläisyys Hietaperänkankaan taimikkoon. Myös koejärjestelyistä johtuen puuston koolle asetettiin enimmäisrajat. Siksi

Jämijärven puusto oli huomattavasti nuorempaa kuin Hietaperänkankaalla tai Sattasessa (taulukko 5). Kaikki metsiköt olivat syntyneet luontaisesti.

Seuraavassa tekstissä kokeista käytetään nimiä **esikoe**, kun puhutaan Hietaperänkankaan esikokeesta, **Hietaperä** tai (**H**), kun puhutaan varsinaisesta kokeesta Hietaperänkankaalla, **Sattanen** tai (**S**), kun tarkoitetaan Sattasen koetta ja **Jämi** tai (**J**), kun tarkoitetaan Jämijärven Hämeen Kangasta. Maatalouden tutkimuskeskuksen Lapin tutkimusasemasta käytetään nimitystä **Apukka**.

5.1.2.2 Koejärjestelyt

Esikoe

Esikokeen tarkoituksena oli kehittää menetelmällisiä mahdollisuuksia männyn juuriston altistamiseksi epäedullisille säätetekijöille seuraavana talvena kolmella paikkakunnalla toteutettavaa varsinaista juuriston kylmästressitutkimusta varten. Esikokeessa testattiin kuitenkin jo A-hypoteesia.

Esikoe perustettiin Hietaperänkankaalle Metsäntutkimuslaitoksen Kivalon tutkimusalueelle syystalvella 1987. Lajittuneelle maalle syntynyt mäntytaimikko katsottiin sopivaksi kohteeksi esikokeelle, koska siinä ajateltiin voitavan parhaiten jäljitellä talven 1986/87 poikkeuksellisia sääolosuhteita. Esikokeessa juuria stressattiin joko estämällä lumen tulo maahan keskitalvella (käsitteystä käytetään nimeä **lumeton**) tai luomalla routaantuneen maan päälle kastellen massiivinen jääkerros lumen sekaan (**lumijää**).

Taulukko 5. Koemetsiköiden ja kokeiden tunnuksia.

Metsikkö	Kasvupaikka- tyyppi	Ikä v	Keskipituus m	Runkoluku kpl/ha	Mitattuja puita, kpl
Hietaperä, esikoe	KK	35	2,3	5950	329
Hietaperä, varsinainen koe	KK	35	2,4	4200	234
Sattanen, varsinainen koe	KK	25	1,5	5690	307
Jämi, varsinainen koe	KK	15	1,9	9580	120

Käsittelyruudun koko oli 10 x 10 metriä. Kumpikin käsittely toistettiin kahdesti. Lumen pääsy ruuduille estettiin rakentamalla päätyseinien yläosista auki olevia sadan neliömetrin kokoisia muovihuoneita (kuva 12). Muovi oli paikoillaan marraskuulta 1987 huhtikuun 18. päivään 1988 estäen siten lumi- ja kuurasujan maan ja juuriston ohella myös neulasilta. Katoksen päälle kertynyt lumi poistettiin aika ajoin.

Lumen sekainen jääkerros (**lumijää**), 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. Levitetyn veden määrää ei mitattu. Sekä lumetoman että lumijääkäsittelyn toiset ruudut katettiin 10 cm:n paksuisella sahanpurukeroksella huhtikuun loppupuolelta heinäkuun alkuun 1988 tarkoituksena hidastaa maan lämpenemistä ja roudan sulamista. Sahanpuruisella lumijäärudulla oli jäätä maan pinnalla vielä 6. kesäkuuta.

Edellisten ruutujen lisäksi esikokeeseen sisältyi kaksi käsittelemätöntä ruutua (**käsittelemätön**), joille ei aiheutettu kokeellista lisästressiä. Kaikkien talven 1986/87 kylmyyden kokeneiden käsittelyruutujen koko oli 100 m². Ruutujen runkoluku vaihteli 3150 puusta 7300 puuhun hehtaarilla. Koepuita oli kaikkiaan 329 kpl.



Kuva 12. Lumipeitteen syntymisen estämiseen käytetty kehikko ilman muovikatetta. Varsinainen juuri-stressikoe, Sattanen. Kuva: Tarmo Aalto.

Varsinainen koe

Esikokeen kokemusten perusteella varsinainen kylmästressitutkimus alkoi syksyllä 1988 kolmella paikkakunnalla. Tämän kokeen tarkoituksena oli testata talvella 1988/89 myös ilman epäpuhtauksien merkitystä neulaskadossa sijoittamalla koemetsiköt laskeumaltaan erilaisille alueille. Siten koepuusto altistuisi juurten kylmästressin ohella myös epäpuhtauksille (lähinnä rikin ja typen yhdisteille, mutta myös otsonille) etenkin Jämissä.

Koesarjan ruutujen (= koealojen) koko oli 100 m². Kuhunkin koemetsikköön järjestettiin kolme lohkoa. Vain Jämissä lohkot ja ruudut voitiin sijoittaa säännöllisin välein. Hietaperällä ja Sattasessa puuston aukkoisuus vaikeutti sijoittelua. Hietaperällä myös muu koetoiminta rajoitti ruutujen sijoittelua. Lohkoihin arvottiin seuraavat kuusi käsittelyä:

1. **käsittelemätön**, 'normaali talvi';
2. **lumeton**, lumen tulon estäminen katoksen avulla;
3. **massiivinen routa**, maan kastelu ja pinnan jäädyttäminen katoksen alla;
4. **lumen poisto**, normaali talven tulo, kunnes lumen poisto kovien pakkasten aikana, lumeton jakso vähintään 4–7 vrk;
5. **olkisuoja**, juurten suojaus akryyliharsoilla ja oljilla syksyllä, normaali talven tulo ja lumen poisto kovien pakkasten aikana, lumeton jakso vähintään 4–7 vrk; olkipeitteellä jäljiteltiin jäkäläkerrosta ja
6. **sulamisen hidastaminen**, 'normaali talvi' muuten, mutta lumen sulamisen viivästyminen keväällä kasaamalla ja siirtämällä ruudulle ylimääräistä lunta huhtikuussa.

Esikokeen toinen käsittelemätön ruutu oli yksi tämän kokeen käsittelemättömistä ruuduista Hietaperällä. Lumeton käsittely toteutettiin esikokeen tavoin katoksessa. Katokset muovitettiin lokakuun puolivälissä (H, S) tai loka–marraskuun vaihteessa (J) 1988. Muovitettiin helmikuun lopulla (H) tai maaliskuun alussa (S, J) 1989. Katoksien särkymisen estämiseksi niiden päälle kertynyt lumi poistettiin 1–2 viikon välein.

Myös maan kastelu tapahtui katoksessa, jolloin maan päälle mahdollisesti syntynyt jääkerros oli lumeton. Annosteltavan kasteluveden määrä laskettiin yhtäläiseksi Rovaniemen lentoasemalla syksyllä 1986 mitatun sademäärän kanssa. Vettä levitettiin ruudulle viikoittain neljännes kuukauden sademäärästä eli syyskuussa noin $7,5 \text{ l/m}^2$, lokakuussa noin 15 l/m^2 ja marraskuussa noin $22,5 \text{ l/m}^2$ (Hietaperä ja Jämi). Sattasessa kasteltiin vain kolme kertaa lokakuussa ($20 \text{ l/m}^2/\text{kerta}$). Hietaperällä vesitys alkoi 26. syyskuuta ja päättyi 14.11.1988, jolloin kokonaismääräksi tuli noin $112,5 \text{ l/m}^2$ ruutua kohti. Maassa ei ollut lunta ennen katoksien valmistumista. Kasteluvetenä käytettiin läheisen lammen vettä (H), Kitisen vettä (S) tai kunnallista vesijohtovettä (J). Kastelua jatkettiin talven tuloon saakka. Käsittelyssä 5 maanpinnalle levitettiin 10–20 cm:n kerros olkia syyskuun lopulla tai lokakuun alussa ennen maanpinnan routautumista.

Koska talvi 1988/89 oli poikkeuksellisen leuto ja koska etenkin kevät 1989 oli pitkä, lämmin ja vähäluminen, tutkimusta ei voitu toteuttaa kokonaisuudessaan. Siten käsittelyä 4 (lumen poisto kovien pakkasten aikana) ei voitu toteuttaa. Käsittelyssä 5 lumi ja oljet poistettiin pitkän odottelun jälkeen huhtikuun alussa 1989, silloinkin ilman kovan pakkasen jaksoa. Näin ollen käsittelyn katsottiin antaneen juurille pelkästään paksua jäkäläpeitettä jäljittelevän lisäsuojan lumen ohella. Tosin Jämissä oli myös normaali jäkäläpeite. Lumi sulii Jämissä niin varhain, että käsittelyssä 6 ruuduille ei lisätty lunta. Koska muillakin alueilla lumi sulii varhain, 25.–27.4. toteutulla lisälumettamisella ei voitu viivästyttää roudan sulamista lumen hävittyä jo huhtikuussa.

Talvella 1989/90 koetoimintaa jatkettiin Hietaperällä ja Sattasessa. Käsittelyinä olivat käsittelemätön ja lumeton. Käsittelemättömiksi ruuduiksi valittiin edellisen talven käsittelyt 1 ja 4 kahdessa lohossa. Lumetomina pidettiin käsittelyt 2 ja 3. Käsittelyt toistettiin siten 4 kertaa. Kehikot muovitettiin lokakuun loppupuoliskolla 1989 ja vapautettiin muoveista 1.–2. helmikuuta 1990.

5.1.2.3 Ilmastotunnusten mittaus ja laskenta

Maan ja ilman lämpötilojen sekä lumi- ja routakerroksen seurannan tarkoituksena oli koota perustietoa lajittuneen hiekkakankaan lämpöoloista, mutta ennen kaikkea selvittää, miten alas juuristokerroksen lämpötila voi laskea tavanomaisen lumisuojan puuttuessa.

Kaikissa juuristressikokeissa ilmasto-oloja seurattiin yleensä yhdellä loholla metsikköä kohden. Esikokeen lämpöoloja mitattiin joulukuulta 1987 kesäkuulle 1988 sekä manuaalisesti viikon välein että automaattisesti tunnin välein. Automaattinen mittauslaitteisto (Aanderaa) oli sijoitettu taukotupaan, mistä johdot vedettiin yhdelle käsittelemättömälle, lumettomalle ja lumijääkoealalle. Taltioivan mittauslaitteen anturit olivat maan pinnassa (0-taso) sekä 5, 20 ja 50 cm:n syvyydellä maassa putkessa. Ilman lämpötilaa seurattiin neljällä termografilla, jotka olivat 2 m:n korkeudella maanpinnasta. Manuaaliset lämpötilahavainnot tehtiin tarkkuuselohepalämpömittareilla, jotka olivat 20 ja 50 cm:n syvyydellä maahan upotetuissa muoviputkissa. Automaattisesta mittauksesta poiketen elohopeamittarit (20 ja 50 cm) sijoitettiin kaikille esikokeen ruuduille kaksin kappalein koealaa kohti. Kaikki elohopeamittarit luettiin kerran viikossa. Helmikuun lopulla 1988 maahan kaivettiin myös digitaalista lämpötilanmittausta varten anturit 0, 5, 20 ja 50 cm:n syvyyteen tarkoituksena kontrolloida sekä manuaalista että tiedonkeruulaitteen mittauksia. Digitaalisia lämpötilatietoja on viikoittain 29.2.–25.7.1988 väliseltä ajalta.

Koaloilla oli myös kaksi lumipeitteen paksuutta osoittavaa mittakeppiä, yksi pohjavesiputki loholla 2 (pohjavesi tosin pysyi koko seurannan ajan 2 m:n mittausvyöhykkeen alapuolella) ja kaksi kahteen metriin ulottunutta routaputkea. Lisäksi yhdellä koealalla oli 3 metrin syvyyteen ulottunut routaputki. Routaputki koostui maahan upotetusta 20 mm halkaisijaltaan olevasta muoviputkesta, jonka sisälle oli pudotettu metyleenisinillä täytetty ohut muoviletku. Maan routautuessa indi-

kaattoriaineen sininen väri muuttui värittömäksi.

Talveksi 1988/89 manuaalisesta lämpötilan seurannasta luovuttiin varsinaisessa kokeessa, kun Hietaperälle, Sattaseen ja Jämiin asennettiin tiedonkeruulaitteet (Grant 1200, ks. kansikuva). Niillä seurattiin maan ja ilman lämpöoloja automaattisesti tunnin välein 16 kanavan avulla. Maan lämpöoloja seurattiin maan pinnasta sekä 5 ja 20 cm:n syvyydeltä maasta. Nyt myös ilman lämpötilan seuranta 2 m:n korkeudella automatisoitiin. Tiedonkeruulaitteiden keräämä tieto purettiin kannettavalle mikrotietokoneelle kolmen viikon välein. Lumi- ja routapeitteen paksuutta seurattiin 1–2 viikon välein kuten esikokeen osalta on kuvattu.

Lämpötilan, lumen ja roudan seuranta jatkui edellä kuvatulla tavalla myös talvella 1989/90 Hietaperällä ja Sattasessa. Jämistä vapautunut tiedonkeruulaite siirrettiin Maatalouden tutkimuskeskuksen Lapin tutkimus-aseman pihalle rakennettuun muovikatokseen, jonka koko oli 5 x 5 m. Mittaus alkoi katoksessa 13.10.1989. Mittaustoiminnan tarkoitus oli verrata näin saatuja tietoja Apukan säähavaintoaseman (Ilmatieteen laitos) mittaustuloksiin ja samanaikaisesti neulaskatoalueen mittaustuloihin Hietaperällä sekä simuloida Hietaperän neulaskatoalueen maan lämpöolot talvelle 1986/87. Apukassa lämpötiloja mitattiin kahdessa pisteessä katoksessa (lumeton) ja yhdessä sen ulkopuolella (käsittelemätön). Mittauskorkeudet olivat +200, 0, -5 ja -20 cm 0-tason ollessa maanpinta. Havaintojen täydentämiseksi katoksessa mitattiin lämpötiloja myös syvyyksiltä -10 ja -50 cm.

Lämpötila-aineiston esittämisen yhteydessä ilmaistaan vuorokauden keskiarvoja, minimejä ja maksimejä, ellei toisin mainita. Vuorokausikeskiarvot laskettiin tunnin välein tehtyjen mittausten keskiarvona. Kuukauden tai muun mittausjakson keskiarvona käytettiin vuorokausiarvojen keskiarvoa. Minimilämpötila oli alin vuorokauden lämpötila, maksimilämpötila korkein.

5.1.2.4 Märkälasseuman mittaukset

Kuhunkin varsinaisen juuristressikoesarjan metsikköön sijoitettiin avoimelle paikalle kaksi sadevesikeräintä märkälasseuman laadun tutkimiseksi. Keruujärjestelmä koostui yleisesti käytössä olevasta sahalaitaisesta muovisuppilosta ja sen alla olevasta keräimestä (Järvinen 1986). Keräimet sijaitsivat metsikön aukoissa 2 m:n korkeudella ja asennettiin metsiköihin syyskuussa 1988. Seuranta lopetettiin loka-joulukuussa 1989. Keruujakson pituus oli Hietaperällä 15 kk, Sattasessa 14 kk ja Jämissä 16 kk. Keräinten alaosa laskeumiseen lähetettiin kerran kuukaudessa Rovaniemelle Lapin vesi- ja ympäristöpiirin vesilaboratorioon, joka määrittä kertyneestä vedestä tai lumesta pH:n, kokonais-, nitraatti- ja ammoniumtypen, sulfaatin ja sähkönjohtokyvyn. Jämin näytteistä em. tavalla määritettiin Rovaniemellä vain jakso tammi-elokuulta 1989. Jämin näytteiden pH ja sähkönjohtokyky mitattiin kuitenkin välittömästi Metsäntutkimuslaitoksen Parkanon tutkimusasemalla koko 16 kk:n ajan. Pitoisuudet muutettiin laskeumiksi koepaikkaa lähinnä olevan säähavaintoaseman sademäärien avulla.

5.1.2.5 Kasvumittaukset

Esikokeessa **koepuina** olivat kaikki koealan puut. Varsinaisessa kokeessa **koepuita** olivat ne puut, jotka sijaitsivat ruudun keskipisteestä mitatun kolmen metrin säteen sisäpuolella (Hietaperä ja Sattanen), Jämissä koepuiksi merkittiin kymmenen mäntyä ruudun keski-osasta. Pituuskasvut mitattiin esikokeessa vuosilta 1986–1989 ja varsinaisessa kokeessa vuosilta 1984–1990 (Jämi 1984–1989) yhden cm:n tarkkuudella. Kuolleiden puiden määrä ja kuolinvuosi selvitettiin kasvun laskentaa varten.

Hietaperällä seurattiin oksien ja neulasten kasvukautista kehitystä kaikkien lohkojen käsittelyillä 1 (käsittelemätön), 2 (lumeton) ja 3 (massiivinen routa) kasvukaudella 1989.

Kustakin yhdeksästä ruudusta valittiin kymmenen keskimääräistä suurempaa mäntyä **seurantapuiksi**, joiden yhdestä merkitystä oksasta verson ja neulasten pituuskasvu mitattiin 3–4 vrk:n välein. Neulasten pituudeksi määritettiin verson keskiosan neulasten keskimääräinen pituus kunakin ajankohtana. Verson pituuskehitystä seurattiin edelleen kesällä 1990 Hietaperällä talven 1989/90 juuristressikokeen muodostaneilla ruuduilla. Uusille ruuduille valittiin seurantapuut edellä kuvulla tavalla.

5.1.2.6 Neulasvuosikertojen määrittely ja verson ulkoisten tunnusten mittaukset

Neulasvuosikertojen määrä arvioitiin silmävaraisesti koepuiden vihreän latvuksen keskiosasta useiden oksien keskiarvona. Erikseen määritettiin vihreät ja mahdollisesti kellastuneet sekä karisseet neulaset 0,25 neulasvuosikerran tarkkuudella. Saaduista luvuista laskettiin vuosikertojen määrät myös edeltäneelle talvelle 1987/88, 1988/89 tai 1989/90. Esikoe inventoitiin heinä–elokuun vaihteessa ja syksyllä 1988. Varsinaisen juuristressikokeen neulasto inventoitiin yleensä kolme kertaa (ennen kasvukautta, heinäkuun lopulla ja syksyllä) vuosina 1989 ja 1990.

Hietaperän ja Sattasen yhden lohkon (nro 1) käsittelyiden 1 (käsitlemätön), 2 (lumeton) ja 3 (massiivinen routa) seurantapuista valittiin syksyllä 1989 yksi keskilatvuksen oksa, josta mitattiin tai/ja laskettiin kasvainten pituudet, kääpiöversollisen osan pituus, neulasarpjen lukumäärä, kääpiöversojen määrä sekä 50 kääpiöversion tuorepaino ja pituus vuosille 1985–1989. Neulasarpjen määrän avulla laskettiin vuotuinen neulaspoistuma.

5.1.2.7 Neulasanalyysit

Kun keväällä 1988 oli todettu voimakas keltainen yleisväri neulaskatoalueen mäntyjen neulasissa ja koska ravinnetaloudella arveltiin olevan osuutensa neulaskadon tapahtumissa

(hypoteesi A), talven 1988/89 varsinaisten juuristressikokeiden mäntyjen neulasten ravinnepitoisuuksia ja väriä seurattiin kuukausittain huhtikuun puolivälistä syyskuun loppuun 1989 Hietaperällä ja Sattasessa. Jämistä näytteet kerättiin vain elokuussa 1989. Näytteiden keruuta varten merkittiin kymmenen **neulasnäytepuuta** ruutua kohti. Näytteiksi otettiin 3.–5. oksakiehkuran kasvaimia. Seurannassa olivat käsittelet 1 (käsitlemätön), 2 (lumeton) ja 3 (massiivinen routa) yhdellä loholla. Vuosien 1986–1989 (Jämi 1987–1989, lohko 1) neulasista määritettiin N, P, K, Ca, Mg ja tuhkapitoisuus. Typpi mitattiin Kjeldahlmenetelmällä ja kuivapolton jälkeen fosfori vanadomolybdaattimenetelmällä spektrofotometrillä ja muut alkuaineet atomiabsorptiospektrofotometrillä (AAS) (Halonen ym. 1983).

Koska erilaisten stressitekijöiden tiedetään vaikuttavan neulasten hiilihydraattikoostumukseen, neulasten glukoosi-, sakkaroosi- ja tärkkelyspitoisuuksia seurattiin Hietaperän lohkon 1 käsittelyillä 1 (käsitlemätön), 2 (lumeton) ja 3 (massiivinen routa) vuosina 1988–1989. Näytteet kerättiin 28.11.1988 sekä 12.4., 12.6. ja 13.12.1989. Kultakin ruudulta valittiin satunnaisesti kymmenen koepuuta, jonka 3. oksakiehkuran yhdestä oksasta otettiin aluksi vuosien 1987–1988 neulaset ja joulukuussa 1989 vuosien 1988–1989 neulaset analysoitavaksi. Noin 2 g neulasia puuta ja vuosikertaa kohti varastoitettiin nestemäiseen tyypeen sokerianalyysiä varten (kesäkuussa tämä suoritettiin välittömästi koalueella). Neulaset jauhettiin nestemäisessä työssä hufmaassa. Jokaisesta näytteestä punnittiin kolme 50 mg:n erää ja näistä uutettiin glukoosi ja sakkaroosi 80 % etanolilla ja tärkkelys 35 % perkloorihapolla (Hansen & Møller 1975). Uutteista mitattiin sokerien ja tärkkelyksen pitoisuudet entsyymaattisella menetelmällä Boehringer Mannheimin valmiita määrityspakkauksia käyttäen (Bergmeyer 1974).

Neulasten ulkoisen värin määritykseen otettiin viisi keskimääräisen väristä kääpiöversoa kutakin em. ravinneanalyysinäyte-erää

kohti. Vain kesällä 1988 syntyneitä neulasia tutkittiin lukuunottamatta viimeistä eli syyskuun lopun erää, jolloin analysoitiin vuoden 1989 neulaset. Jämissä värianalyysi tehtiin elokuussa. Kaikkiaan määritettiin 2340 kääpiöverson väri. Värianalyysi suoritettiin Munsellin ohjeiden ja värikarttojen (Munsell Color Charts 1977) avulla laboratorioissa käymällä kaikki näytteet läpi mahdollisimman lyhyen ajan kuluessa. Sitä varten näytteet pakastettiin heti keruun jälkeen $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$:een odottamaan analysointia. Neulasen väri ilmaistaan useiden ominaisuuksien avulla esimerkiksi seuraavassa muodossa 4,6 GY 4,2/5,3, mikä eriteltynä tarkoittaa:

- 4,6 = värin sävy (HUE): mitä suurempi on arvo, sitä vihreämpi neulanen on;
 GY = värin sävyyn liittyvä kirjainlyhennys (vihreänkeltainen);
 4,2 = värin vaaleus (VALUE): mitä pienempi on arvo, sitä tummempi neulasen väri on;
 5,3 = värin kylläisyys (CHROMA): mitä suurempi on arvo, sitä kromaattisempi (räikeämpi) väri on.

Tuloksia laskettaessa kunkin erän viiden kääpiöverson keskiarvo merkittiin puun neulasten väriksi. Siten yhtä juuristressikäsitteilyä edusti kymmenen puuta.

Juurten kylmästressin vaikutuksia männyn neulasten kylmänkestävyyteen selvitettiin tutkimalla neulasten kesääntymistä Hietaperän juuristressikokeen 2. lohkon käsittelyissä 1 (käsittelemätön), 2 (lumeton) ja 3 (massiivinen routa). Testaukseen leikattiin vuoden 1988 kasvaimia luvussa 5.1.2.5 mainittujen seurantapuiden latvuksen keskiosan oksista 12.4., 20.4., 3.5. ja 15.5.1989. Puuta kohti kerättiin yksi kasvainnäyte, jonka neulasista laboratorioissa muodostettiin kolme viiden kääpiöverson erää A, B ja C. Erä A sijoitettiin kylmälaukussa $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$:een, erä B $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$:een ja erä C nestemäiseen tyypeen. 48 tunnin kuluttua kääpiöversot sijoitettiin ionittomaan veteen (25 ml) 48 tunniksi, minkä jälkeen veden sähköjohtokyky mitattiin. Nestemäiseen tyypeen upotettujen neulasten

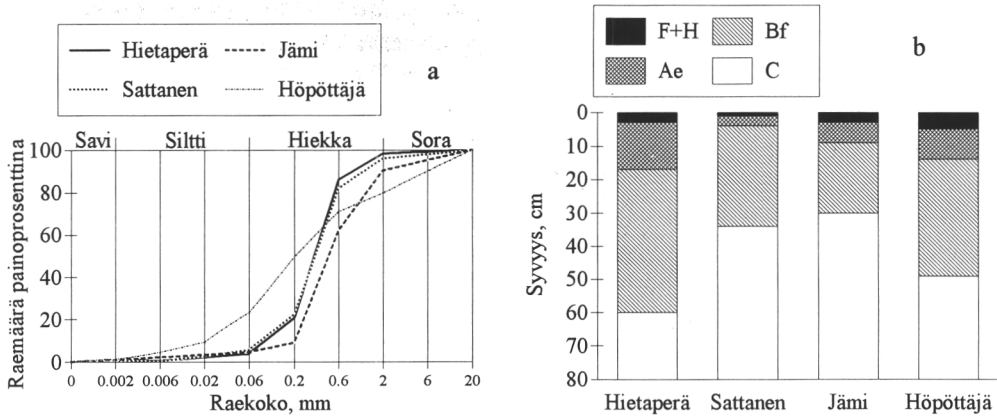
inkuboinnilla saatiin täysin tuhoutuneiden neulasten sähköjohtokyky.

Männyn neulasten hienorakenteita tutkittiin selvittämällä juurten kokeellisen kylmästressin aiheuttamia solu- ja solukkovaurioita ja kesän 1987 neulaskadon aiheuttaneiden tekijöiden vaikutuksia neulasten rakenteissa. Näytteet kerättiin kesä- ja heinäkuussa 1988 esikokeen kaikkien kolmen käsittelyn (käsittelemätön, lumeton ja lumijää) yhdeltä koealalta. Tämä osatutkimus tehtiin yhteistyönä Tübingenin ja Kuopion yliopistojen kanssa. Näytteiden keruu, käsittely ja analysointi sekä alustavat tulokset on kuvattu tarkemmin toisaalla (Fink 1990, Holopainen 1990).

5.1.2.8 Maaperä

Juuristressikokeisiin käytettyjen metsiköiden maaperät olivat lajittuneita hiekkamaita ja raekoostumukseltaan yhteneviä etenkin Pohjois-Suomessa. Jämikin poikkesi Hietaperän ja Sattasen mallista vain runsaamman karkean hiekkafraktion ja vähäisemmän hienon hiekkafraktion osalta (kuva 13a). Sen sijaan neulasvuosikertojen seurannassa käytetyn Höpöttäjän metsikön, joka kesällä 1987 ei ollut varsinainen neulaskatometsikkö, maaperä poikkesi raekoostumukseltaan oleellisesti kuivan kankaan maista. Höpöttäjän tuoreen kankaan maaperä oli moreenia, missä kasvilisuus ja humuskerros oli runsaampaa kuin kuivalla kankaalla.

Metsiköiden maannokset vaihtelivat raekoostumusta enemmän. Sattasesta puuttui humuskerros (F+H) lähes kokonaan, ja Hietaperällä ja Jämissäkin se oli alle 3 cm, kun taas Höpöttäjällä yli 5 cm. Myös huuhtoutumiskerros (A_e) oli ohut Sattasessa, vähän paksumpi Jämissä ja kaikista paksuin Hietaperällä (kuva 13b). Muuttumaton pohjamaa (C-horisontti) alkoi ohuen F+H- ja A_e -horisonttien maannoksissa Sattasessa ja Jämissä noin 30–35 cm:n syvyydeltä, Höpöttäjällä 50 ja Hietaperällä 60 cm:n syvyydeltä.



Kuva 13. Maan lajitekoostumus (a) ja maannotset (b) kuivan kankaan juuristressikoemetsiköissä Hietaperällä, Sattasessa ja Jämissä sekä tuoreen kankaan metsikössä Höpöttäjällä.

Ravinnetasoltaan lajittuneen hiekkakankaan alueet eivät poikenneet toisistaan merkittävästi, vaan kuvan 35 maannosprofiiliaineisto luonnehtii koalueita yleisemminkin (Airaksinen ym. 1989). Humuskerroksesta tutkittujen ravinteiden pitoisuudet olivat Jämissä Hietaperää korkeammat, mutta kaikki koalue edustivat erittäin niukkaravinteisiä kuivia kankaita (Tikkanen & Raitio 1990/91). Tuoretta kangasta edustaneessa Höpöttäjän metsikössä ravinnetaso oli muita korkeampi.

5.1.2.9 Juuriston tilan arviointi

Juurten kuntoa voidaan arvioida TTC-menetelmällä, jota käytetään yleisesti solujen elävyyden osoitukseen. Elävissä soluissa olevien pelkistävien entsyymien toiminnan tuloksena TTC muuttuu punaiseksi formatsaniksi, jonka värin voimakkuutta mitataan spektrofotometrillä: mitä enemmän aktiivisia entsyymejä sisältävää solukkoa juurissa on, sitä voimakkaampi on värin muodostuminen (Sutinen 1987).

Juurinäytteet otettiin Hietaperän lohkon 1 käsittelyiltä 1 (käsittelemätön), 2 (lumeton) ja 3 (massiivinen routa) vuosina 1988–1990.

Näytteenottoa varten kaivettiin kaksi suorakaiteen muotoista kuoppaa ja näiden reunalta kahdesta eri kohdasta otettiin maanäytteet juurineen 20 x 20 cm kokoisella rautakehikolla, joka lyötiin puulekalla maahan. Kun kehikko oli runsaan 20 cm syvyydessä, sen alle lyötiin peltilevy vaakasuoraan. Maanäyte sijoitettiin 3 mm:n seuralle, ja vesiastiassa pesten maa-aines irrotettiin juurista. Juurinäytteet laitettiin muovipusseihin ja tuotiin laboratorioon analysoitaviksi.

Näytteet otettiin maasta kerroksittain siten, että A-horisontista saatiin yksi näyte ja B-horisontista kaksi noin 10 cm:n paksuista näytettä. Humuskerroksesta ei sen vähyyden ja pintakasvillisuusjuuriston takia otettu näytteitä.

Ensimmäiset juurinäytteet otettiin 16. elokuuta 1988. Tällöin kuopat kaivettiin koeruu- tujen ulkopuolelle niiden välittömään läheisyyteen. Myöhemmät näytteet haettiin 23. elokuuta 1989 ja 10. syyskuuta 1990. Näillä kerroilla kuopat kaivettiin koeruu- tujen sisäpuolelle.

5.1.3 Juurten kylmästressikokeiden tulokset esikokeessa

5.1.3.1 Lumi-, routa- ja lämpöolot

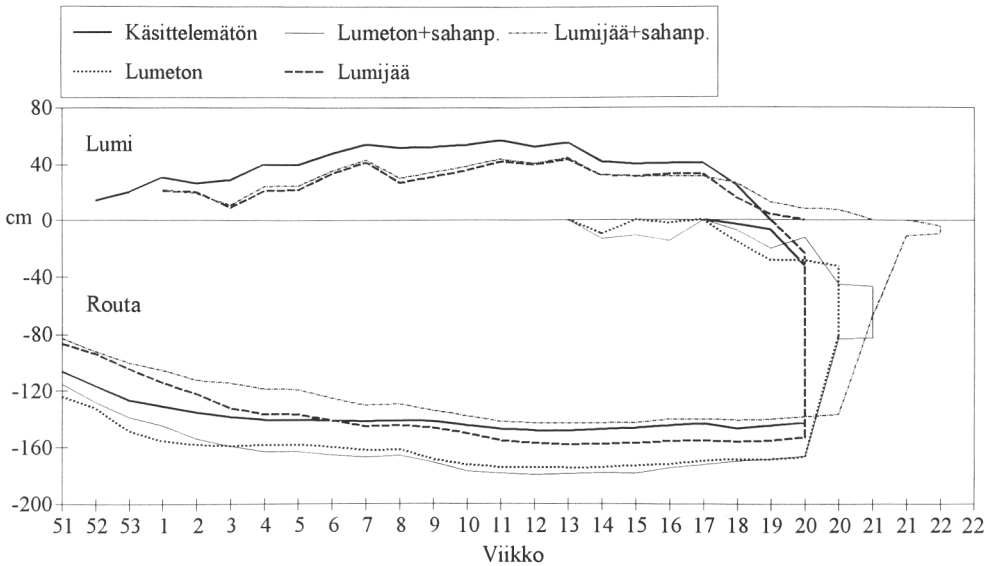
Kun lumentulo estettiin marraskuulta 1987 huhtikuulle 1988, katetuille ruuduille ei kertynyt lunta lainkaan talvella, eikä kevääläkään, koska lumisateita ei ollut sen jälkeen, kun muovit poistettiin 18.4. Lumijää- ja käsittelemättömillä ruuduilla pysyvä lumipeite syntyi marraskuussa 1987 ja suli toukokuun alussa 1988. Lumen maksimisyvyys (55 cm) mitattiin maaliskuussa (kuva 14).

Lumettoman alkusyksyn johdosta roudan kehittyminen oli jo pitkällä, kun esikokeen roudanmittaus aloitettiin joulukuussa 1987. Siten käsittelyiden välillä ei ollut eroja roudan syvyydessä syystalvella 1987. Samasta syystä erot eivät muodostuneet suuriksi keskitalvelakaan (kuva 14). Roudan maksimisyvyys saavutettiin maalīs-huhtikuun vaihteessa ja oli lumettomalla alueella 180 cm, lumijääruduilla 161 cm ja käsittelemättömällä ruudulla alle

150 cm. Routa suli nopeimmin lumettomilta ja hitaimmin lumijääruduilta. Maan pinnalle levitetty 10 cm:n sahanpurukerros hidasti roudan sulamista keskimäärin 2 viikkoa. Samalla se viivästytti maan lämpenemistä. Esimerkiksi sahanpururuudulla maan lämpötila 50 cm:n syvyydessä oli $-2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ toukokuun viimeisenä päivänä 1988, kun käsittelemättömällä ruudulla vastaava lämpötila oli keskimäärin $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ilman lämpötila oli kylmimmillään joulukuussa 1987: kuukauden keskilämpötila oli $-17,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, mutta lämpötila ei laskenut yhtenä päivänä alle -30 asteen (taulukko 6). Vähintään $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$:n pakkaspäiviä oli joului-, tammi-, helmi- ja maaliskuussa 1988–89 yhteensä 33 kpl.

Lumipeitteen muodostumisen jälkeen maan lämpöolot vakiintuivat. Sen sijaan lumettomalla alueella maan lämpötila seurasi ilman lämpötilan muutoksia. Lumijään alla muutokset muistuttivat enemmän käsittelemätöntä kuin lumetonta käsittelyä.



Kuva 14. Lumen syvyys ja routakerroksen paksuus Hietaperänkankaalla talvella 1987/88.

Taulukko 6. Piirturilla kerättyjä ilman lämpötilan tunnuksia (°C) talvella 1987/88 Hietaperällä. Mittaukset alkoivat 14.12.1987.

Muuttuja	Ajankohta				
	1987	1988			
	XII 14.-31.	I 1.-31.	II 1.-29.	III 1.-31.	IV 1.-30.
Keskilämpötila	-17,2	-10,3	-10,7	-5,9	-2,2
Maksimilämpötila	0,3	0,9	0,1	2,7	10,1
Minimilämpötila	-28,8	-27,6	-28,2	-21,0	-16,9
Päiviä kk:ssa, jolloin minimilt.					
alle -30 °C	0	0	0	0	0
alle -20 °C	13	8	10	2	0
alle -10 °C	17	21	16	12	13

Muutokset maassa olivat sitä hitaampia, mitä syvemmästä maakerroksesta lämpötilaa mitattiin (jättäytymisilmio). Keskitalvella maa oli kylmintä pinnassa ja lämpimintä syvimmässä mittaussyvytydessä (50 cm), loppukevällä pintamaa oli syvempiä kerroksia lämpimämpää. Maan lämpötila laski selvästi alemmaksi lumettomilla kuin lumellisilla alueilla. Kylmimmillään maa oli lumettomilla ruuduilla joulukuussa 1987, jolloin minimilämpötilat 5, 20 ja 50 cm:n syvyydellä maassa olivat -22,2, -20,0 ja -16,0 °C. Lähes yhtä alhaisia minimilämpötilat olivat myös tammi- ja helmikuussa 1988. Alin lämpötila 50 cm:n syvyydellä oli -16,3 °C tammikuun alussa 1988. Lämpötilat lumipeitteen alla olivat lumetonta käsittelyä korkeampia kaikissa mittauskerroksissa. Esimerkiksi 5 cm:n syvyydellä lumettoman ja lumellisen maan kuukausittaisten minimilämpötilojen ero oli suurimmillaan 6,2 °C vähän lumen aikaan joulukuussa 1987 ja 16,0 °C runsaan lumen aikaan helmikuussa 1988 (taulukko 7).

Lumipeitteisellä ruudulla selvästi matalimmat lämpötilat saavutettiin kaikissa maakerroksissa joulukuussa 1987, jolloin lunta oli vähiten koko seurantajakson aikana. Sen jälkeen sekä kuukauden keski-, minimi- että maksimilämpötilat kohosivat maassa jatkuvasti huhtikuulle 1988. Tässä suhteessa käsittelemättömän ruudun lämpötilat poikke-

sivat oleellisesti lumettoman ruudun arvoista (taulukko 7).

Esikokeen perusteella talven lumettomuus lisää roudan syvyyttä noin 40 cm, ja maan lämpötila voi laskea 5 cm:n syvyydessä alle -20 °C:een.

5.1.3.2 Neulaskato ja puuston reaktiot

Lumettoman tai lumijääräruudun mäntyjen vanhimpiä neulasia alkoi kellastua heinäkuun alussa 1988. Stressiruutujen mäntyjen neulasista kuoli ruutukeskiarvona 0,3–0,7 vuosikertaa (10,0–24,1 % talvehtineista neulasista, taulukko 8). Maan sulamisen ja lämpenemisen hidastaminen sahanpurulla lisäsi neulaskatoa (23,4 %) sahanpuruttomiin ruutuihin verrattuna (15,7 %). Heinäkuun alussa kellastuneet neulasetsit muuttuivat ruskeiksi ja karisivat elokuun alkuun 1988 mennessä. 'Normaalialia' elo-syyskuista vanhojen neulasten kuolemista ei havaittu lainkaan.

Kasvukaudella 1988 neulasvuosikertojen määrä lisääntyi. Käsittelemättömällä puilla lisäys oli 0,9 vuosikertaa eli 2,8:sta 3,7 vuosikertaan. Muissa käsittelyissä vuosikertojen määrä lisääntyi vähemmän, 0,3–0,7 vuosikertaa (taulukko 8). Siten kokeellinen kylmästressi hidasti merkittävästi ($p < 0,001$) kesän 1987 neulaskadosta toipumista neulasvuosikertojen määrällä mitattuna.

Taulukko 7. Maan lämpötilan tunnuksia esikokeessa Hietaperällä talvella 1987/88 (x = keskilämpötila, min = kuukauden alin lämpötila ja max = kuukauden ylin lämpötila).

Ajankohta Maakerros	Juurten kylmästressikäsitely								
	Lumeton			Lumijää			Käsittelemätön		
	Lämpötila, °C								
	x	min	max	x	min	max	x	min	max
Joulukuu 1987^a									
Maanpinta	*	*	*				-12,2	-17,0	-4,6
5 cm	-15,5	-22,2	-3,2	-13,0	-19,7	0,0	-11,8	-16,0	-6,2
20 cm	-14,4	-20,0	-4,1	-11,5	-17,4	-3,6	-11,9	-16,1	-6,7
50 cm	-12,8	-16,0	-6,7	-7,8	-11,1	-4,5	-9,1	-10,7	-6,4
Tammikuu 1988									
Maanpinta	*	*	*	*	*	*	-6,7	-15,4	-4,0
5 cm	-9,9	-21,4	-3,3	-7,0	-17,5	-2,0	-6,8	-14,1	-4,1
20 cm	-9,3	-19,7	-3,6	-6,3	-16,7	-1,8	-6,4	-13,2	-3,7
50 cm	-9,0	-16,3	-4,6	-5,7	-10,9	-3,3	-5,6	-9,6	-3,3
Helmikuu 1988									
Maanpinta	*	*	*	*	*	*	-4,8	-8,1	-2,4
5 cm	-10,1	-22,1	-1,5	-5,2	-9,6	-1,2	-4,4	-6,1	-2,5
20 cm	-9,4	-19,7	-1,7	-4,9	-10,2	-1,3	-3,9	-5,2	-3,4
50 cm	-8,9	-16,0	-2,4	-4,3	-7,2	-2,2	-3,1	-4,0	-2,1
Maaliskuu 1988									
Maanpinta	*	*	*	*	*	*	-4,0	-5,9	-1,9
5 cm	-5,7	-14,1	-0,0	-5,0	-7,5	-2,4	-3,8	-5,3	-2,1
20 cm	-5,6	-12,2	-0,2	-4,7	-7,2	-2,0	-5,5	-5,2	-2,0
50 cm	-6,0	-9,9	-1,5	-4,6	-6,6	-2,5	-3,0	-3,9	-1,9
Huhtikuu 1988									
Maanpinta	*	*	*	*	*	*	-1,1	-3,3	0,2
5 cm	-0,8	-3,9	1,4	-2,4	-5,5	-0,5	-1,3	-3,0	0,2
20 cm	-0,5	-3,6	1,6	-2,8	-5,2	-0,3	-1,1	-2,4	0,1
50 cm	-0,8	-1,7	-0,3	-2,6	-4,0	-0,8	-1,1	-1,9	-0,3

^a joulukuun mittaukset alkoivat 14.12.

* ei anturia

Taulukko 8. Talven 1987/88 kokeellisen juurten kylmästressin vaikutus männyn neulasvuosikertojen määrään ja keskikesän neulaskatoon sekä puiden elävyyteen Hietaperänkankaalla Rovaniemen maalaiskunnassa kesällä 1988. Vuosikerrat on laskettu elävistä männystä.

Käsittely (n = koepuita ruudulla)	Ajankohta				
	Talvi 1987/88	Heinäkuu 1988		Syyskuu 1988	Kesä 1988
	Puussa kpl	Neulasvuosikertoja		Puussa kpl	Kuolleisuus %
		Neulaskato			
		kpl	%		
Lumeton					
ei S (n=68)	3,0	0,3	10,0	3,7	8,8
S (n=73)	2,9	0,7	24,1	3,2	6,8
Lumijää					
ei S (n=56)	2,8	0,6	21,4	3,2	8,9
S (n=69)	3,1	0,7	22,6	3,4	14,5
Käsittelemätön (n=63 ^b)	2,8	0,1	3,6	3,7	0,0

S = sahanpurukate viivästyttämässä maan keväistä lämpenemistä

^b Molemmat ruudut yhdistetty

Osa lumettomien ruutujen mäntyjen latvoista kehittyi epänormaalisti kesällä 1988 ja 1989. Joissakin tapauksissa latva ja ylimpien oksien kasvaimet kuolivat. Stressikäsitteilyiden taimista kuoli 6,8–14,5 % kesällä 1988.

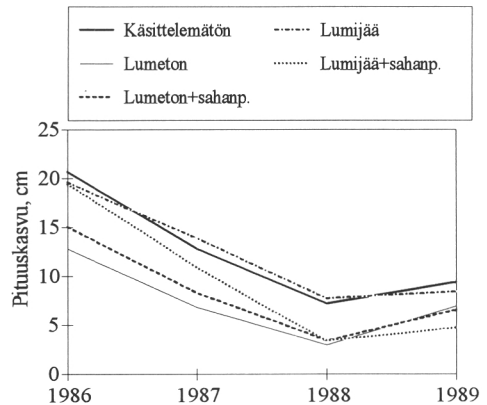
Lumijäärüuduilla neulasto reagoi poikkeuksellisesti jo keväällä: mäntyjen alaoksien ja pienimpien puiden neulasto muuttui ensin harmahtavaksi ensimmäisten neulasoireiden näkyessä huhtikuun alussa 1988 ja myöhemmin punaruskeaksi. Kovalla pakkasella lumelle levitetystä kasteluvedestä vapautunut lämpö ilmeisesti kohotti hetkellisesti etenkin alimpien männynoksin lämpötilaa niin, että lämpötilan palaututtua ympäröivän ilman tasolle neulasen ja versot vaurioituivat ja myöhemmin kuolivat.

Lapin neulaskatoa edeltävänä kesänä 1986 latvan pituuskasvu (keskimäärin 17,3 cm) oli normaali. Kesällä 1987 keskimääräinen kasvu oli pudonnut 59,5 %:iin. Pituuskasvun minimi saavutettiin vuonna 1988 riippumatta talven 1987/88 käsittelystä. Voimakkain muutos heikompaan kasvuun oli lumijäärüudulla, missä oli viivytetty maan lämpenemistä sahanpurulla. Pituuskasvu alkoi elpyä kesällä 1989 kaikilla käsittelyruuduilla (kuva 15). Vuoden 1986 tasoon (100 %) verrattuna eniten männyt taantuivat lumijäärüudulla (23,9 %). Muilla ruuduilla vuoden 1989 kasvun taso oli puolta pienempi kuin vuonna 1986. Myös koetta edeltäneen kesän (1987) kasvuun verrattuna vuoden 1989 kasvun taantuma oli voimakkain sahanpururuuduilla.

5.1.4 Juurten kylmästressikokeiden tulokset varsinaisessa kokeessa

5.1.4.1 Lumi-, routa- ja lämpöolot

Tutkimustalvi 1988/89 oli hieman kylmempi kuin talvi 1989/90 molempien oltua kuitenkin tavallista leudompia. Hietaperän kylmimmän kuukauden (joulukuu 1988) ilman keskilämpötila oli $-16,8$ °C. Lähes yhtä kylmää oli Sattasessa. Jämin vastaava luku oli vain $-7,7$ °C. Sellaisia vuorokausia, jolloin lämpötila laski



Kuva 15. Männyn pituuskasvun kehitys vuosina 1986–1989 Hietaperänkankaan esikokeella. Lapin neulaskato oli kesällä 1987, ja juurten kokeellinen kylmästressi toteutettiin talvella 1987/88.

alle -30 °C:n, mitattiin Hietaperällä 13 ja Sattasessa 12 kpl marras–joulukuussa 1988. Alimmat mitatut lämpötilat olivat $-37,2$ (Hietaperä) ja $-40,8$ °C (Sattanen). Jämin minimilämpötila oli $-20,8$ °C (taulukko 9). Loppu-talvesta ja keväältä 1989 kylmät pakkasjaksot puuttuivat.

Talvet 1988/89 ja 1989/90 olivat vähälumisia: enimmillään (49 cm) lunta oli huhtikuun alussa 1990. Erityisen vähän lunta oli Jämissä. Pohjois-Suomessa lumi suli kumpanakin vuonna jo huhtikuun loppupuolella. Sekä Sattasessa että Hietaperällä roudan maksimisyvyys (noin 110 cm) talvella 1988/89 saavutettiin maaliskuussa, Jämissä (35 cm) jo vuoden vaihteessa. Lumettomilla käsittelyruuduilla routakerroksen maksimisyvyys kasvoi 40–60 cm:llä niin Pohjois-Suomessa kuin Satakunnassakin (kuva 16). Suhteellisesti muutos oli suurin Jämissä, missä routakerros lähes 2,5-kertaistui. Hietaperän lumettomalla ruudulla roudan maksimisyvyys oli 170 cm, massiivisen roudan ruudulla 20 cm vähemmän. Sen sijaan Sattasessa nämä kaksi käsitteilyä erosivat roudan suhteen vain vähän, Jämissä eivät lainkaan. Olkisuojan alla routakerroksen paksuus jäi puoleen käsittelemättömästä Hietaperällä ja Jämissä, kun taas Sattasessa olki ehkäisi rou-

Taulukko 9. Ilman lämpötilan tunnuksia talvella 1988/89 Hietaperällä, Sattasessa ja Jämissä.

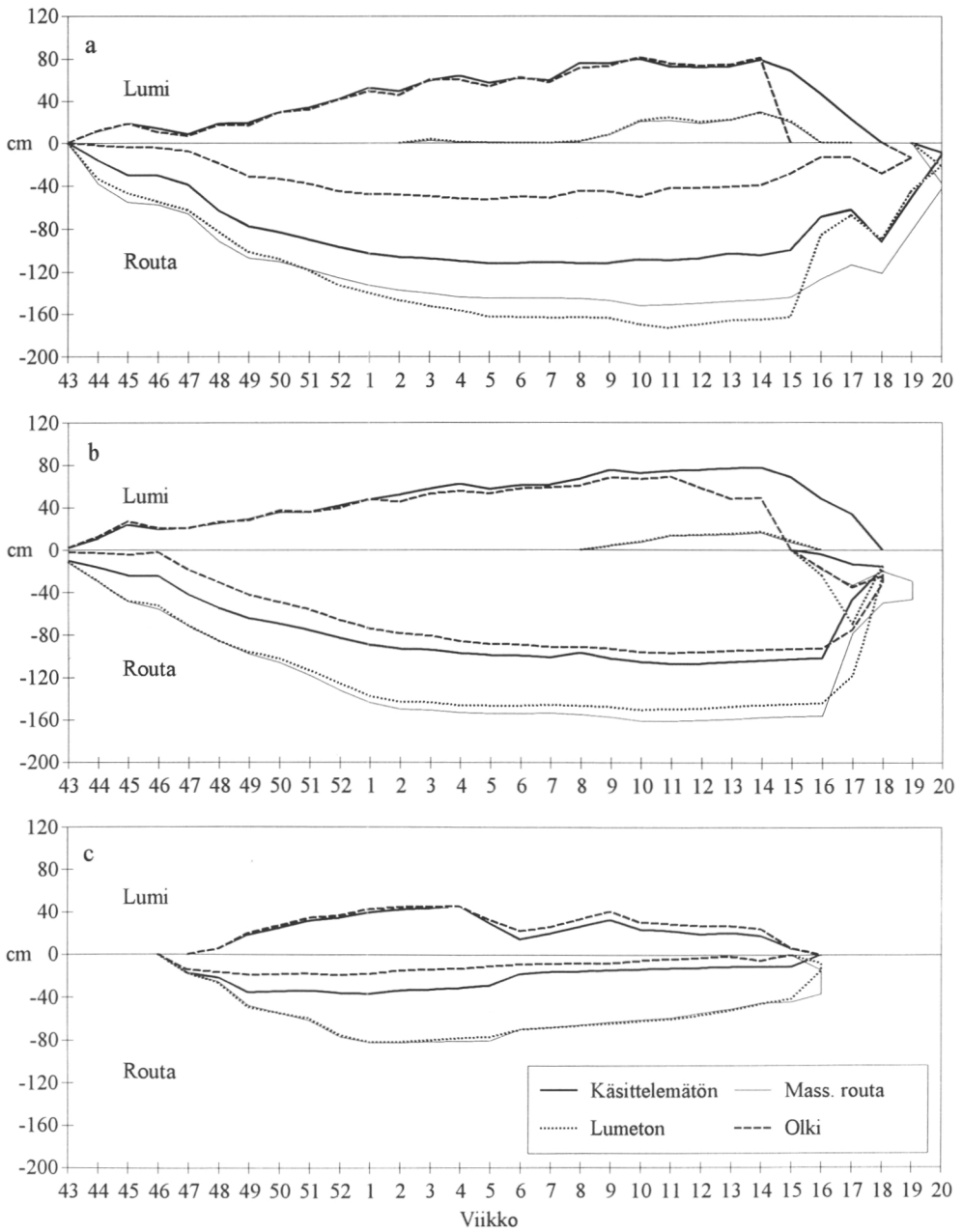
	Ajankohta					
	1988		1989			
	XI	XII	I	II	III	IV
	Mittausjakso					
Hietaperä	1.-30.	1.-31.	1.-2., 20.-30.	1.-27.	1.-31. <i>simuloitu</i>	6.-30.
Keskilämpötila	-13,0	-16,8	-8,6	-9,8	-4,6	1,5
Maksimilämpötila	1,6	-2,0	0,0	0,8		12,8
Minimilämpötila	-30,4	-37,2	-25,2	-26,4	-20,4	-8,0
Päiviä kk:ssa, jolloin minimilt.						
alle -30 °C	2	11	0	0	0	0
alle -20 °C	13	16	3	8	1	0
alle -10 °C	22	31	8	19	6	0
	Mittausjakso					
Sattanen	1.-30.	1.-31.	1.-31. <i>simuloitu</i>	1.-28. <i>simuloitu</i>	23.-31.	1.-18., 27.-30.
Keskilämpötila	-11,8	-16,5	-9,4	-9,2	-6,0	1,4
Maksimilämpötila	4,0	0,4			4,0	12,8
Minimilämpötila	-30,0	-40,8	-33,8	-34,6	-28,0	-15,6
Päiviä kk:ssa, jolloin minimilt.						
alle -30 °C	3	8	1	2	0	0
alle -20 °C	15	21	7	7	1	0
alle -10 °C	22	29	22	18	6	7
	Mittausjakso					
Jämi	1.-30.	1.-31.	1.-31.	1.-28.	1.-28.	28.-30.
Keskilämpötila	-4,7	-7,7	-1,4	-1,0	-0,1	8,4
Maksimilämpötila	4,4	2,8	5,2	5,6	5,6	17,6
Minimilämpötila	-16,8	-20,8	-19,2	-11,6	-6,4	0,4
Päiviä kk:ssa, jolloin minimilt.						
alle -30 °C	0	0	0	0	0	0
alle -20 °C	0	2	0	0	0	0
alle -10 °C	12	16	2	1	0	0

dan muodostusta vain vähän. Osasyynä tähän olivat porot, joita olkiruudut kiinnostivat. Routa sulii hitaimmin massiivisen roudan ruuduilta kaikilla koepaikkakunnilla.

Suojaava kerros (pieni lämmönjohtavuus) vaikutti oleellisesti maan lämpötilaan kaikilla koepaikkakunnilla. Ilman kylmeneminen alensi maan keskitalvista lämpötilaa sitä enemmän, mitä lähempänä maanpintaa mitattiin, mitä vähemmän suojaavaa kerrosta oli ja mitä pidempään kylmää kesti. Maa myös kylmeni sitä hitaammin eli sitä suuremmalla

viiveellä, mitä syvemmästä maakerroksesta lämpötilaa mitattiin. Toisaalta, mitä syvemältä mittaukset olivat, sitä nopeammin lämpötila vakioitui tietyllä tasolle lumipeitteen kasvaessa ja sitä vähemmän ilman lämpötilan muutokset vaikuttivat siihen.

Alimmat lumettoman alueen maan lämpötilat talvella 1988/89 mitattiin Pohjois-Suomessa joulukuussa 1988: kuukauden keskilämpötila 5 cm:n syvyydessä oli -13,0 °C (Hietaperä) ja -15,6 °C (Sattanen) minimilämpötilojen oltua -22,4 °C ja -27,6 °C.



Kuva 16. Lumi- ja routakerroksen kehitys juurten kylmästressiruuuilla Hietaperällä (a), Sattasessa (b) ja Jämissä (c) talvella 1988/89.

Vastaavat arvot 20 cm:n syvyydessä olivat $-11,4$ ja $-17,2$ °C Hietaperällä sekä $-12,9$ ja $-18,8$ °C Sattasessa (taulukko 10a, b). Sattasessa mitattiin yhtä kylmiä lämpötiloja myös tammikuussa 1989. Tuolloin maan lämpötila 20 cm:n syvyydessä oli lämpimimmilläänkin $-10,8$ °C, kun mittausjakson keskilämpötila oli $-16,8$ °C. Käsittelemättömällä alueella eli lumipeitteen alla 5 cm:n syvyydessä joulukuun keskilämpötilat olivat $-7,7$ (Hietaperä) ja $-8,7$ °C (Sattanen); minimilämpötilat olivat alimmillaan kuitenkin jo marraskuussa, $-15,5$ (H) ja $-14,4$ °C (S) (taulukko 10a, b).

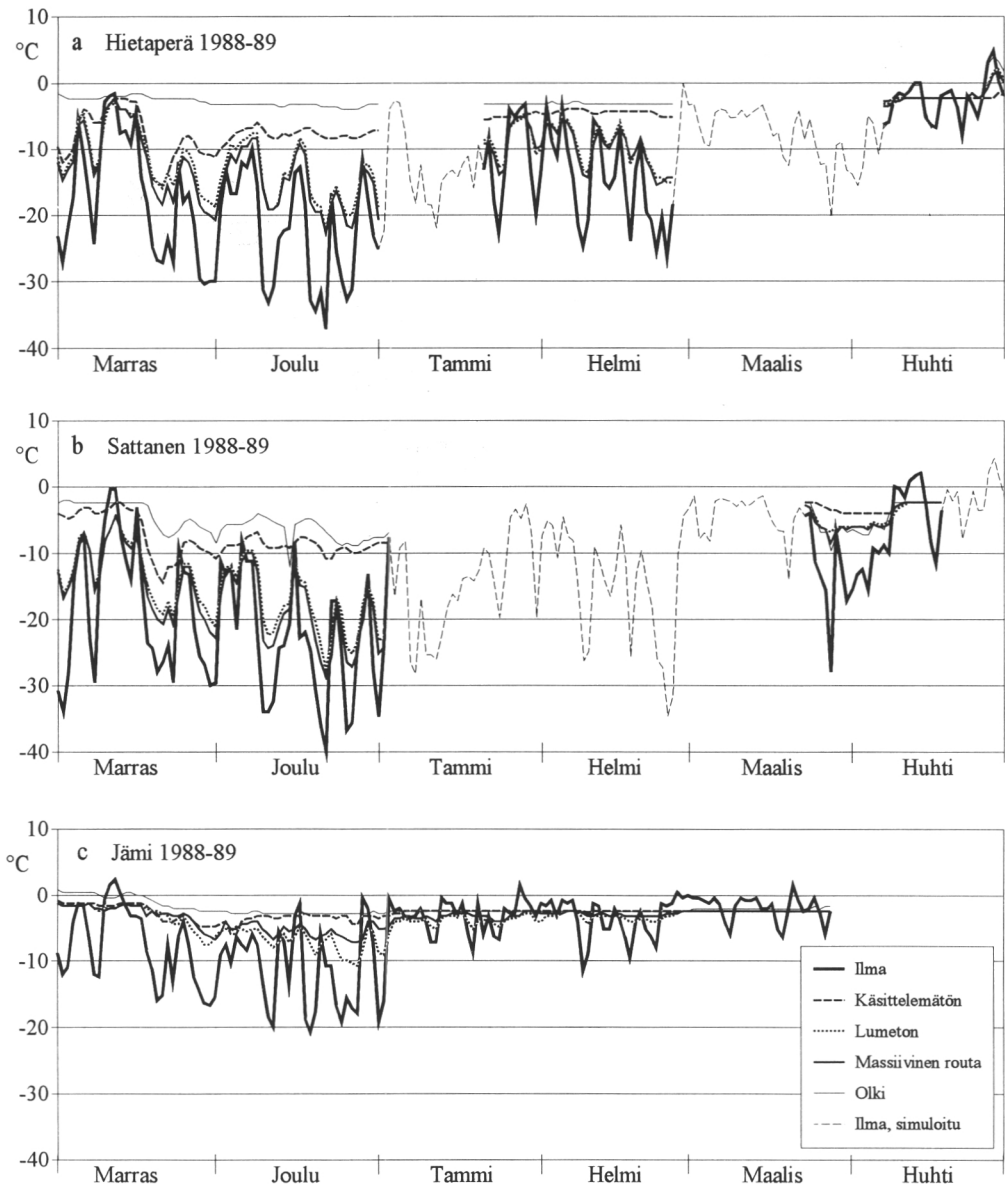
Myös Jämissä kylmintä oli joulukuussa 1988, vaikka lukemat olivatkin selvästi korkeampia kuin Pohjois-Suomessa. Joulukuun keskilämpötila 5 cm:n syvyydessä oli lumettomalla alueella $-6,2$ °C, kun se lumen alla oli $-3,5$ °C. Minimilämpötilat olivat vastaavasti $-10,8$ ja $-6,0$ °C. Maan lämpötila oli myös 20 cm:n syvyydessä lumettomalla alueella kylmimmillään joulukuussa, $-8,4$ °C (lumen alla $-4,0$ °C) (taulukko 10c).

Massiivisen roudan ruuduilla mittausjaksojen keskilämpötilat maassa (5 tai 20 cm:n syvyydessä) olivat Sattasessa $0,3$ – $2,5$ °C alempia kuin lumettomalla ruudulla. Minimilämpötiloissa erot olivat vieläkin suurempia, $0,4$ – $5,5$ °C. Myös Hietaperällä keskilämpötilat olivat alempia ($0,1$ – $1,0$ °C). Sen sijaan minimilämpötila saattoi olla korkeampi massiivisen roudan kuin lumettomalla ruudulla. Sattasessa massiivisen roudan lämpötilat olivat erityisen alhaisia marraskuulta 1988 tammikuulle 1989 minimilämpötilojen oltua ko. kuukausina $-21,6$, $-28,8$ ja $-25,2$ °C 5 cm:n syvyydessä ja $-16,8$, $-24,4$ ja $-21,2$ °C 20 cm:n syvyydessä (taulukko 10a, b). **Alimmat 5 ja 20 cm:n syvyydessä mitatut maan lämpötilat olivat tässä tutkimuksessa siten $-28,8$ ja $-24,4$ °C, kun lumipeitteen alla vastaavan ajankohdan lukemat olivat $-10,8$ ja $-10,0$ °C (taulukko 10a, b).** Jämissä massiivisen roudan keskilämpötila oli $0,0$ – $2,0$ °C korkeampi kuin lumettomalla ruudulla muulloin paitsi lokakuussa ja huhtikuussa. Myös minimilämpötilat olivat vastaavasti korkeam-

mat massiivisen roudan kuin lumettomalla ruudulla (taulukko 10c).

Olki suojasi maata paremmin kuin pelkkä lumipeite. Marras–helmikuun 1988–89 mittausjaksojen keskilämpötilat 5 cm:n syvyydessä vaihtelivat Hietaperällä lumen peittämän oljen alla välillä $-2,2$... $-2,9$ °C ja pelkän lumen alla välillä $-4,5$... $-7,7$ °C (taulukko 10a). Sattasessa marras–maaliskuun 1988–89 keskilämpötilat vaihtelivat oljen alla välillä $-3,7$... $-7,0$ °C, kun käsittelemättömän arvot olivat välillä $-3,0$... $-8,7$ °C (taulukko 10b) osoittaen siten Hietaperää pienempiä eroja ko. käsittelyiden välillä. Sattasessa joulukuussa 1988 mitattu poikkeuksellisen alhainen minimilämpötila $-12,4$ °C oli seurausta porojen kaivuutoiminnasta olkiruudulla. Jämissä vastaavat marras–helmikuun maan keskilämpötilat olivat $+0,4$... $-2,6$ °C oljen alla ja $-2,1$... $-3,5$ °C ilman sitä (taulukko 10c). Olkisuojan alla korostui lämpötilan tasaisuus: esimerkiksi Hietaperällä marraskuun maksimi- ja minimilämpötilojen erotus 5 cm:n syvyydessä oljen alla oli vain 1,6 astetta, kun lumen alla se oli 13,2 astetta. Vastaavat arvot Sattasessa olivat 5,6 ja 12,0 astetta (taulukko 10a, b).

Oljella oli erityisen suuri vaikutus maan lämpöoloihin pakkasen tultua ennen lumipeitettä ja lumipeitteen kasvaessa marras–joulukuussa 1988 Hietaperällä (kuva 17a). Lumipeitteen kasvun maan lämpöoloja tasoittava vaikutus näkyi samana aikana myös Sattasessa (kuva 17b) ja Jämissä, missä käsittelemättömän alan maanpinnan lämpötilakäyrä vakiintui kuitenkin vasta aivan joulukuun lopulla (kuva 17c). Tammikuun lopulla ja helmikuussa olkien alla ei tapahtunut juuri minkäänlaisia lämpötilan muutoksia, jolloin esim. vuorokauden minimilämpötila pysyi Hietaperällä noin 3,2 asteessa 5 cm:n syvyydessä ja muutaman kymmenyksen lämpimämpänä 20 cm:n syvyydessä. Pelkän lumipeitteen alla vuorokauden minimilämpötila vaihteli -5 asteen molemmin puolin, eikä ollut yhtä tasaantunut kuin olkien alla (kuva 17a–c). Lumettomalla alalla maan lämpötila vaih-



Kuva 17. Ilman (2 m) ja maan (5 cm) minimilämpötila juurten kylmästressikokeiden käsittelemättömällä, lumettomalla, massiivisen roudan ja olkiruuduilla marras–huhtikuussa 1988–89 Hietaperällä (a), Sattasessa (b) ja Jämissä (c). Muovit poistettiin katoksista helmikuun lopulla (Hietaperä) tai maaliskuun alussa (Sattanen, Jämi) 1989. Mittauslaitteiden häiriöiden takia puuttuvat ilman lämpötilat Hietaperälle ja Sattaseen on simuloitu Apukan ja Sodankylän observatorion säähavaintojen perusteella.

Taulukko 10A–C. Maan lämpötilan tunnuksia Hietaperällä (A), Sattasessa (B) ja Jämissä (C) talvella 1988/89 (x = keskilämpötila, min = kuukauden alin lämpötila ja max = kuukauden ylin lämpötila). Mittausjaksot ja ilman lämpötilat: ks. taulukko 9.

A. Hietaperä		Juurten kylmästressikäsitteily												
		Lumeton			Massiivinen routa			Olki			Käsittelemätön			
		Lämpötila, °C												
Ajankohta	Maakerros		x	min	max	x	min	max	x	min	max	x	min	max
Marraskuu 1988	Maanpinta	-11,9	-26,4	-0,4	*	*	*	*	*	*	-8,5	-18,0	-2,4	
	5 cm	-9,1	-18,0	-2,4	-10,0	-20,0	-2,4	-2,2	-3,2	-1,6	-7,4	-15,6	-2,4	
	20 cm	-7,4	-14,0	-2,8	-7,5	-14,0	-2,8	-1,8	-2,4	-1,2	-6,3	-12,4	-2,8	
Joulukuu 1988	Maanpinta	-15,5	-31,6	-3,2	*	*	*	*	*	*	-8,5	-12,0	-6,4	
	5 cm	-13,0	-22,4	-6,0	-13,8	-22,8	-6,4	-3,3	-4,0	-3,2	-7,7	-11,2	-6,0	
	20 cm	-11,4	-17,2	-6,0	-12,4	-18,0	-6,8	-3,1	-5,2	-2,4	-7,4	-10,0	-6,0	
Tammikuu 1989	Maanpinta	-9,5	-29,6	-1,6	*	*	*	*	*	*	-5,2	-8,0	-2,4	
	5 cm	-8,4	-18,8	-3,6	-8,7	-20,8	-3,6	-3,1	-3,2	-2,8	-5,3	-7,2	-4,4	
	20 cm	-8,0	-15,6	-4,8	-8,2	-15,2	-4,8	-2,7	-2,8	-2,4	-5,3	-6,8	-4,4	
Helmikuu 1989	Maanpinta	-9,7	-22,8	-0,8	*	*	*	*	*	*	-5,0	-7,6	-4,0	
	5 cm	-8,6	-15,2	-4,0	-8,9	-15,6	-4,0	-2,9	-3,2	-2,4	-4,5	-5,6	-4,0	
	20 cm	-7,9	-12,8	-4,4	-8,1	-12,4	-4,8	-2,5	-2,8	-2,4	-4,5	-5,2	-4,0	
Maaliskuu 1989	Maanpinta	0,6	-9,2	24,0	*	*	*	*	*	*	-1,4	-6,0	19,6	
	5 cm	-1,2	-3,2	7,2	-1,3	-4,0	6,8				-2,2	-2,8	4,8	
	20 cm	-2,0	-3,2	2,0	-2,3	-3,6	1,2				-2,5	-3,2	-0,4	
Huhtikuu 1989	Maanpinta				*	*	*	*	*	*				
	5 cm							-0,9	-2,4	3,6				
	20 cm													

* ei anturia

B. Sattanen		Juurten kylmästressikäsitteily												
		Lumeton			Massiivinen routa			Olki			Käsittelemätön			
		Lämpötila, °C												
Ajankohta	Maakerros		x	min	max	x	min	max	x	min	max	x	min	max
Marraskuu 1988	Maanpinta	-12,3	-24,8	-2,0	*	*	*	*	*	*	-6,3	-11,6	-2,4	
	5 cm	-11,0	-20,0	-3,2	-11,5	-21,6	-3,2	-3,7	-7,6	-2,0	-6,2	-14,4	-2,4	
	20 cm	-8,3	-14,6	-4,0	-9,7	-16,8	-4,0	-2,4	-4,4	-1,6	-4,7	-10,8	-2,4	
Joulukuu 1988	Maanpinta	-16,7	-33,2	-4,4	*	*	*	*	*	*	-9,0	-12,0	-6,4	
	5 cm	-15,6	-27,6	-6,0	-16,7	-28,8	-6,0	-6,0	-12,0	-4,0	-8,7	-10,8	-6,4	
	20 cm	-12,9	-18,8	-7,2	-15,4	-24,4	-7,2	-5,2	-7,6	-3,2	-7,6	-10,0	-6,0	
Tammikuu 1989	Maanpinta	-15,6	-27,2	-6,8	*	*	*	*	*	*	-9,1	-9,6	-8,4	
	5 cm	-15,4	-23,2	-9,2	-16,0	-25,2	-8,8	-7,0	-7,6	-6,0	-8,3	-8,4	-8,0	
	20 cm	-14,0	-16,8	-10,8	-15,9	-21,2	-10,8	-6,2	-6,8	-5,2	-8,0	-8,8	-7,6	
Helmikuu 1989	Maanpinta													
	5 cm													
	20 cm													
Maaliskuu 1989	Maanpinta	-4,9	-7,6	-2,4	*	*	*	*	*	*	-3,5	-4,0	-2,4	
	5 cm	-4,8	-6,8	-2,8	-5,1	-8,4	-2,4	-4,7	-9,6	-2,4	-3,0	-4,0	-2,4	
	20 cm	-4,4	-6,0	-3,2	-4,8	-6,4	-3,2	-3,9	-6,0	-2,4	-2,8	-3,6	-2,4	
Huhtikuu 1989	Maanpinta	-1,4	-6,0	14,0	*	*	*	*	*	*	-2,7	-6,8	14,4	
	5 cm	-2,1	-6,0	8,8	-2,5	-6,4	6,4	-1,8	-7,2	7,6	-3,0	-4,0	-2,4	
	20 cm	-2,9	-5,6	3,2	-3,2	-6,0	1,6	-2,3	-6,0	3,2	-2,9	-4,0	-2,4	

* ei anturia

Taulukko 10 jatkuu

Ajankohta Maakerros		Juurten kylmästressikäsittely											
		Lumeton			Massiivinen routa			Olki			Käsittelemätön		
		Lämpötila, °C											
		x	min	max	x	min	max	x	min	max	x	min	max
Lokakuu 1988													
Maanpinta		-3,8	-6,0	0,0	*	*	*	*	*	*	-3,8	-5,2	-0,4
5 cm		0,0	0,0	1,2	-0,3	-1,2	0,8	1,8	1,2	2,4	0,0	-0,8	0,8
20 cm		*	0,0	0,0	0,6	-1,2	1,2	2,6	2,4	2,8	0,9	0,4	1,6
Marraskuu 1988													
Maanpinta		-6,4	-18,4	0,0	*	*	*	*	*	*	-6,3	-17,6	0,0
5 cm		-2,5	-7,6	0,0	-2,3	-6,4	-1,2	-0,6	-2,4	1,2	-2,1	-4,8	-0,4
20 cm		-1,8	-4,0	-0,8	-1,3	-3,2	0,0	0,4	-2,0	2,4	-1,1	-2,8	0,4
Joulukuu 1988													
Maanpinta		-9,6	-20,4	-1,2	*	*	*	*	*	*	-5,1	-14,0	-3,2
5 cm		-6,2	-10,8	-3,6	-5,2	-7,2	-3,6	-2,6	-2,8	-2,4	-3,5	-6,0	-2,8
20 cm		-5,1	-8,4	-3,2	-4,3	-7,6	-3,2	-2,0	-3,2	-1,6	-2,9	-4,0	-2,4
Tammikuu 1989													
Maanpinta		-4,0	-18,8	1,6	*	*	*	*	*	*	-2,9	-4,0	-2,4
5 cm		-3,8	-9,2	-2,4	-3,3	-5,2	-2,4	-2,4	-2,8	-2,0	-2,5	-3,6	-2,4
20 cm		-3,6	-6,8	-2,8	-3,2	-4,8	-2,4	-2,0	-2,4	-2,0	-2,4	-2,8	-2,4
Helmikuu 1989													
Maanpinta		-3,4	-12,4	2,4	*	*	*	*	*	*	-2,8	-4,8	-2,4
5 cm		-3,1	-4,4	-2,4	-2,8	-3,2	-2,4	-2,4	-2,4	-2,0	-2,4	-2,8	-2,4
20 cm		-3,0	-3,2	-2,8	-1,0	-3,6	0,0	-1,7	-2,0	-1,6	-2,4	-2,4	-2,0
Maaliskuu 1989													
Maanpinta		-1,1	-9,2	3,2	*	*	*	*	*	*	-2,4	-2,8	-2,4
5 cm		-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-2,4	-1,9	-2,4	-1,6	-2,4	-2,4	-2,4
20 cm		-2,5	-2,8	-2,4	-2,4	-3,2	-2,4	-1,6	-1,6	-1,6	-2,4	-2,8	-2,0
Huhtikuu 1989													
Maanpinta		7,3	-2,4	20,0	*	*	*	*	*	*	6,6	-1,6	15,6
5 cm		4,2	1,6	6,4	3,3	1,6	4,8	4,5	2,4	6,4	3,6	0,0	5,6
20 cm		2,3	0,0	3,2	1,9	0,4	2,4	3,3	2,0	4,0	2,2	0,8	2,8

* ei anturia

teli edelleen jyrkästi ilman lämpötilan muutosten mukaan, kuitenkin sitä suuremmalla viiveellä, mitä syvemmästä maakerroksesta oli kyse. Lumettoman ja massiivisen roudan lämpötilat 5 cm:n syvyydessä olivat lähes samat kaikilla mittauspaikkakunnilla ja koko mittausjakson ajan. Ainoastaan Jämissä massiivisen roudan ruudulla lämpötila oli selvästi korkeampi kuin lumettomalla ruudulla (kuva 17c).

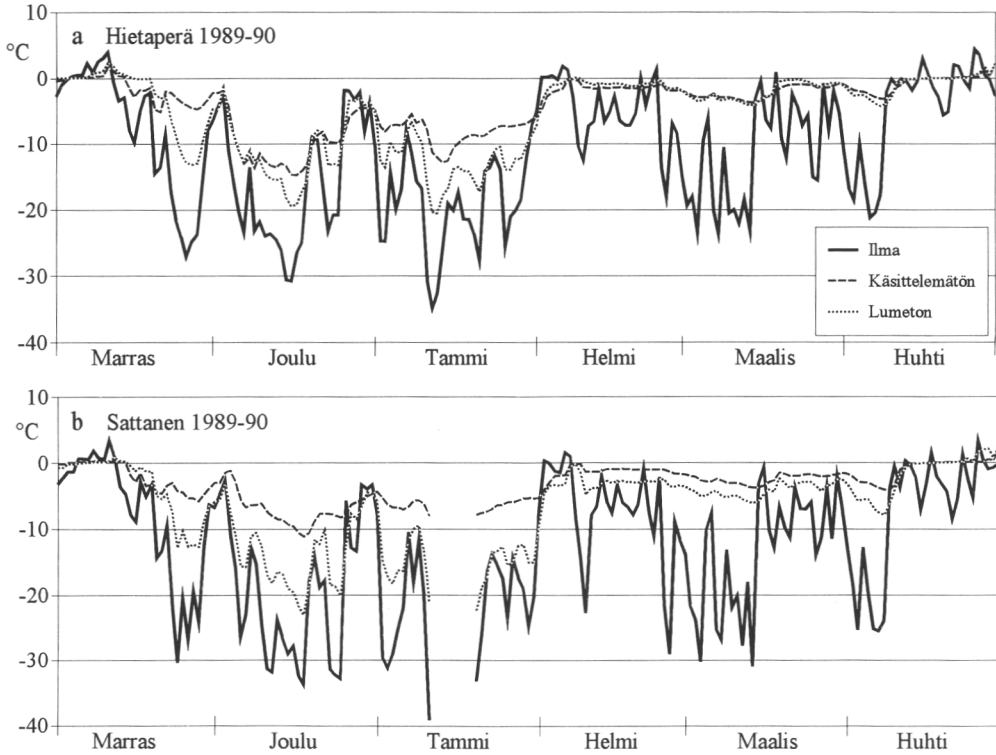
Hietaperällä huhtikuun alussa 1989, jolloin keskitalvella lumettomana olleet ruudut olivat saaneet pienen lumipeitteen katon poiston jälkeen, maan lämpötila oli -2...-3 astetta kaikissa mittauskerroksissa niin lumettomassa kuin käsittelemättömässä (kuva 17a). Lumi kuitenkin sulii aiemmin alunperin lumettomalta ruudulta, jolloin maan lämpötila alkoi vaihdella voimakkaasti yön ja päivän välillä. Käsittelemättömillä ruuduilla tämä tapahtui noin viikkoa myöhemmin eli huhtikuun puolivälissä. Lumen

sulattua lämpöolot muuttuivat siten erittäin ääreviksi etenkin maanpinnassa. Päinvastoin kuin talvella kylmintä maassa oli huhtikuun lopulla syvemmissä kerroksissa ja lämpimintä maanpinnassa riippumatta käsittelystä (taulukko 10a-c).

Talvella 1989/90 tiedonkeruulaitteet toimivat edellistä kautta varmemmin. Ainoa katkos syntyi tammikuussa 1990 Sattasessa, kun ilman lämpötilan lasku 40 pakkasasteeseen pysäytti laitteen toiminnan (kuva 18b). Muuten maan lämpöolot eri käsittelyissä vaihtelivat samalla tavalla kuin talvella 1988-89 (kuva 18a, b).

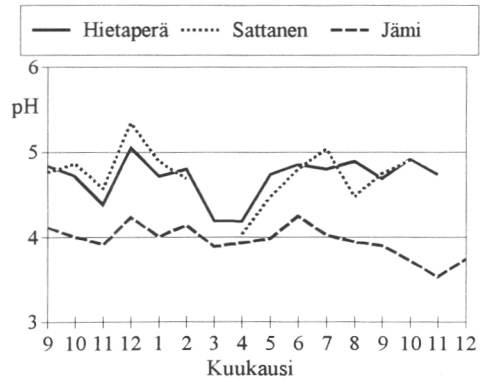
5.1.4.2 Märkälasseuman laatu

Juurten kylmästressialueet erosivat märkälasseuman laadun suhteen selkeästi toisistaan laskeuman tärkeimpien komponenttien



Kuva 18. Ilman (2 m) ja maan (5 cm) vuorokauden minimilämpötila juurten kylmästressikokeiden käsittelemättömällä ja lumetomalla ruudulla talvella 1989/90 Hietaperällä (a) ja Sattasessa (b). Muovit poistettiin katoksista helmikuun alussa 1990.

oltua Jämissä 1,8–2,6-kertaisia verrattuna Hietaperään ja 2,8–4,6-kertaisia verrattuna Sattaseen (taulukko 11). Sadevesi oli huomattavasti happamampaa Jämissä (pH 4,0) kuin Pohjois-Suomessa (pH 4,7). Happamuus vaihteli ajankohdittain Hietaperällä välillä pH 4,2...5,1, Sattasessa pH 4,0...5,4 ja Jämissä pH 3,5...4,2 (kuva 19). Suomen pitkän aikavälin 1975–1988 arvojen perusteella (Soveri ja Ahlberg 1990) Jämin märkälasseuma oli varsin hapanta sekä hyvin typpi- ja sulfaattipitoista tutkimuskaudella 1988–89. Vastaavasti Hietaperän ja Sattasen arvoista tyyppipitoisuudet ja pH olivat keskimääräistä alempia ja sulfaattipitoisuus sekä sähkönjohtokyky maan keskitasoa.



Kuva 19. Märkälasseuman happamuuden vaihtelu vuosina 1988–1989 juurten kylmästressikokeemetsiköissä Hietaperällä Rovaniemen maalaiskunnassa, Sattasessa Sodankylässä ja Hämeenkanalla Jämi-järvellä.

Taulukko 11. Märkälaskeuman laatu juurten kylmästressikoemetsiköissä Hietaperällä (seurantajakso 15 kk), Sattasessa (14 kk) ja Jämissä (pH ja sähköjohtokyky 16 kk, muut 8 kk) vuosina 1988–1989.

Muuttuja	Hietaperä	Sattanen	Jämi
pH	4,7	4,7	4,0
N _{tot} , mg/m ² /v	393	213	839
NO ₃ -N, mg/m ² /v	166	105	344
NH ₄ -N, mg/m ² /v	141	81	373
SO ₄ -S, mg/m ² /v	410	272	756
Sähköjohtokyky, mS/m	2,28	1,70	3,68

5.1.4.3 Neulaskato ja puuston elävyyys

Kokeen perustamishetkellä (syksy 1988) tutkimusalueet erosivat neulasvuosikertojen määrin suhteen toisistaan: Jämissä oli eteläsuomalaisena taimikkona selvästi vähiten talvehitineitä vuosikertoja, käsittelemättömillä ruuduilla keskimäärin vain 2,3 (koko aineistossa 2,2). Hietaperän ja Sattasen vastaavat arvot olivat 3,6 (3,5) ja 3,9 (3,9). Kesällä 1989 kaikkien metsiköiden tila koheni käsittelemättömillä ruuduilla 0,4–0,8 vuosikerralla. Tämän seurauksena Hietaperän ja Sattasen välillä ollut ja Lapin neulaskadosta 1987 aiheutunut ero kuroutui umpeen niin, että kummallakin alueella oli yhtä monta vuosikertaa (4,4) syksyllä 1989 (taulukko 12).

Keskitalvinen lumettomuudesta johtunut stressi johti tilastollisesti merkitsevään ($p < 0,01$) vanhojen neulasten kellastumiseen heinäkuussa 1989 sekä Hietaperällä että Sattasessa, mutta ei Jämissä. Maan kastelu massiivisen roudan tekemiseksi yhdessä lumettomuuden kanssa lisäsi ennen aikaista kellastumista (taulukko 12). Hietaperän heinäkuinen neulaspoistuma oli vähäisempi varsinaisessa kuin esikokeessa. Juurten kylmästressi voimisti neulasten kellastumista myös loppukeksällä Hietaperällä, mutta ei Sattasessa tai Jämissä. Stressin vaikutus oli kuitenkin niin vähäinen, että kasvukaudella 1989 neulasvuosikertojen määrä kasvoi kaikilla ruuduilla. Juurten suojaaminen oljilla paransi neulasten pysyvyyttä: koko kasvukauden 1989 aikana

neulasia poistui Hietaperällä 0,1 ja Sattasessa 0,3 vuosikertaa, mikä oli kummassakin kokeessa selvästi vähemmän kuin käsittelemättömillä (0,3 ja 0,5) tai kylmästressiruuduilla (0,6 ja 0,7–0,8 vuosikertaa). Jämissä olkisuus ei vaikuttanut neulasten määrään (taulukko 12). Myönteisen vaikutuksen seurauksena syksyn 1989 korkeimmat keskimääräiset neulasvuosikertamäärät (4,5) olivat olkiruuduilla. Varsinaisen kokeen yksikään koepuu ei kuollut juurten kylmästressiin.

Vaikka juuristressikokeissa aiheutettu neulasten kellastuminen oli pääosin vanhojen neulasten kuolemista, neulasia poistui uusimmistakin vuosikerroista. Tähän ei juurten kylmästressillä ollut kuitenkaan vaikutusta lukuunottamatta vuotta 1986 Sattasessa, jolloin käsittelyt vaikuttivat vuosikertoihin tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$, taulukko 13). Vuosina 1985–1989 syntyneistä kasvaimista puuttui syksyllä 1989 yhteen summattuna 0,7–1,1 vuosikertaa käsittelystä ja alueesta riippuen. Hietaperällä erot olivat suuntaa antavia.

Talven 1989/90 juurten kylmästressikäsittelety (käsittelemätön ja lumeton) eivät kellastuttaneet vanhoja neulasia kesken kasvukauden 1990. Loppukeksällä 1990 neulasia poistui 0,7–1,0 vuosikertaa (13,2–19,1 %), mikä siten kasvatti käsittelemättömien puiden talvehtivan vuosikertamäärän keskimäärin 4,3:een Hietaperällä ja 4,6:een Sattasessa (taulukko 14). Käsitteleyden välillä ei ollut tilastollisia eroja.

5.1.4.4 Puuston kasvu

Kaikkien kolmen koemetsikön käsittelemättömän puuston pituuskehityksessä oli yksilöllisiä piirteitä. Jämissä kasvu lisääntyi ja Sattasessa se pysyi samalla tasolla vuodesta toiseen, kun taas Hietaperän puuston pituuskasvu taantui merkittävästi kesällä 1987 usean vuoden ajaksi ja samalle tasolle kuin Sattasessa. Kasvun minimi saavutettiin kesällä 1988 (kuva 20).

Taulukko 12. Talven 1988/89 kokeellisen juurten kylmästressin vaikutus männyn neulasvuosikertojen määrään ja keskikesän neulaskatoon Hietaperällä, Sattasessa ja Jämissä kesällä 1989.

Paikka	Ajankohta					Puussa kpl
	Syyskuu 1988	Kesäkuu 1989	Heinäkuu 1989	Heinä–syyskuu 1989		
	Neulasvuosikertoja					
Käsittely	Puussa kpl	Puussa kpl	kpl	Neulaskato kpl	%	
Hietaperä						
Lumeton	3,4	4,4	0,09	0,57	12,8	3,8
Massiivinen routa	3,3	4,3	0,20	0,61	13,8	3,7
Olki	3,6	4,6	0,01	0,12	2,7	4,5
Käsitlemätön	3,6	4,6	0,01	0,25	5,8	4,4
Keskimäärin						4,2
Sattanen						
Lumeton	3,8	4,8	0,14	0,73	15,2	4,1
Massiivinen routa	3,8	4,8	0,22	0,84	17,6	4,0
Olki	4,8	4,8	0,02	0,33	6,6	4,5
Käsitlemätön	3,9	4,9	0,08	0,51	10,3	4,4
Keskimäärin						4,3
Jämi						
Lumeton	2,3	3,3	0,05	0,83	25,1	2,5
Massiivinen routa	2,3	3,3	0,05	0,58	17,4	2,7
Olki	2,0	3,0	0,04	0,58	18,8	2,4
Käsitlemätön	2,3	3,3	0,04	0,56	16,7	2,7
Keskimäärin						2,6

Taulukko 13. Vihreiden neulasten osuus vuosikerroittain ja viiden vuosikerran (1985–1989) kokonaisneulaskato neulasvuosikertoina ilmaistuna syksyllä 1989 juurten kylmästressikokeissa 1988/89 Hietaperällä ja Sattasessa. Tulokset perustuvat samaan aineistoon kuin luvussa 5.1.4.4.

Paikka	Vihreitä neulasia/vuosikerta, %					Neulaskato, vuosikertaa
	Vuosikasvain					
Käsittely	1985	1986	1987	1988	1989	
Hietaperä						
Lumeton	43,1	83,8	95,6	97,5	100,0	0,8
Massiivinen routa	36,9	83,3	94,5	98,3	100,0	0,9
Käsitlemätön	28,1	81,9	83,7	98,4	99,1	1,1
Keskimäärin	36,0	83,0	91,1	98,1	99,7	0,9
Sattanen						
Lumeton	46,9	75,4	95,2	92,3	100,0	0,9
Massiivinen routa	49,5	84,6	5,1	100,0	100,0	0,7
Käsitlemätön	24,8	95,4	98,5	97,7	99,8	0,8
Keskimäärin	40,4	85,3	96,3	96,7	99,9	0,8

Taulukko 14. Talven 1989/90 kokeellisen juurten kylmästressin vaikutus männyn neulasvuosikertojen määrään ja keskikesän neulaskatoon Hietaperällä ja Sattasessa.

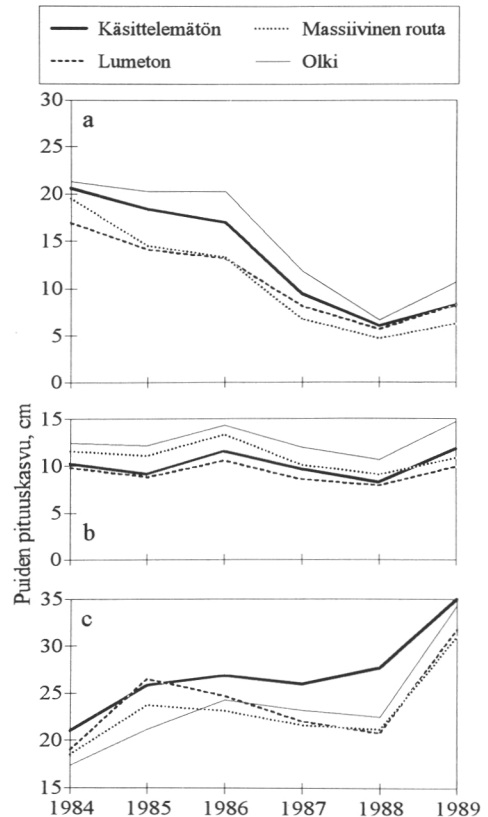
Paikka	Ajankohta				
	Talvi 1989/1990	Kesäkuu 1990	Loppukesä 1990		Syyskuu 1990
	Neulasvuosikertoja				
	Käsittely	Puussa kpl	Puussa kpl	Neulaspoistuma	
kpl				%	
Hietaperä					
Käsittelemätön	4,3	5,3	1,0	19,1	4,3
Lumeton	3,7	4,7	0,8	17,1	3,9
Sattanen					
Käsittelemätön	4,4	5,4	0,8	15,0	4,6
Lumeton	4,0	5,0	0,7	13,2	4,3

Juurten kylmästressistä talvella 1988/89 huolimatta mäntyjen pituuskasvu oli kaikissa käsittelyissä parempi vuonna 1989 kuin 1988 kaikilla kolmella tutkimusalueella (kuva 20). Eniten kasvu lisääntyi olkiruuduilla.

Talven 1989/90 kokeellinen kylmästressi (lumeton) toistettuna edellisen vuoden stressiruuduilla ei vaikuttanut tilastollisesti merkittävästi puuston pituuskasvuun käsittelyn jälkeisinä vuosina. Niin Hietaperän kuin Sattasen kesän 1990 kasvut olivat edellisen kesän tasolla.

Seurantajakson 1985–1989 paras oksien pituuskasvu mitattiin Lapin neulaskatoa edeltävänä vuonna 1986 niin Sattasessa kuin Hietaperällä. Myös oksien kehityksessä näkyi pituuskasvun taantuma selkeästi Hietaperällä, missä taantumaa aallonpohja saavutettiin vuonna 1988. Riippumatta kylmästressikäsittelystä oksien kasvu oli parempi vuonna 1989 kuin vuotta tai kahta aikaisemmin lukuunottamatta lumetonta massiivisen roudan ruutua, jossa puusto jäi kesällä 1989 neulaskatokesän 1987 tasolle tai sen alle.

Juurten kylmästressillä oli vain vähäinen vaikutus oksan kasvunopeuteen kasvukauden aikana. Kumpanakin kesänä (1989 ja 1990) lumettoman alueen puut kasvoivat hieman käsittelemättömän ruudun puita nopeammin, ja myös verson lopullinen pituus oli suurempi juurten kylmästressiruudun puissa.



Kuva 20. Metsiköiden puuston vuotuisen pituuskasvun vaihtelu vuosina 1984–1990 ja talven 1988/89 juurten kylmästressikäsittelyiden vaikutus siihen Hietaperän (a), Sattasen (b) ja Jämin (c) koemetsiköissä.

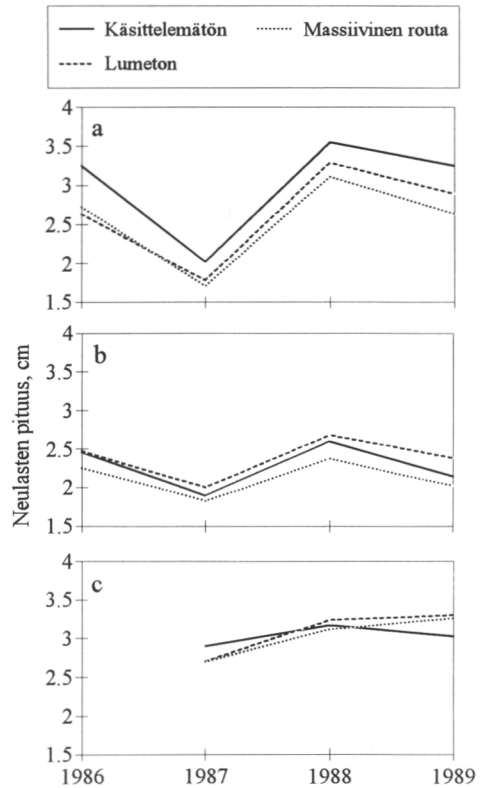
5.1.4.5 Neulasten koko ja väri

Neulaset olivat selvästi lyhimmillään neulaskatokesänä 1987 Hietaperällä, ja merkkejä tästä oli Sattasessakin. Vuotta myöhemmin puut kasvattivat pitkiä neulasia, etenkin neulaskatoalueella Hietaperällä. Juurten kokeellinen kylmästressi ei vaikuttanut merkittävästi vuoden 1989 neulaspituuksiin, vaikka neulaset olivatkin edellistä vuotta pienempiä (kuva 21). Neulasten keskimääräinen pituus oli vuodesta riippuen välillä 1,9...3,0 cm Hietaperällä, 1,9...2,6 cm Sattasessa ja 2,6...3,2 cm Jämissä.

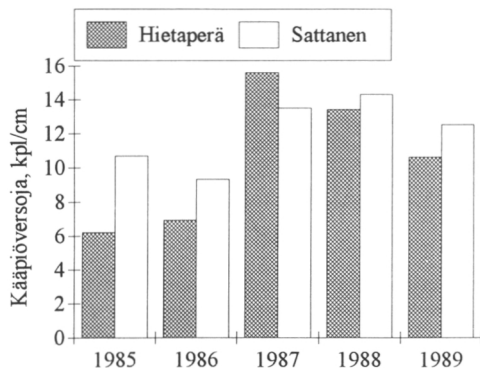
Neulasten keskimääräinen paino viisivuotiskautena 1985–1989 oli alhaisimmillaan kesällä 1987 (1,7–2,1 g/100 neulasta) ja korkeimmillaan vuotta myöhemmin Hietaperällä (4,7 g) ja vuonna 1985 Sattasessa (3,5 g). Massiivinen routa lumettomassa maassa vähensi neulasen pituutta, painoa ja paino/pituus -suhdetta kesällä 1989. Eniten käsittelyyn reagoi neulasen paino, joka jäi 67 %:iin kummallakin paikkakunnalla (taulukko 15). Neulasen painon ja pituuden suhde vaihteli keskimäärin välillä 0,86...1,37 mg/mm Hietaperällä ja 1,05...1,33 mg/mm Sattasessa.

Keskimääräinen neulastiheys eli kääpiöversojen määrä pituusyksikköä kohden oli vuodesta riippuen välillä 8,4...16,4 kpl/cm Hietaperällä ja 9,9...15,0 kpl/cm Sattasessa. Pienimmät tiheydet olivat hyvän kasvun vuosina 1985–1986. Hietaperällä suurin tiheys syntyi neulaskatokesäksi 1987, josta se alkoi laskea vuosittain kohti normaalia tiheyttä. Sattasessa suurin arvo oli vuonna 1988. Kummassakin metsikössä vuodet jakaantuivat selkeästi alhaisen tiheyden jaksoon ennen neulaskatoa (1985–1986) ja korkean tiheyden jaksoon neulaskatokesästä eteenpäin (1987–1989) (kuva 22). Juurten kylmäkäsitely (massiivinen routa + lumettomuus) hidasti neulastiheyden alentumista (taulukko 16), mikä viittaa kylmäkäsitelyn kasvua hidastaneeseen vaikutukseen sen jälkeen, kun neulasten lukumäärä on jo määrätynyt.

Ajankohdasta tai juuristressikäsitelystä riippumatta neulaset olivat väriltään kellan-



Kuva 21. Männyn neulasten pituuden vaihtelu vuosina 1985–1989 ja talven 1988/89 juurten kylmästressin vaikutus pituuteen kasvukaudella 1989 Hietaperällä (a), Sattasessa (b) ja Jämissä (c).



Kuva 22. Männyn kääpiöversojen (neulasparin) määrä kasvaimen pituusyksikköä kohden (neulastiheys) Hietaperällä ja Sattasessa vuosina 1985–1989.

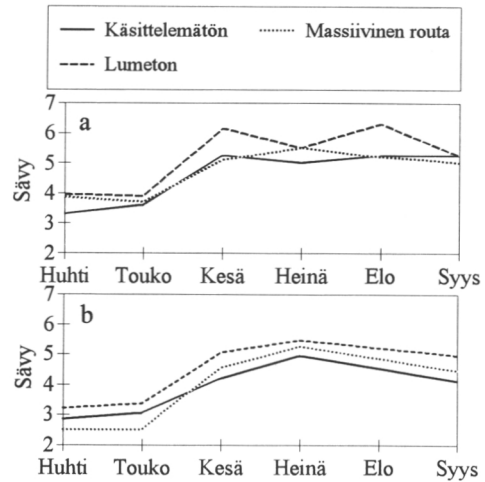
Taulukko 15. Talven 1988/89 juurten kylmästressin vaikutus männyn neulasten suhteelliseen pituuteen ja painoon sekä painon ja pituuden suhteeseen kasvukaudella 1989 verrattuna kokeen perustamista edeltäneen vuoden 1988 arvoihin Hietaperällä ja Sattasessa.

Paikka	Pituus	Paino	Pi/Pa
Käsittely	%	%	%
Hietaperä			
Lumeton	87,5	75,0	86,7
Mass. routa	83,3	66,7	81,7
Käsittelemätön	89,5	75,8	84,9
Sattanen			
Lumeton	92,6	82,9	85,4
Mass. routa	87,5	66,7	77,5
Käsittelemätön	88,0	72,7	85,4

Taulukko 16. Talven 1988/89 juurten kylmästressin vaikutus männyn neulastiheyteen kasvukaudella 1989 ja verrattuna kokeen perustamista edeltäneen vuoden 1988 arvoihin Hietaperällä ja Sattasessa.

Paikka	Neulastiheys	
	1989	1989/88
Käsittely	kpl/cm	%
Hietaperä		
Lumeton	11,9	78,3
Mass. routa	14,7	88,6
Käsittelemätön	10,6	79,1
Sattanen		
Lumeton	13,5	92,5
Mass. routa	15,6	97,5
Käsittelemätön	12,5	87,4

vihreitä (GY-asteikko). Käsittelemättömien puiden keltaisuus oli huomattavan voimakasta keväällä 1989 GY-sävyn vaihdella huhtikuussa välillä 2,9...3,3 ja toukokuussa välillä 3,1...3,6. Kesäkuussa keltaisuus väistyi ja vihreys lisääntyi voimakkaasti tasolle, jolla se pysyi syyskuulle saakka Pohjois-Suomessa. Tällöin sävyarvot vaihtelivat välillä 5,0...5,3 Hietaperällä ja 4,1...5,0 Sattasessa (kuva 23). Etelä-Suomesta oli vain yksi määrittely, elokuu 1989 Jämsiltä. Sen mukaan vihreys (6,0 GY) oli selvästi voimakkaampi kuin yhdelläkään määrittyskerralla Pohjois-Suomessa. Kolmen paikkakunnan tulosten perusteella kuivan kankaan mäntyjen kesäinen yleisväri muuttui pohjoista kohti keltaisemmaksi.



Kuva 23. Talven 1988/89 juurten kylmästressin vaikutus männyn neulasten värin sävyyn (HUE) huhtisyyskuussa 1989 Hietaperällä (a) ja Sattasessa (b). Lukuarvon kasvaessa neulanen muuttuu keltaisesta vihreämmäksi.

Talven lumettomuus lisäsi merkitsevästi neulasten värin sävyn (HUE) vihreyttä kesä- ja elokuussa Hietaperällä ($p < 0,001$, kuva 23a), kesäkuussa Sattasessa ($p < 0,05$, kuva 23b) ja elokuussa Jämsissä ($p < 0,001$), mihin lienee syynä maan varhainen paljastuminen ja lämpeneminen. Massiivinen routa ei eronnut käsittelemättömistä ruuduista.

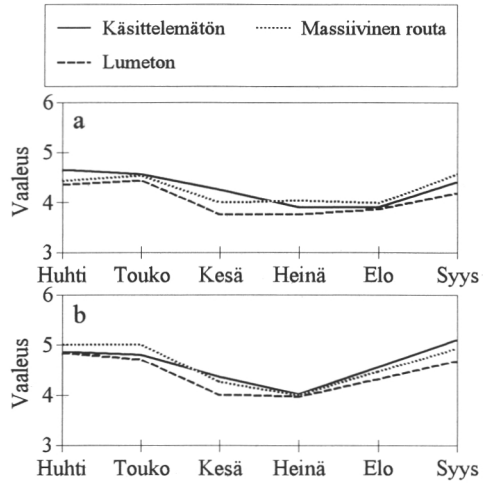
Käsittelemättömien mäntyjen neulasten värin vaaleus (VALUE) vaihteli välillä 3,9...4,7 Hietaperällä ja 4,1...4,8 Sattasessa. Neulaset olivat tummempia (alhaisimmat lukuarvot) Hietaperällä kuin Sattasessa ja kesä-elokuussa kuin kasvukauden alkaessa tai loppuessa. Lumeton käsittely tummensi neulasia merkitsevästi ($p < 0,05$) kesäkuussa ja syyskuussa (Hietaperä ja Sattanen) sekä heinäkuussa (Hietaperä) (kuva 24). Hietaperän massiivisen roudan ruuduilla, missä maa lämpeni hitaasti, neulaset olivat merkitsevästi ($p < 0,01$) muiden käsittelyiden neulasia vaaleampia keväällä ja syksyllä. Jämin elokuun mittausten perusteella juuristressikäsitelyillä ei ollut vaikutusta vaaleuteen. Elokuisten arvojen perusteella neulaset olivat

tosin tummempia Jämissä (VALUE 3,5–3,8) kuin Hietaperällä (3,9–4,0).

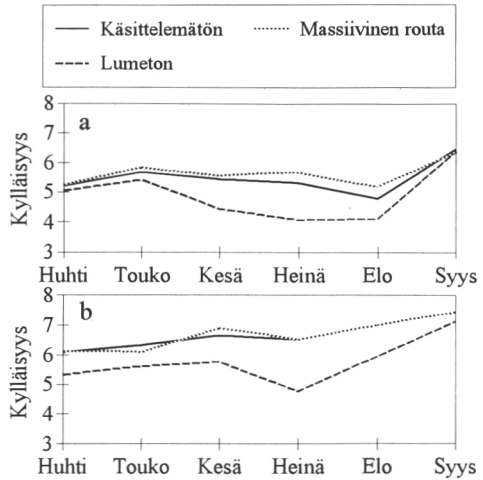
Myös neulasten värin kylläisyyden (CHROMA) suhteen lumettoman alueen neulaset erosivat merkitsevästi muista käsittelyistä Hietaperällä kesä–elokuussa ja Sattasessa huhti–heinäkuussa (ajankohdasta riippuen $p < 0,05 \dots p < 0,01$). Muuten kylläisyysluku pysyi tasaisena (4,8–5,8 Hietaperällä ja 5,7–6,9 Sattasessa) läpi kesän nousien merkittävästi syyskuussa (uudet neulaset). Tuolloin käsittelyittäinen kylläisyysluku vaihteli välillä 7,1...7,8 (Sattanen) ja välillä 6,4...6,7 (Hietaperä) (kuva 25). Neulaset olivat siten Sattasessa kromaattisempia (räikeämpiä) kuin Hietaperällä. Jämin elokuiset arvot vaihtelivat käsittelyittäin välillä 4,0...4,2, kun ne Hietaperällä olivat 4,1...5,2.

5.1.4.6 Neulasten ravinnetila, sokeripitoisuudet ja kylmänkestävyys

Tutkimusmetsiköiden ja etenkin pohjoissuomalaisten kuivien kankaiden männynneulasten ravinnetaso oli kasvupaikka huomioon ottaen yleisesti alhainen, mutta lähellä normaalia (ks. Raitio 1994). Sekä Hietaperällä että Sattasessa, missä käsittelemättömien puiden neulasten ravinnetilaa seurattiin huhtikuulta lokakuulle 1989, neulasten kuukausittaiset ravinnetitoisuudet vaihtelivat merkittävästi. Selkeästi alhaisimmillaan vuosien 1986–1988 neulasten typpi-, fosfori- ja kaliumpitoisuudet olivat kesä–heinäkuun vaihteessa, typen ja fosforin osalta Hietaperällä koko heinäkuun, mistä ne yleensä palautuivat lokakuuhun mennessä edellisen huhtikuun tasolle (kuva 26). Kuitenkin vuoden 1988 eli nuorimpien talvehtineiden neulasten kohdalla huhtikuinen typen, fosforin, kaliumin ja magnesiumin selkeän korkea taso jäi yleisesti saavuttamatta syyskuun lopussa. Kun toisaalta uusissa vuoden 1989 neulasissa ko. pitoisuudet olivat loppukesällä merkitsevästi korkeammat kuin v. 1988 tai sitä vanhemmissa neulasissa, em. ravinteita lienee siirtynyt uusiin neulasiin nimenomaan v. 1988 neulasista (kuva 26).



Kuva 24. Talven 1988/89 juurten kylmästressin vaikutus männyn neulasten värin vaaleuteen (VALUE) huhti–syyskuussa 1989 Hietaperällä (a) ja Sattasessa (b). Neulanen on sitä tummempi, mitä pienempi on lukuarvo.



Kuva 25. Talven 1988/89 juurten kylmästressin vaikutus männyn neulasten värin kylläisyyteen (CHROMA) huhti–syyskuussa 1989 Hietaperällä (a) ja Sattasessa (b).

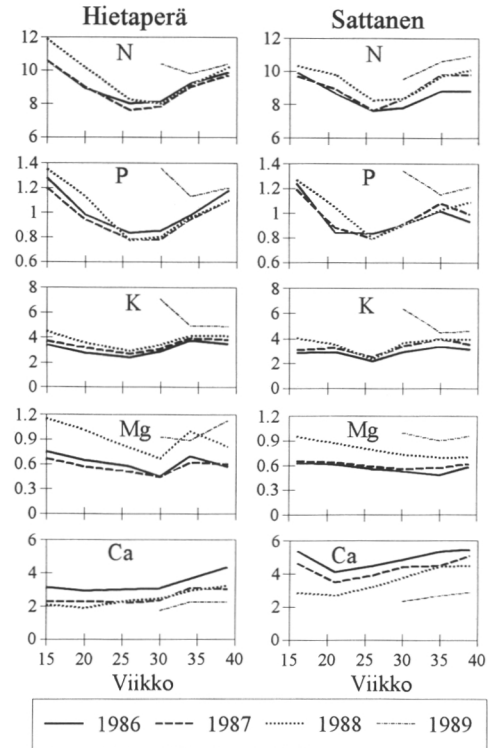
Magnesiumin määrä talvehtineissa neulasissa laski huhtikuulta syyskuun lopulle lukuunottamatta lyhytaikaista pitoisuuden nousua kesän lopulla ja siihen liittynyttä vuo-

sien 1989 neulasten Mg-pitoisuuksien laskua Hietaperällä (kuva 26). Kalsiumpitoisuudet kohosivat lievästi kasvukauden aikana käsittelemättömissä puissa. Suurimmat pitoisuudet olivat vanhimmissa, vuoden 1986 neulasissa. Neulaskatokesänä 1987 Hietaperällä syntyneiden neulasten Ca-pitoisuudet jäivät vuotta nuorempien tasolle tai jopa sen alle (kuva 26).

Sattasen metsikössä N-, P-, K- ja Mg-pitoisuudet olivat sitä suuremmat, mitä uudemmissa neulasista oli kyse, kalsiumin osalta kuitenkin päin vastoin (kuva 26). Tämä malli oli vallitseva myös Hietaperällä muuten paitsi neulaskatokesänä 1987, jolloin syntyneiden neulasten pitoisuudet jäivät jopa alle vuoden 1986 neulasten tason (N, P, Mg). Myöskään kalsiumin osalta pitoisuudet eivät kohonneet vuoden 1987 neulasissa oletetulle tasolle eli yli vuoden 1988 neulasten Ca-pitoisuuksien (kuva 26).

Lumisuojan puute talvella 1988/89 kohensi merkittävästi kaikkien talvehtineiden ja myös uusien neulasten typpipitoisuuksia keski- ja loppukesällä sekä erityisesti syksyllä: huhtikuussa samansuuruiset käsittelemättömän ja lumettoman ruudun neulasten typpipitoisuudet olivat kauden lopulla 1,0–1,5 mg/g korkeampia lumettomalla ruudulla. Suurimmiltaan nämä erot olivat vuoden 1989 uusissa neulasissa Hietaperällä (kuva 27). Alimmat keskikesän typpipitoisuudet mitattiin massiivisen roudan ruuduilla. Loppukesällä palautuminen oli tehokkainta lumettomilla ruuduilla Hietaperällä; Sattasessa käsitteletyt eivät eronneet (kuva 28).

Keskitalven lumettomuus kohotti loppukesällä myös fosforipitoisuuksia kaikissa ja etenkin v. 1986 neulasissa Hietaperällä (kuva 27) ja syyskuussa myös Sattasessa (kuva 28). Keväiset fosforipitoisuudet pysyivät korkeammalla tasolla Hietaperän lumettomalla ruudulla ja Sattasen molemmilla stressiruuduilla kuin käsittelemättömällä ruudulla viitaten maan hitaampaan sulamiseen ja juurten vähäisempään aktivoitumiseen. Massiivisen roudan ruudulla fosforipitoisuudet jäivät huomattavan alhaisiksi myös syyskesällä kaikissa

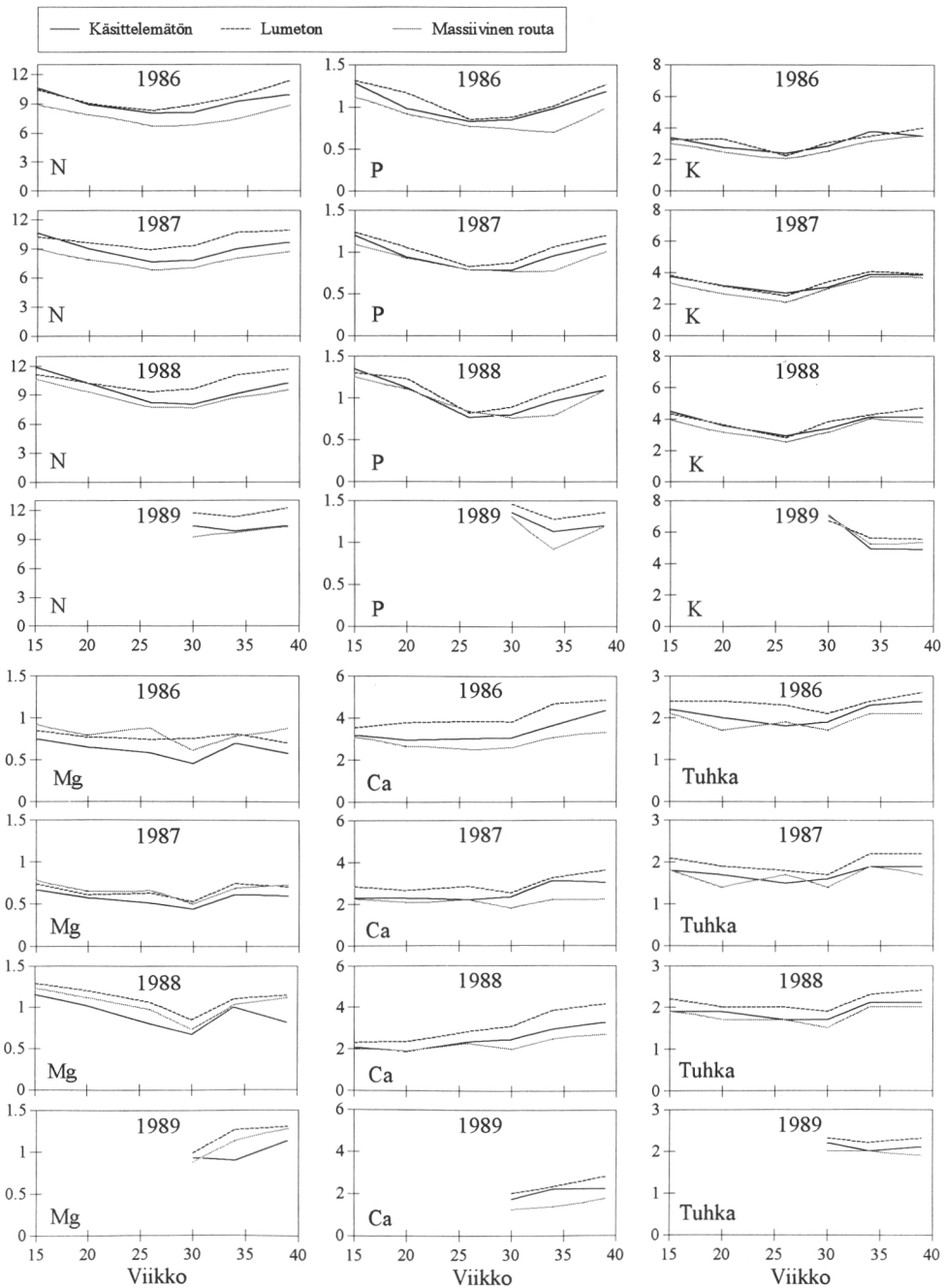


Kuva 26. Vuosina 1986–1989 syntyneiden männyn neulasten typpi-, fosfori-, kalium-, magnesium- ja kalsiumpitoisuudet (mg/g) huhti–lokakuussa 1989 käsittelemättömissä puissa Hietaperällä ja Sattasessa.

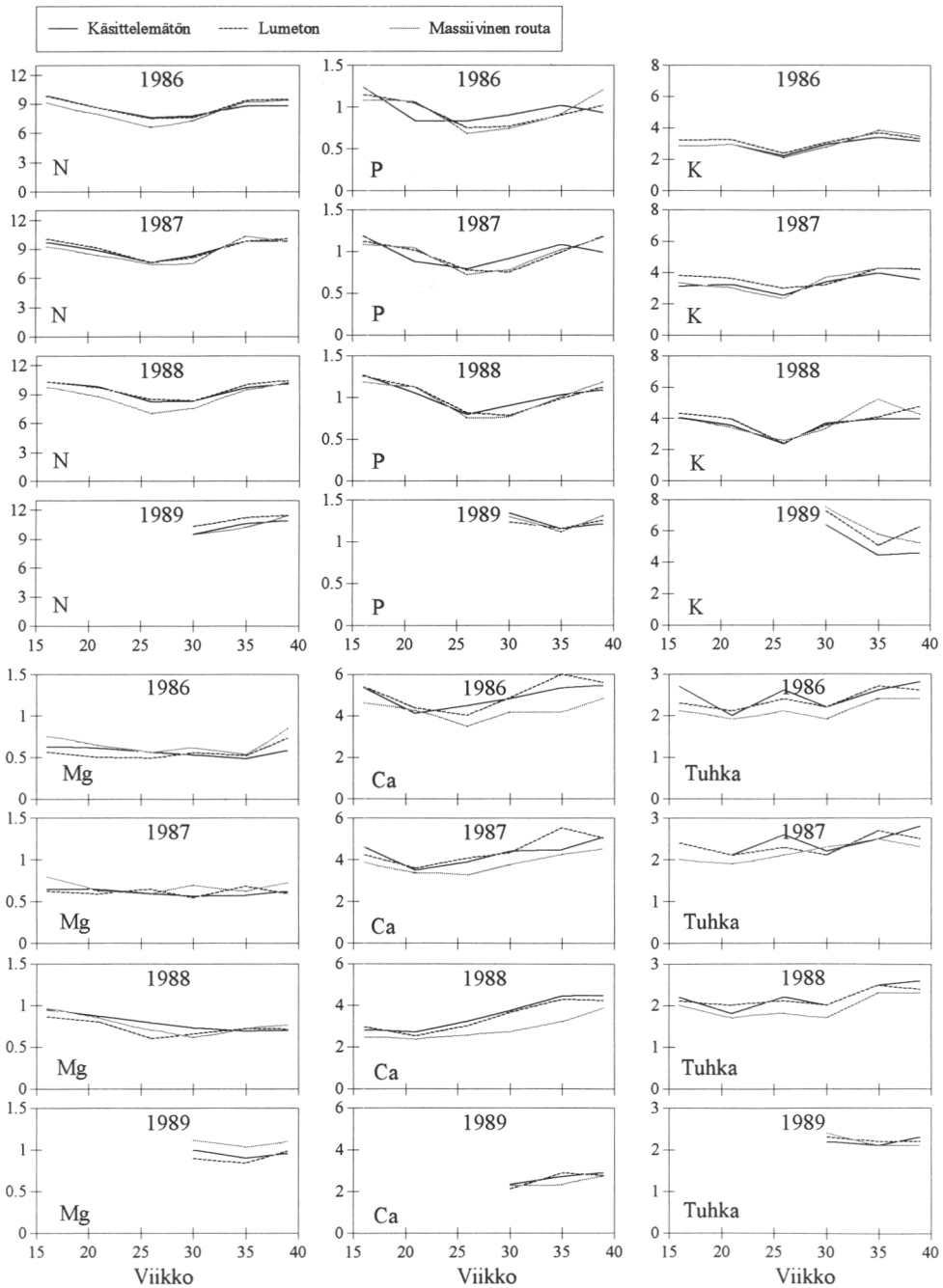
neulasikäluokissa Hietaperällä; Sattasen molemmassa stressikäsitellyissä fosforipitoisuudet olivat pudonneet selvästi alle käsittelemättömän jo kesä–heinäkuun vaihteesta aina syyskuulle (kuva 28). Uusimpaan neulasikäluokkaan juurten kylmästressillä ei ollut vaikutusta Sattasessa.

Kaliumpitoisuuksiin juurten kylmästressi vaikutti vain uusissa vuoden 1989 neulasissa etenkin Sattasessa niin, että stressatuissa puissa pitoisuudet olivat merkittävästi korkeammat (kuva 28). Vanhempien neulasten K-pitoisuuksiin käsitteletyt eivät vaikuttaneet, ja havaitut ajalliset muutokset olivat yhtäläiset Hietaperällä ja Sattasessa (kuvat 27 ja 28).

Neulasten magnesiumipitoisuudet olivat koko seurantajakson korkeammat stressatuilla



Kuva 27. Vuosina 1986, 1987, 1988 ja 1989 syntyneiden männyn neulasten typpi-, fosfori-, kalium-, magnesium- ja kalsiumpitoisuudet (mg/g) sekä tuhkapitoisuudet (%) talven 1988/89 kokeellisen juurten kylmästressin jälkeen käsitteilyttään huhti-lokakuussa 1989 Hietaperällä.



Kuva 28. Vuosina 1986, 1987, 1988 ja 1989 syntyneiden männyn neulasten typpi-, fosfori-, kalium-, magnesium- ja kalsiumpitoisuudet (mg/g) sekä tuhkapitoisuudet (%) talven 1988/89 kokeellisen juurten kylmästressin jälkeen käsitteilyttään huhti-lokakuussa 1989 Sattasessa.

kuin käsittelemättömillä puilla kaikissa neulasikaluokissa Hietaperällä. Sen sijaan Sattasessa juuristressi ei vaikuttanut Mg-pitoisuuksiin (kuva 28). Vuoden 1988 neulasten Mg-pitoisuudet olivat huomattavan korkeat Hietaperällä ja merkitsevästi korkeammat kuin Sattasessa (kuva 27 ja 28). Juuristressi korosti eroja käsittelemättömiin puihin nähden. Kun toisaalta v. 1987 neulasten Mg-pitoisuudet olivat Hietaperällä poikkeuksellisen alhaiset, puusto ei selvästikään kyennyt vuonna 1987 saamaan normaalisti magnesiumia, vaikka sitä oli poikkeuksellisen paljon tarjolla kesällä 1988. Lumettomalla ruudulla kalsiumia kertyi etenkin vuosien 1986 ja 1988 neulasiin Hietaperällä, mutta ei Sattasessa. Massiivisen roudan ruudulla taas kalsiumin saanti oli vaikeaa etenkin keski- ja loppukesällä molemmissa metsiköissä, Hietaperällä myös uusissa neulasissa (kuvat 27 ja 28).

Neulasten tuhkapitoisuus oli suurin vanhimmassa ja pienin nuorimmassa vuosikerrossa Sattasessa, mihin suhteeseen juurten kylmäkäsitelyllä ei ollut vaikutusta. Hietaperällä alhaisin tuhka-% oli kesällä 1987 syntyneissä neulasissa ja korkein kesän 1986 neulasissa riippumatta käsittelystä. Uusimpien, vuoden 1989 neulasten pitoisuudet olivat kohonneet suhteessa muihin vuosikertoihin verrattuna Sattasen tilanteeseen (kuvat 27 ja 28). Lumettomuus lisäsi kaikkien talvehtineiden neulasten (1986–1988) tuhkapitoisuutta Hietaperällä, mutta ei Sattasessa.

Jämissä neulasanalyysit tehtiin elokuun 1989 näytteistä. Typpipitoisuuksiin neulasen iällä ei ollut vaikutusta. Neulasten ikääntyessä fosforin, kaliumin ja magnesiumin elokuiset pitoisuudet laskivat ja kalsiumin kohosi.

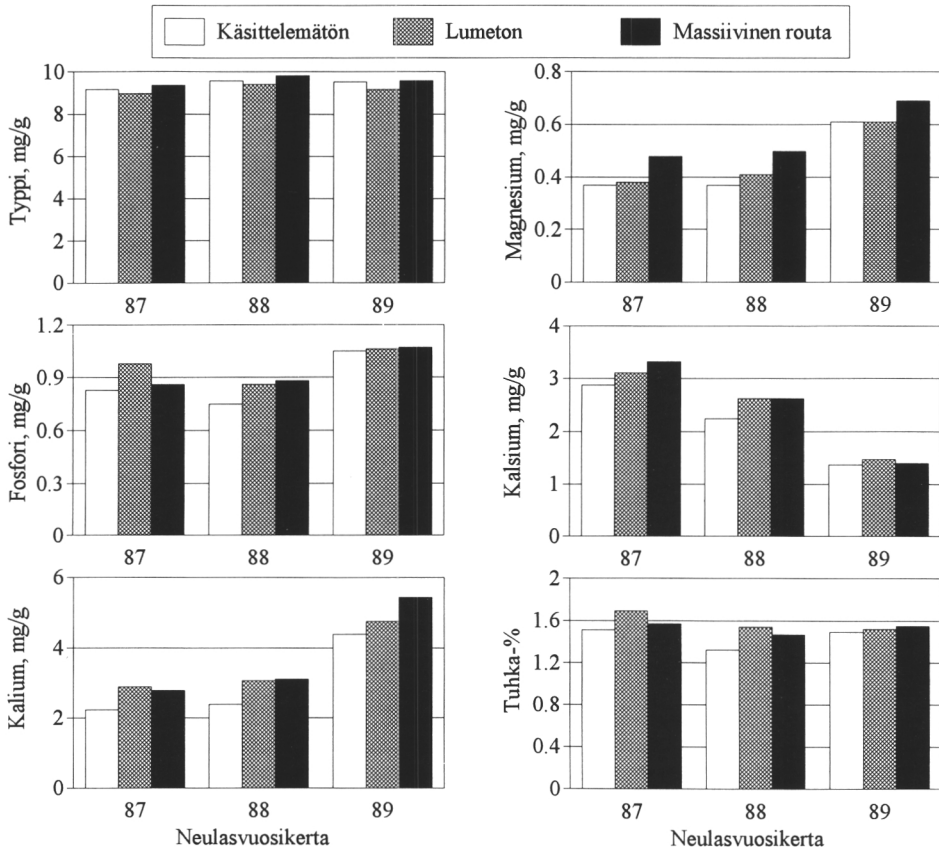
Juurten kylmästressi lisäsi kaliumin määrää kaikenikäisissä neulasissa ja magnesiumin pitoisuuksia 2 vuotta vanhoissa neulasissa (kuva 29). Käsittelyt tai neulasvuosikerrat eivät vaikuttaneet tuhkapitoisuuteen.

Neulasten glukoosipitoisuus vuosien 1988 ja 1989 neulasissa vaihteli välillä 0,1...1,1 %, sakkaroosipitoisuus 0,3...2,7 % ja tärkkelyspitoisuus 3,3...4,6 % koko aineistossa. Vaikka arvot vaihtelivat vuodenajoinnain ja käsittelyittäin, erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Aiempien tulosten mukaan (Ericsson 1979) 20-vuotiaan kuivan kankaan männikön neulasten tärkkelyspitoisuus vaihtelee talven 4 %:sta kesäkuun 20 %:iin. Mitään vastaavia vaikutuksia ei havaittu juurten kokeellisessa kylmäaltistuksessa, mikä saattaa johtua Hietaperänkankaan mäntyjen neulaskatoon 1987 johtaneista tekijöistä. Hietaperän mäntyjen neulasissa on kuitenkin todettu suuria tärkkelysjyväsia kesällä 1988 (Holopainen 1990).

Männyn neulasten kylmänkestävyys oli vähintään $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ vielä huhtikuun 20. päivä 1989, mutta toukokuun 3. päivänä kestävyys oli oleellisesti alhaisempi kylmäkäsiteltyjen neulasten inkubointinesteen sähköjohtokyvyn kohottua noin kaksinkertaiseksi (taulukko 17). Toukokuun puolivälissäkin neulaset eivät tuhoutuneet täydellisesti, koska nestetyypessä olleiden neulasten keskimääräinen sähköjohtokyky oli $6,2\ \mu\text{S}/\text{cm}$. Selvästi alhaisimmat sähköjohtokyvyt sekä $+5$ että $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa mitattiin massiivisen roudan ruudun neulasista, mikä viittaa maan sulamisen viivästymisen vaikuttavan hidastuttavasti myös neulasten kesääntymiseen.

Taulukko 17. Männyn neulasten kylmänkestävyys sähköjohtokyvyn ($\mu\text{S}/\text{cm}$) avulla ilmaistuna keväällä 1989 talven 1988/89 juurten kylmästressikokeessa Hietaperällä.

Käsittely	Mittausajankohta 1989							
	12.4.		20.4.		3.5.		15.5.	
	Käsittelylämpötila, $^{\circ}\text{C}$							
	+5	-18	+5	-18	+5	-18	+5	-18
Lumeton	3,3	2,9	3,3	2,9	2,3	3,5	1,6	3,9
Massiivinen routa	2,8	2,2	2,4	2,5	1,8	3,5	2,0	3,5
Käsittelemätön	3,8	4,0	3,9	2,8	2,7	4,5	2,4	4,7



Kuva 29. Vuosina 1987, 1988 ja 1989 syntyneiden männyn neulasten ravinne- ja tuhkapitoisuudet talven 1988/89 kokeellisen juurten kylmästressin jälkeen käsitteilyttään elokuussa 1989 Jämissä.

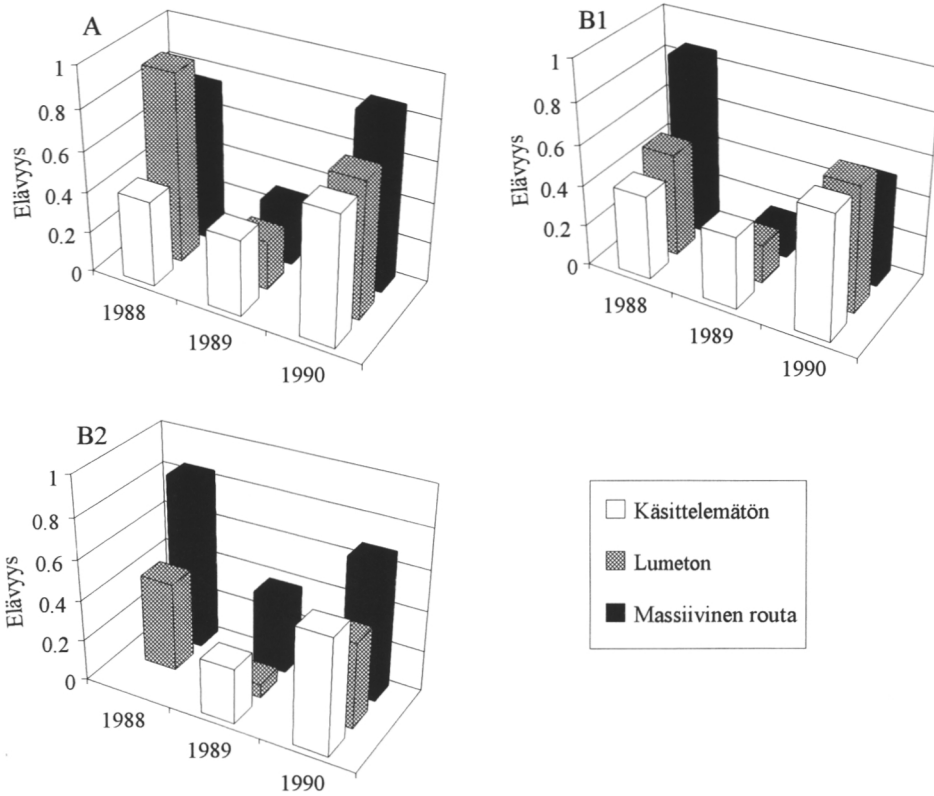
5.1.4.7 Juuriston elävyys

Juurten elävyys oli käsittelemättömällä ruudulla lähes sama kaikissa maakerroksissa (kuva 30). Lumettomalla ruudulla juurten elävyys oli erityisen korkea lähellä maanpintaa (A-horisontti) ja alhaisin syvimmässä kerroksessa (B₂). Talvinen lumettomuus heikensi oleellisesti etenkin A-horisontin, mutta myös B₁- ja B₂-horisonttien juurten elävyyttä ensimmäisenä stressin jälkeisenä kesänä. Käsittelemättömän ruudun suhteen muutos oli erittäin merkitsevä. Kesällä 1990 lumettoman ruudun juuriston elävyys oli palautunut lähes vuoden 1988 tasolle A-horisontissa ja jopa ohittanut sen B₁-horisontissa (kuva 30). Myös

massiivisen roudan ruudulla elävyys romahti kesällä 1989. Kesällä 1990 juuristo elpyi hyvin kaikissa maakerroksissa

5.1.5. Hietaperän lämpöolojen simulointi talvelle 1986/87

Lämpöenergian virtaus maakappaleessa riippuu Fourierin lämmönsiirtymislain mukaan lämpötilasta kappaleen eri puolilla (lämpötilagradientti), siirtymismatkasta ja maaineksen lämmönjohtavuudesta. Voimakkaimmin maan lämpötaloudellisiin ominaisuuksiin vaikuttavat huokostila (paikallaan pysyvä ilma) ja kosteus. Talvella tärkeitä tekijöitä



Kuva 30. Talven 1988/89 kokeellinen juurten kylmästressi ja juurten elo- syyskuinen elävyys vuosina 1988–1990 horisonteissa A, B₁ ja B₂ käsittelemättömällä, lumettomalla ja massiivisen roudan ruudulla Hietaperällä.

ovat lumipeitteen paksuus (Valmari 1984, 1986) sekä veden eri olomuotoihin kytkeytyvä lämpömäärä ja veden/jään lämmönjohtavuus. Lumettomana aikana pinnan absorptio- ja heijastusominaisuudet sekä haihdunta yhdessä vaihtolämmön ja maan lämmönjohtavuuden kanssa määrittävät maan lämpötilan maanpinnan energiataseyhtälön osoittamalla tavalla (van Wijk 1963).

Hietaperänkankaalla neulaskatoa edeltävänä talvena 1986/87 vallinneet ilman ja maan lämpötilat simuloitiin Hietaperältä ja Apukasta talvella 1989/90 mitatun aineiston ja Apukan säähavaintoaseman talven 1986/87 lämpöolojen mittausten perusteella. Apukka sijaitsee 35 km luoteeseen Hietaperältä.

Hietaperän hiekkamaa kylmeni syystalvella

1989 huomattavasti nopeammin ja kylmemmäksi kuin Apukan hiesumoreenimaa riippumatta siitä, oliko maa paljas vai lumen suojaama. Kun maan lämpötila 5 cm:n syvyydessä lumen alla oli 16. joulukuuta Apukassa $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$, niin Hietaperällä se oli jo noin $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ astetta (kuva 31). Lumettomassa maassa vastaavat arvot 5 cm:ssä olivat $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$.

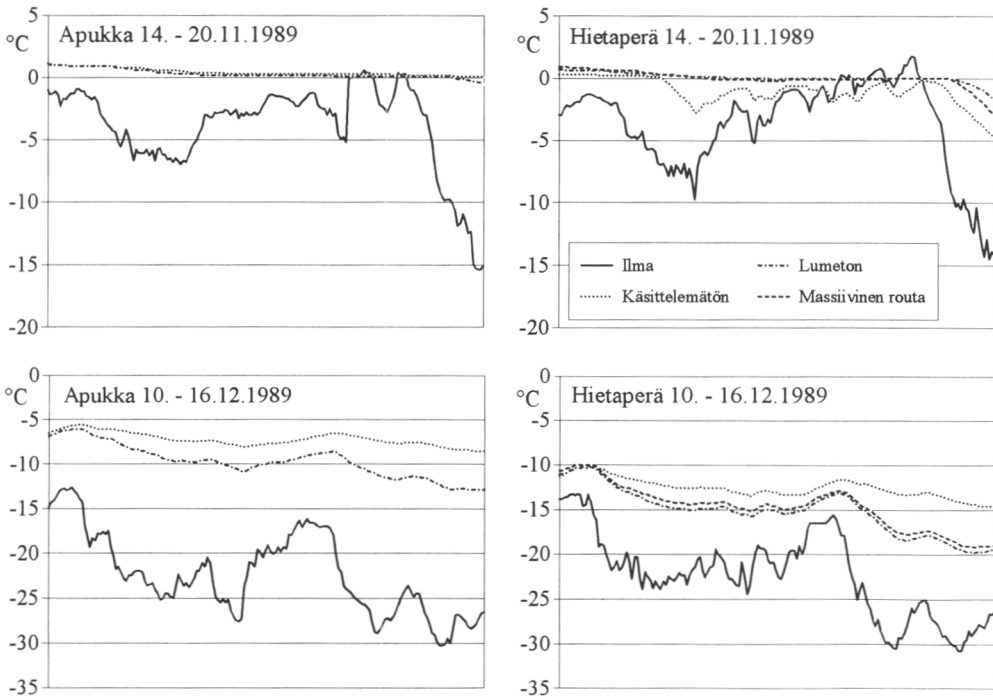
Koska Apukan ja Hietaperän ilman lämpötilat talvella 1989/90 korreloivat lineaarisesti (kuva 32) ja kuukausittaisten ja viikoittaisten regressioyhtälöiden selityskertoimet olivat korkeat, 0,86...0,98, ilman lämpötilat Hietaperälle talvella 1986/87 oli mahdollista laskea takautuvasti tilastollisten mallien avulla. Lämpötilojen korrelaatiot olivat korkeita ja riippuvuudet suoraviivaisia myös jäätynneissä

maassa kaikissa mittaussyvyyksissä (0, 5 ja 20 cm) ja käsittelyissä (lumeton ja käsittelemätön) Apukan ja Hietaperän välillä ajalla 10.–16.12.1989 (kuva 33). Täten myös maan osalta Hietaperän lämpötiloja kyettiin ennustamaan Apukan lämpötilojen avulla.

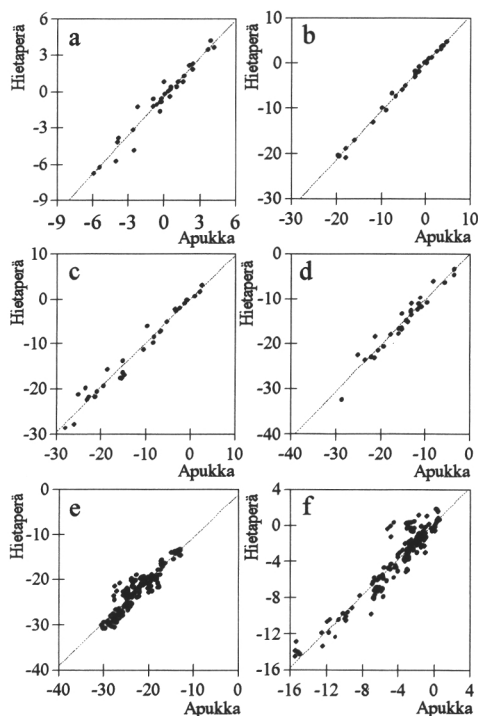
Apukan ja Hietaperän välinen riippuvuus maan lämpöoloissa ei ollut kuitenkaan yhtä selkeä kuukautta aikaisemmin eli 14.–20.11.1989 (kuva 33): kun maan lämpötila oli jommassa kummassa paikassa lähellä nolaa, se ei reagoanutkaan ilman lämpötilan muutoksiin, jolloin myös riippuvuuden muoto poikkesi aiemmin esitetystä. Lämpötilojen erilaisuus johtui Apukan ja Hietaperän välisistä eroista maan lämpötaloudellisissa ominaisuuksissa ja pintakasvillisuudessa. Apukassa sekä koelue että pysyvä säähavaintoasema ovat nurmikolla, jonka alla on tiivis hiesumoreenimaa. Hietaperällä maa sen sijaan on lajittunutta hiekkaa päällään erittäin ohut

humuskerros, josta puuttuu jäkäläpeite porojen laidunnuksen vuoksi.

Varsinainen syy suoraviivaisen korrelaation puuttumiselle mittauspaiikkojen välillä on kuitenkin veden eri olomuodoissa: vedessä ja jäässä. Jotta lämpötila maassa voisi laskea muutaman pakkasasteen alapuolelle ja maassa oleva vesi jäätyä, maakappaleesta täytyy poistua ensin veden sulamislämpöä vastaava lämpömäärä 334 kJ kilogrammaa kohden. Jos lumi ei suoja maata, kuiva Hietaperän maa jäätyy ennen Apukan maata. Käytännössä näin tapahtuu myös ohuen lumipeitteen aikana, koska Hietaperän maan lämpökapasiteetti ja lämmönjohtavuus ovat Apukan maata pienemmät. Tämä selittää myös sen, miksi neulaskatotalvena 1986/87 Apukassa mitatut maan vuorokautiset keskilämpötilat, vaikka olivatkin ennätysellisen alhaisia, jäivät esimerkiksi 5 cm:n syvyydessä vain $-7,8^{\circ}\text{C}$:een (8.1.1987).



Kuva 31. Tunneittain mitatut ilman lämpötila (2 m) ja maan lämpötilat 5 cm:n syvyydessä käsittelyittain 14.–20.11. ja 10.–16.12.1989 Hietaperällä ja Apukassa.



Kuva 32. Apukan ja Hietaperän ilman (2 m) lämpötilojen korrelaatio kuukausittain loka- (a), marras- (b) ja joulukuussa (c) 1989 sekä tammikuussa 1990 (d) sekä viikoittain 14.–20.11. (e) ja 10.–16.12.1989 (f). Kuukausikuvissa perusyksikkönä on käytetty vuorokausikeskiarvoja ja viikkokuvissa tunneittaisia arvoja.

Kuukausittaisilla yhtälöillä lasketut ilman (Apukka: ilma 2 m; Hietaperä: ilma 2 m) ja maan (Hietaperä: ilma 2 m; Hietaperä: maa 5 cm) päivittäiset keskilämpötilat loka–tammikuussa 1986–1987 osoittivat, että lumettoman maan lämpötila 5 cm:n syvyydessä Hietaperällä putosi joulukuussa 1986 -20°C :een ja alimmillaan -22°C :een tammikuussa 1987 (kuva 34). Näiden kuukausien aikana Hietaperänkangas oli lumeton tai lunta oli jakson loppupuolella vain ohuesti. Massiivisen roudan ruudulla saavutettiin samat lämpötilat. Koska Apukasta käytettiin vain vuorokautisia keskilämpötiloja, minimilämpötiloja ei tässä yhteydessä laskettu tilastollisella mallilla myöskään Hietaperälle. Minimilämpötilat

ovat Hietaperällä olleet kuitenkin todennäköisesti em. keskiarvolukemia alempia (katso mittaustulokset talvelta 1988/89, kappale 5.1.4.1).

5.2 Lämpötilan vaikutus ravinteiden uuttumiseen maassa

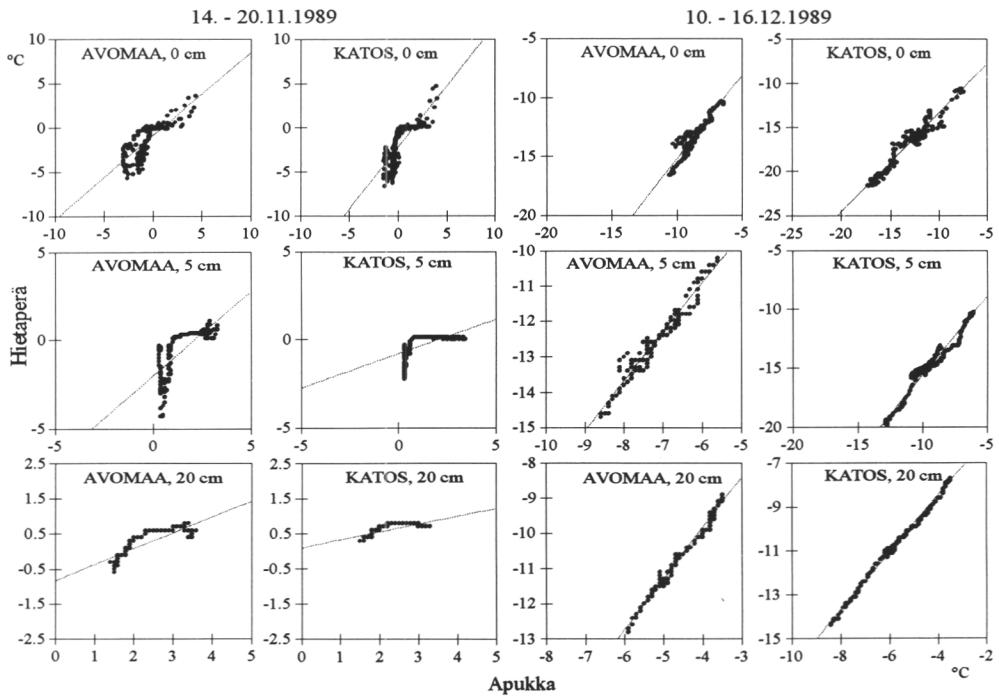
5.2.1 Johdanto

Ravinnekierron mallissa peruskomponentteja ovat: 1) ravinteiden kierto kasvien ja eliöiden sisällä ja maan välillä, 2) ilmakehästä tulevat ravinteet, 3) mineraalien rapautumisen kautta maahan tuleva ravinneisyys sekä 4) huuhtoutumisessa poistuvat ravinteet. Maahiukkasiin kiinnittyneet ionit muodostavat kasviravinteiden pääasiallisen varaston, mistä osa siirtyy kasvien saataville ioninvaihdon kautta (Trudgill 1977). Tämän tiedetään riippuvan mm. maan mineraalikoostumuksesta, happamuudesta ja ionipotentiaalista (Birkeland 1974).

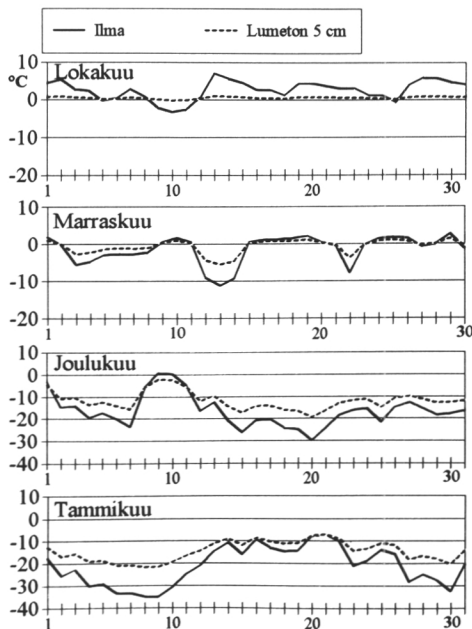
Talven 1986/87 jälkeen maa oli pitkään roudassa, jolloin alhaisen lämpötilan voitiin olettaa hidastavan ravinteiden liikumista ja mobilisoitumista maassa ja näin osaltaan vaikuttavan ravinnekiertoon maa–kasvi -systemissä. Kun tietoa ioninvaihdon lämpötilariippuvuudesta etenkin alhaisissa lämpötiloissa oli niukasti, ravinteiden uuttumisen lämpötilariippuvuutta tutkittiin juurten kylmästressikokeista maannoshorisonteittain.

5.2.2 Aineisto ja menetelmä

Näytteet kahdesta maannosprofiilista koealuetta kohti (Jämi, Sattanen, Hietaperä) otettiin elo–syyskuussa 1988 samanaikaisesti kuin muut koealojen maaperäkartoitukseen tarvittu näytteet. Ravinteiden uuttaminen tehtiin tuoreista, seulotuista (raekoko $<2\text{ mm}$) maanäytteistä maannosprofiilin kerroksista F+H, A_e, B_f ja C viidessä eri lämpötilassa (0, 12, 16, 20, 30 $^{\circ}\text{C}$). Uutosluoksena käytettiin



Kuva 33. Apukan ja Hietaperän lämpötilojen korrelaatio maan pinnassa sekä 5 ja 20 cm:n syvyydessä lumettomalla ja käsittelemättömällä ruudulla 14.-20.11.1989 ja 10.-16.12.1989. Perusyksikkönä on käytetty tunneittaisia mitattuja arvoja.



Kuva 34. Takautuvasti lasketut vuorokautiset keskilämpötilat ilmassa (2 m) ja 5 cm:n syvyydellä lumettomassa maassa loka-tammikuussa 1986-87 Hietaperällä.

hapanta (pH 4,65) ammoniumasetaattia. Uutos aika yhdessä lämpötilassa oli yksi tunti. Liuoksesta määritettiin K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn ja Al AAS-laitteella ja P molybdeenisäntimenetelmällä spektrofotometrisesti (Halonen ym. 1983). Tulokset on esitetty kahden rinnakkaisnäytteen keskiarvona.

5.2.3 Tulokset

Fosforin, raudan, mangaanin ja alumiinin pitoisuudet uutoliuksissa kasvoivat selkeästi, kun lämpötila nostettiin nolasta +12 °C:een ja vaihtelevasti aina 30 °C:een eri

kivennäismaakerroksissa (kuva 35). Humuskerroksen uutosluioksessa ainoastaan fosforin pitoisuus kasvoi lämpötilan kohotessa. Kalsiumin ja magnesiumin uuttumiseen lämpötila vaikutti vain lievästi, kaliumin ja sinkin kohdalla ei lainkaan.

Eri alueiden (Jämi, Sattanen, Hietaperä) toisiaan vastaavissa horisonttinäytteissä ravinteiden uuttumisen lämpötilariippuvuus noudatti suunnilleen samanlaista muotoa, joten eri horisonttien suhteen muodostunut kuva vahvistui. Selvimmin lämpötilan nousuun reagoineiden fosforin, raudan, mangaanin ja alumiinin pitoisuudet kasvoivat erityisesti B- ja C-horisonteissa.

Puiden elintoimintojen kannalta mielenkiintoisin havainto lienee fosforin hidas uuttuminen alhaisissa lämpötiloissa. Muiden analyysissä mukana olleiden ravinteiden saatavuuteen liittyvät rajoitukset heijastavat enemmän kasvupaikkojen alhaista ravinnetasoa (vrt. neulasten ravinnepitoisuudet, kappale 5.1.4.6) kuin ko. ravinteiden aktiviteetin vähäisyyttä alhaisissa lämpötiloissa. Kirjallisuudessa ravinteiden aktiviteetista ja pidätyksistä maahan lämpötilan funktiona on osin ristiriitaista tietoa (Barrow 1992). Lähellä nolla-astetta asiaa ei ole juuri tutkittu. Lämpötilan ja happamuuden ohella muodostuvaan tasapainotilaan liuos-maa-systeemissä vaikuttaa aika, joka uutuskokeissa oli suhteellisen lyhyt.

5.3 Neulasten poiston vaikutus männyn kehitykseen

5.3.1 Johdanto

Kesän 1987 neulaskadon yhteydessä esitettiin oletuksia, että pituuskasvun ja neulasten koon voimakas taantuminen neulaskatokesänä aiheutui nimenomaan suuresta neulasmenetyksestä. Hypoteesiksi muotoutui väite, että männyn neulasten poisto vaikuttaa saman kesän pituuskasvuun ja neulasten kokoon.

Neulasten määrän vähentämisellä pyrittiin aiheuttamaan neulaskatopuiden oireita.

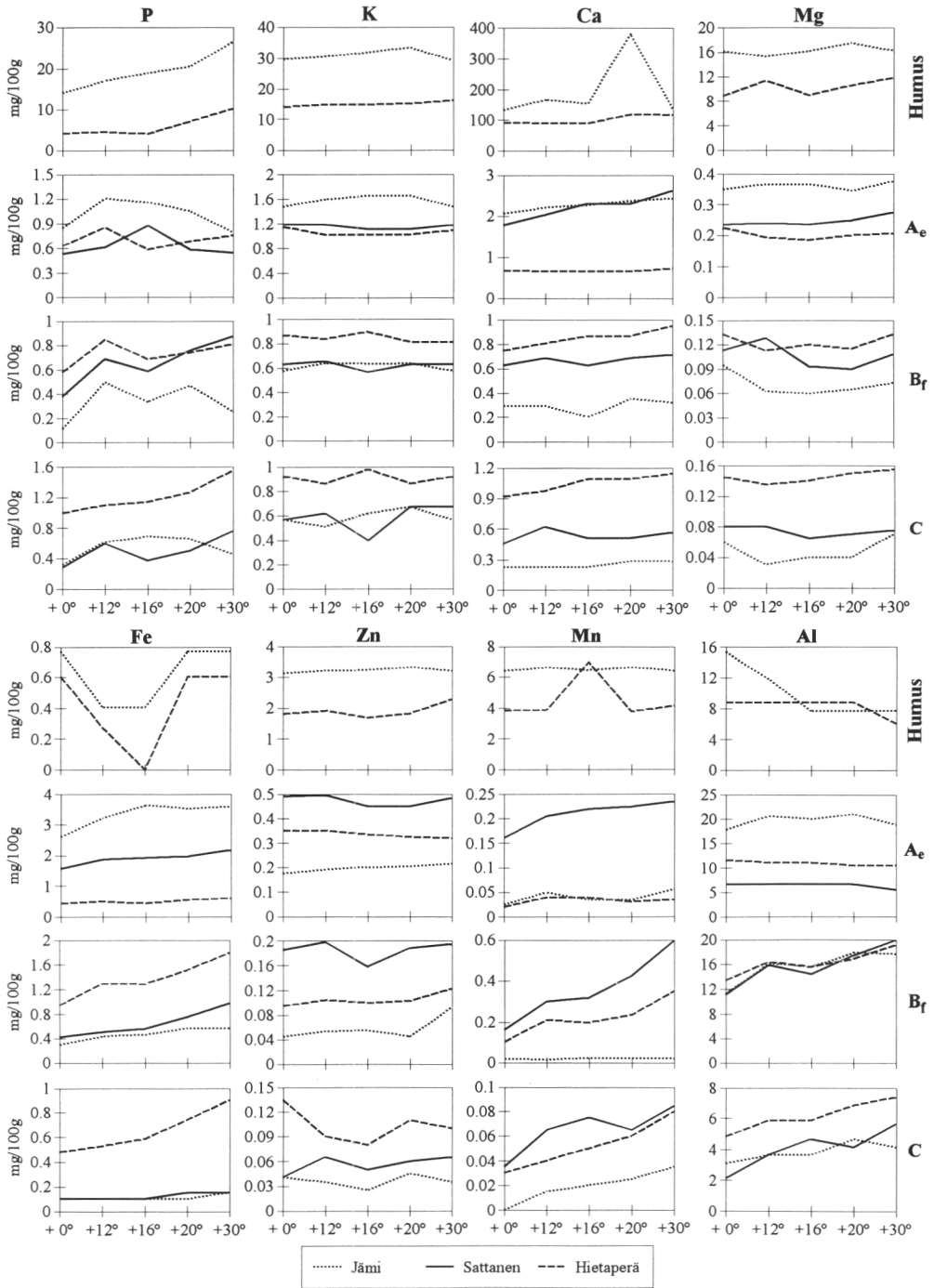
5.3.2 Aineisto ja menetelmä

Neulasten poistokoe perustettiin n. 35-vuotiaaseen, 1,5–5-metriseen taimikkoon, joka oli syntynyt luontaisesti lajittuneelle kuivalle kankaalle Kivalon tutkimusalueessa Rovaniemen maalaiskunnan Hietaperänkaalla (Hietaperä 1). Taimikossa todettiin heinäkuussa 1987 voimakas vanhojen neulasten kellastuminen.

Koe koostui 50 koealasta sisältäen kukin neljä koepuuta. Koepuiden tuli koealakohtaisesti olla kooltaan noin 2-metrisiä ja kunnoltaan niin terveen näköisiä kuin ne vuoden 1987 neulaskadon jälkeen saattoivat olla. Koska Hietaperänkaanan nuorten mäntyjen neulasvuosikertojen määrä oli 3–4 keväällä 1989, myös koepuissa tuli olla 3–4 vuosiker-tä ennen poistoa. Koealat sijoitettiin periaatteella, että koealan koepuiden täytyi olla enintään 5 metrin etäisyydellä toisistaan. Koealan neljä mäntyä käsiteltiin seuraavasti:

1. ei neulasten poistoa eli puihin jäi 3–4 neulasvuosikertaa (syntyneet vuosina 1985–1988) tai
2. poistettiin vanhimmat neulasvuosikerrat 3–4 eli puihin jäi 2 uusinta neulasvuosikertaa (syntyneet vuosina 1987–1988) tai
3. poistettiin vanhimmat neulasvuosikerrat 2–4 eli puihin jäi vain uusin neulasvuosikerta (syntynyt vuonna 1988) tai
4. poistettiin kaikki talvehtineet vuosikerrat 1–4.

Neulaset poistettiin käsin kaikista oksista ja latvasta koeala kerrallaan kahdessa erässä kahden kuukauden aikana v. 1989 seuraavasti: Ensimmäiset 20 koealaa perustettiin toukokuun 26. ja kesäkuun 14. päivän välisenä aikana (aika, mikä kului silmujen puhkeamisesta neulasten puhkeamiseen). 30 koealaa perustettiin kesäkuun 27. ja heinäkuun 28. päivän välisenä aikana. Näin ensimmäinen erä ajoittui vastaavalle kasvukauden jaksolle, jona aikana neulasten tila heikkeni ja johti kellastumiseen kesällä 1987 ja toinen erä



Kuva 35. Lämpötilan vaikutus ravinteiden uuttumiseen Jämin, Sattasen ja Hietaperän kahden profiilin maannos-horisonteissa. Sattasen profiileista humusnäytteet puuttuivat.

jaksolle, jolloin neulaskato ilmeni kellastumisena. Poistetut neulaset pudotettiin maahan.

Vuoden kuluttua koepuiden neulasvuosikertojen määrä laskettiin neljän oksan keskiarvona heinäkuussa ja syyskuussa 1990 mahdollisen neulaskadon havaitsemiseksi. Määrittystarkkuus oli 0,25 vuosikertaa. Syyskuussa 1990 mitattiin koepuiden pituudet, viiden viimeisen vuoden pituuskasvut 1986–1990 päärangasta ja oksien pituuskasvut 1987–1990 (yksi normaalisti kehittynyt oksa 5. oksakiehkurasta). Samoista oksista mitattiin vuosina 1987–1990 syntyneiden neulasten pituudet (25 kääpiöversoa/neulasvuosikerta). Koepuiden pituudet vaihtelivat välillä 1,3–2,2 m käsittelyttäisten keskiarvojen oltua keskimäärin 1,7–1,8 m koetta perustettaessa.

5.3.3 Tulokset

5.3.3.1 Neulasvuosikertojen määrä

Koepuissa ei todettu neulasten kellastumista keskellä ensimmäistä kasvukautta eikä sen lopulla. Toisen kasvukauden lopulla vanhimpia neulasia karisi eniten puista, joihin oli jätetty 4 vuosikertaa (0,9). Sen sijaan puut, joihin oli jätetty yksi tai ei yhtään vuosikertaa, lisäsivät neulastoaan kahdella vuosikerralla kahdessa kesässä (taulukko 18). Neulaspoisto ei siten aiheuttanut neulasten kellastumista keskellä kasvukautta.

Taulukko 18. Männyn neulasvuosikertojen määrä käsittelyttäin kaksi kasvukautta neulasten poiston jälkeen Hietaperällä.

Jätettyjä neulasvuosik.	Neulasvuosikertoja, kpl		Neulaskato, neulasvuosikertoja
	Heinäkuu 1990	Syyskuu 1990	
3–4	4,8	3,9	0,9
2	4,0	3,5	0,5
1	3,0	3,0	0,0
0	2,0	2,0	0,0

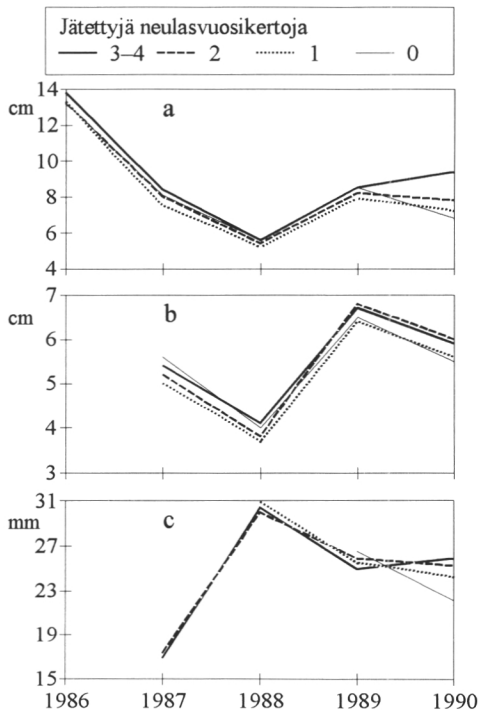
5.3.3.2 Puuston kasvu

Viiden viimeisen vuoden aikana koepuut kasvoivat latvastaan pituutta keskimäärin 8,6 cm vuodessa. Keskimääräiset vuotuiset pituuskasvut vaihtelivat kuitenkin paljon eli noin 6 cm:n minimikasvusta vuonna 1988 14 cm:n maksimikasvuun v. 1986. Siten tarkastelujakson aikana kaikissa puissa todettiin kesän 1987 neulaskatoilmiöön liittynyt, vuosina 1987–88 kulminoitunut kasvun syvä taantuma ja toipumisen alkua v. 1989. Neulaspoisto ei vaikuttanut saman vuoden kasvuun. Käsittelyttömät puut jatkoivat elpymistään kesällä 1990. Sen sijaan jo kahden vanhimman neulasvuosikerran poisto johti tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) pienempään kasvuun ja uuteen taantumaa, ja vuoden 1990 kasvu taantui sitä enemmän, mitä useampi vuosikerta poistettiin (kuva 36a). Voimakkaimpien käsittelyiden (puuhun jätettiin yksi tai ei yhtään vuosikertaa) ero käsittelyttömään oli erittäin merkitsevä ($p < 0,001$).

Oksat kasvoivat keskimäärin 5,4 cm/v vuosina 1987–1990. Myös oksien kasvun minimi oli vuonna 1988. Neulasten poistolla ei voitu hidastaa oksien pituuskasvua (kuva 36b). Yksikään koepuu ei kuollut neulasten poiston seurauksena.

5.3.3.3 Neulasten pituus

Vuosien 1987–90 keskimääräinen neulasten pituus oli koko aineistossa 24,4 mm. Selvästi lyhimmät neulaset (17,1 mm) syntyivät kesällä 1987 ja pisimmät (30,5 mm) seuraavana vuonna (1988) vuosien 1989 ja 1990 edustaessa lähinnä normaaleja pituuksia. Neulasten poisto ei vaikuttanut neulasten pituuksiin kesällä 1989, ja kesällä 1990 tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,001$) lyhyempiä olivat vain voimakkaimman käsittelyn mäntyjen neulaset (kuva 36c).



Kuva 36. Männyn kasvu vuosina 1986–1990 ja kasvukaudella 1989 toteutetun neulaspoiston vaikutus latvan (a) ja oksien (b) pituuskasvuun sekä neulas-pituuksiin (c).

5.4 Juurten vaurioittamisen vaikutus männyn kehitykseen ja ravinnetilaan

5.4.1 Johdanto

Vuoden 1987 Lapin neulaskadon yhteydessä todettiin juurivaurioita männynillä, jotka olivat kärsineet keskikesän neulaskadosta. Juurivaurioiden syyksi arveltiin lumettoman keski-talven 1986/87 kovia pakkasia, jotka olisivat vaurioittaneet etenkin elintoimintojen kannalta tärkeimpiä pintajuuria. Ravinteiden saannin vaikeutuminen maaperästä olisi johtanut niiden ottoon vanhimmista neulasista, mikä siten johti neulasten kuolemiseen ja neulaska-toon.

Tämän osatutkimuksen tarkoituksena oli tutkia hypoteesia, jonka mukaan juuriston vaurioittaminen kasvukauden alussa johtaa vanhojen neulasten ennenaikaiseen kellastu-miseen jo saman kasvukauden aikana riippu-matta tavasta, millä juurten toimintaa vaikeu-tetaan. Samalla myös pituuskasvut ja neulas-ten pituudet taantuisivat. Tässä työssä juuris-ton toimintaa heikennettiin supistamalla pinta-juuristoa.

5.4.2 Aineisto ja menetelmä

Koe perustettiin luvussa 5.3.2 kuvattuun taimikkokuvaioon (Hietaperä 1) toukokuun jälkimmäisellä puoliskolla vuonna 1990 heti, kun routa oli sulanut maanpinnasta 20 cm. Roudan sulaminen pysähtyiikin ko. syvyyteen lähes kuukaudeksi pitkän sateettoman kauden ajaksi.

Koe koostui 20 koelasta, joiden viisi kookkainta mäntyä valittiin koepuiksi. Näiden yhteensä sadan puun tuli olla lisäksi terveen näköisiä ja sisältää vähintään kolme neulas-vuosikertaa. Koepuiden vuosikertojen määrä oli toukokuussa 1990 pienimmillään kuitenkin vain 2,4 ja suurimmillaan 5,9 vuosikertaa. Koelalan männyt sijaitsivat aina viiden puun rypäässä siten, että puut eivät olleet aivan kiinni toisissaan, jolloin juurten leikkuu kohdistuisi mahdollisimman hyvin vain kyseisen männyn juuristoon. Koepuiden keskimääräinen minimietäisyys koelalla oli 2,5 m. Käsitellyt olivat seuraavat :

1. käsittelemätön, ei juurten leikkuuta;
2. pintajuurista katkaistiin 25 %, vaurioitettu juuristo pohjoisen ja idän välillä;
3. pintajuurista katkaistiin 50 %, kehän pohjoinen puolikas;
4. pintajuurista katkaistiin 75 %, vaurioittamatta jätettiin etelän ja lännen välinen alue, ja
5. kaikki pintajuuret katkaistiin puun ympäriltä.

Juuret katkaistiin lapiolla pystysuoraan yhden metrin etäisyydeltä rungosta ja runko keski-pisteenä maanpinnasta 20 cm:n syvyyteen toukokuussa 1990.

Kaikkien koepuiden neulastoa seurattiin kasvukauden ajan. Vuosikertojen määrät inventoitiin 15.6., 31.7.–1.8. ja 6.–7.9.1990. Syyskuussa mitattiin myös koepuiden pituudet, latvan ja oksien pituuskasvut viimeisten viiden tai kuuden vuoden ajalta sekä neulasten pituudet. Neulasto määritettiin 0,25 vuosikeran tarkkuudella neljästä 5. ja 6. oksakiehkuran oksasta, joista mitattiin myös oksien pituuskasvut ja kerättiin aineisto ravinneanalyysiin. Jos vuosikerroista saatiin riittävästi vihreitä neulasia, niistä määritettiin N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn ja B sekä tuhkapitoisuus. Typpi mitattiin Kjeldahl-menetelmällä ja kuivapolton jälkeen boori spektrofotometrillä ja muut alkuaineet plasmaemissiospektrometrillä (ICP/AES) (Halonen ym. 1983). Neulasten (25 lyhytversoa) pituudet mitattiin 6. oksakiehkuran yhden oksan pääranan jokaisesta neulasellisesta vuosikerasta. Kuivapainomäärittelyyn leikattiin kaikki 4. oksakiehkuran oksien kärkikasvaimet (3–5 kpl/puu). Näytteet, jotka koostuivat sekä versoista että neulasista, punnittiin tuoreena ja kuivaamisen (105 °C) jälkeen. Koepuiden keskipituus oli koetta perustettaessa 2,9 m (vaihteluväli 2,7–3,2 m).

5.4.3 Tulokset

5.4.3.1 Neulasvuosikertojen määrä

Vanhimpia neulasia alkoi kellastua heinäkuun puolivälissä puissa, joiden pintajuuria oli katkottu kaksi kuukautta aikaisemmin. Heinä-

kuussa neulasista kellastui 1,2–11,1 % (0,1–0,6 vuosikertaa) käsittelyvoimakkuudesta riippuen pienimmän arvon kuullessa käsittelemättömille puille (taulukko 19). Käsitteilyjen väliset erot olivat erittäin merkitseviä ($p < 0,001$). Kaikissa käsittelyissä oli vähintään yksi puu, josta neulasia ei kellastunut lainkaan heinäkuussa. Suurin heinäkuinen neulasmenetys oli 35,6 % vuosikerroista voimakkaimmassa käsittelyssä ja 14,7 % luokkaa lievemässä käsittelyssä. Kahden voimakkaimman käsittelyn neulasmenetykset olivat lähes 80 % kaikkien koepuiden neulasmenetyksistä.

Juurten leikkuu lisäsi merkitsevästi ($p < 0,001$) myös koko kasvukauden neulaspoistumaa (käsittelemättömän 0,7:stä voimakkaimman käsittelyn 1,4 vuosikertaan). Kesän 1990 aikana käsittelyiden 1, 2, 3, 4 ja 5 mäntyjen vihreistä neulasista (mukaan lukien kesällä 1990 syntyneet neulaset) kuoli syksyyn mennessä 14,9, 15,2, 20,2, 21,3 ja 27,6 %. Pienin yksittäispuun kokonaispoistuma (1,8 %) oli käsittelemättömässä ja suurin (44,5 %) voimakkaimmassa käsittelyssä.

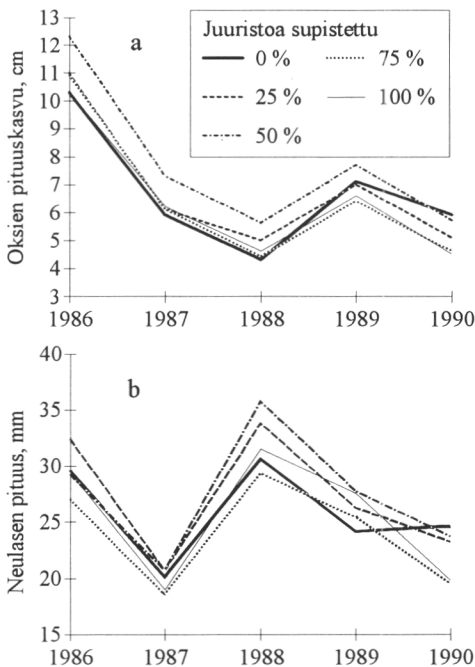
Keskimäärin koepuiden oksissa oli neulasvuosikertoja ennen kesän 1990 neulasten puhkeamista 3,9 kpl, heinäkuun alussa 4,9 kpl ja lopussa 4,6 sekä syksyllä 3,9 kpl. Tässä suhteessa käsitteletyt erosivat toisistaan: kun käsittelemättömien puiden talvinen vuosikertamäärä lisääntyi 3,8:sta 4,1:een, voimakkaimman juurikäsitteilyn puissa se väheni 4,0:sta 3,6:een.

Taulukko 19. Männyn neulasvuosikertojen määrä oksissa ja vanhimpien vuosikertojen poistuma kesällä 1990 eriaisteisesti juurivaurioitetuissa puissa Hietaperällä.

Juuristoa supistettu, %	Neulasvuosikertoja kesällä 1990, kpl				
	Kesäkuu yht.	Heinäkuun loppu		Syyskuu yht.	Neulaspoistuma yhteensä
		yht.	poistuma		
0	4,8	4,8	0,1	4,1	0,7
25	5,0	4,9	0,1	4,3	0,7
50	5,0	4,9	0,1	4,0	1,0
75	4,5	4,3	0,3	3,6	1,0
100	5,0	4,4	0,6	3,6	1,4

5.4.3.2 Puuston kasvu

Kun koko aineiston keskimääräinen pituuskasvu vuosina 1985–1986 oli 20,2–20,8 cm, vuosina 1987–1989 se oli vain 9,1–13,0 cm, mikä oli seurausta kesän 1987 neulaskatoon johtaneista syistä. Vaikka vuoden 1990 pituuskasvu pysyi edellisen vuoden tasolla käsittelemättömissä puissa, mutta oli vastaavasti 7–18 % pienempi kaikissa juuristoaan menettäneissä puissa, juurten katkonta ei kuitenkaan vähentänyt latvan pituuskasvua tilastollisesti merkitsevästi. Oksien pituuskasvu sen sijaan alkoi taantua merkitsevästi ($p < 0,001$) uudelleen kesän 1987 neulaskadon jälkeisestä toipumisesta juurten vaurioittamisen seurauksena kaikissa käsitellyissä (kuva 37a).

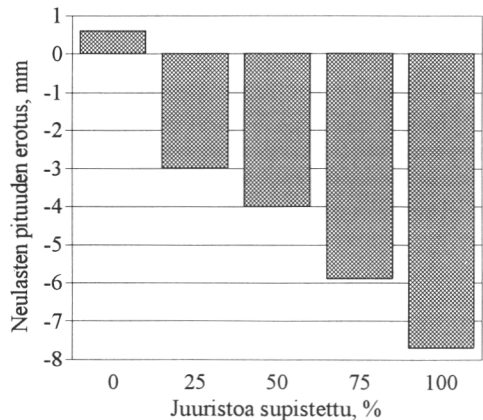


Kuva 37. Männyn oksien pituuskasvu (a) ja neulasten pituuden (b) vaihtelu vuosina 1985–1990 juurtenleikkukokeessa Hietaperällä. Juuria vaurioitettiin toukokuussa 1990.

5.4.3.3 Neulasten pituus

Vuosina 1986–1989 lyhimmät neulaset (keskiarvo 20,0 mm) syntyivät kesällä 1987 ja pisimmät (32,2 mm) kesällä 1988. Lähes yhtä pitkiä olivat v. 1986 syntyneet neulaset (29,4 mm). Neulasten koon vaihtelun voidaan katsoa olleen suurta, sillä neulasten keskimääräinen pituus vuonna 1987 oli 68 ja 62 % vuosien 1986 ja 1988 pituuksista. Vuonna 1990 ainoastaan käsittelemättömissä puissa neulasten pituudet olivat edellisen vuoden arvoja suurempia. Juuriston supistaminen johti pienempiin neulasiin ($p < 0,01$; kuva 37b). Kun vuoden 1990 neulaset olivat käsittelemättömissä puissa keskimäärin 24,6 mm, niin käsitellyissä 4 ja 5 vastaavat arvot olivat 19,5 ja 19,8 mm.

Myös vuoden 1989 neulasten pituuksiin verrattuna juurten katkonta heikensi neulasten kasvua vuonna 1990 merkitsevästi ($p < 0,001$) ja noin 2 mm jokaista pintajuuriston neljänneksen menetystä kohti. Käsitellyissä 5 neulaset olivat 7,7 mm lyhyempiä vuonna 1990 kuin samoissa puissa vuotta aikaisemmin (kuva 38). Jos oletetaan käsittelemättömien puiden perusteella, että ilman juurivaurioita



Kuva 38. Kasvukauden alussa 1990 toteutetun pintajuurten supistamisen vaikutus saman kesän neulasten pituuksiin suhteessa kesän 1989 neulasiin Hietaperällä.

neulaset olisivat kasvaneet vuonna 1990 hie-
man edellistä vuotta pidemmiksi, niin voi-
makkaimmassa käsittelyssä kokonaistaantuma
oli 8,3 mm. Kun vuoden 1989 neulasten kes-
kimääräinen pituus oli 6,2 mm pidempi kuin
v. 1987, niin kahdella voimakkaimmalla juur-
ten supistamiskäsittelyllä voitiin aiheuttaa ke-
sän 1987 neulaskadon kaltaisia kääpiöneu-
lasia.

5.4.3.4 Versojen kuivapainot

Juurten leikkuaan seurauksena vuoden 1990
kasvainten (neulaset + verso) kuivapainot
olivat seuraavat:

Juuristoa supistettu %	Verson kuivapaino, %	s.d.
0	42,9	2,4
25	44,2	2,9
50	43,8	2,5
75	44,5	3,9
100	44,9	2,5

Käsittelyiden välillä ei ollut tilastollisesti
merkitseviä eroja puukohtaisesti tarkasteltuna
(yllä, n = 29). Sen sijaan oksakohtaisessa
tarkastelussa (n vaihteli välillä 71–81) juuris-
ton supistaminen lisäsi merkitsevästi
(p < 0,001) versojen kuivapainoa.

5.4.3.5 Neulasten ravinnetila

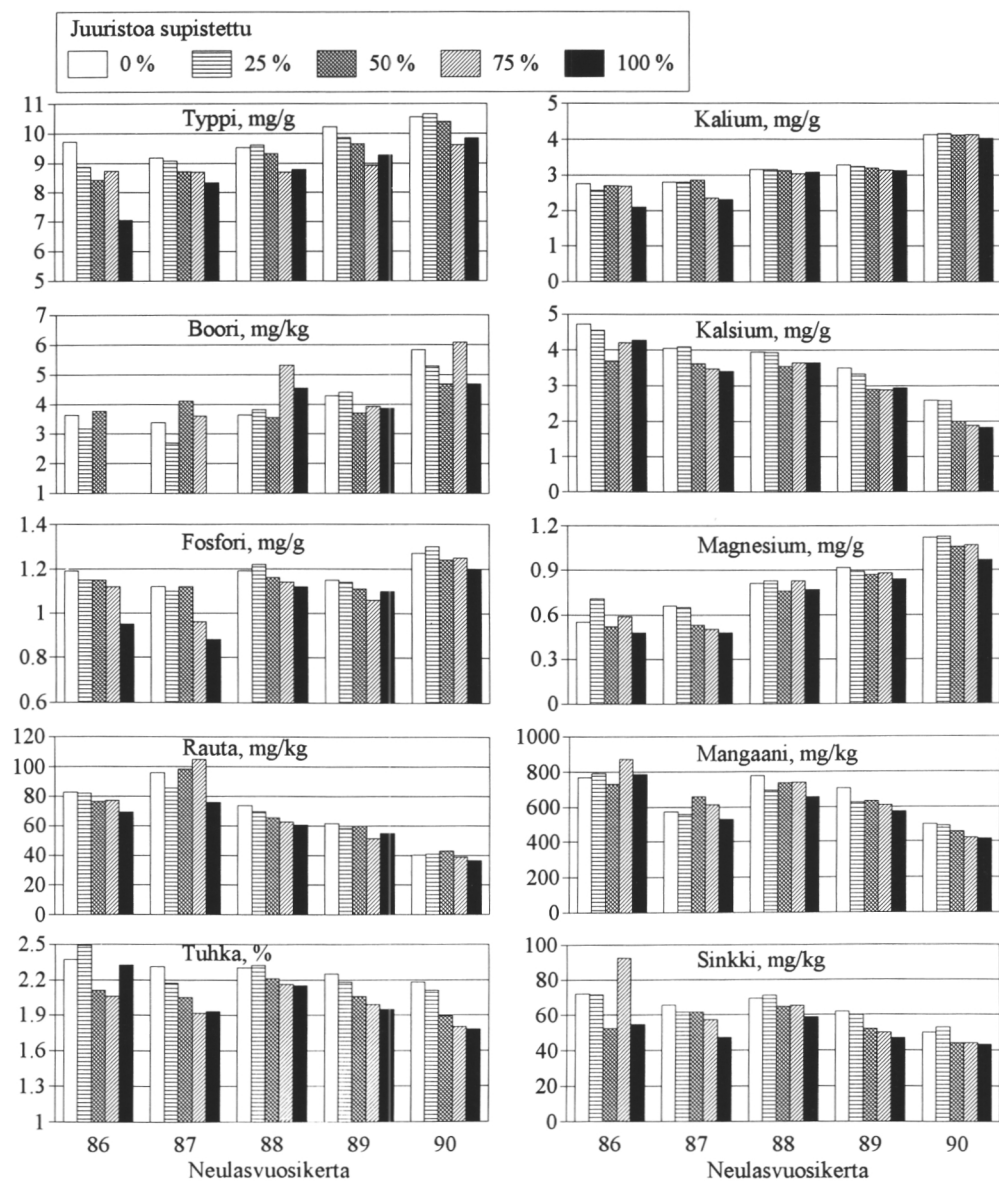
Juurten menetyksen lisääntyminen touko-
kuussa 1990 vähensi tilastollisesti erittäin
merkitsevästi neulasten syyskuisia typpi-,
kalsium-, sinkki- ja tuhkapitoisuuksia sekä
merkitsevästi fosforipitoisuuksia koko aineis-
tossa. Rautaan ja mangaaniin se ei vaikuttanut
(taulukko 20). Tarkasteltaessa yksittäisiä
neulasvuosikertoja juurten katkosta vähensi
typpipitoisuuksia kaikissa muissa neulasikä-
luokissa paitsi vuoden 1987 neulasissa.
Tuhka-, kalsium- ja sinkkipitoisuudet laskivat
sekä uusimmassa, käsittelyn jälkeen kasva-
neessa että 2. neulasvuosikerrassa (1989)
(taulukko 20).

Käsitlemättömissä puissa todettu neulas-
vuosikertojen välinen ero typpipitoisuuksissa
kasvoi sitä suuremmaksi, mitä enemmän
juuria oli katkottu. Viisi vuotta vanhoista
vuoden 1986 neulasista mitattiin vihreille
neulasille erittäin alhaisia typpipitoisuuksia
(ka. 7,1 mg/g), kun kaikki pintajuuret oli
katkottu (kuva 39). Vastaavissa käsitlemät-
tömien puiden neulasissa typpipitoisuus oli
9,8 mg/g kuiva-ainetta. Vastaavasti fosforipi-
toisuudet alenivat 1,19 mg:sta 0,95 mg:aan
grammassa kuiva-ainetta. Nuorimman neulas-
ikäluokan kaliumpitoisuus pysyi runsaassa 4
mg:ssa kuiva-ainegrammaa kohti käsittelystä
riippumatta. Käsittely ei vaikuttanut myös-
kään kahden seuraavaksi nuoremman neulas-
ikäluokan kaliumpitoisuuksiin (runsaas 3 mg/g).
Sen sijaan viidennen ikäluokan neulasten
kaliumpitoisuudet laskivat 2,75 mg:sta 2,09
mg:aan grammassa kuiva-ainetta, kun pinta-
juurista oli katkottu 100 % (kuva 39). Kal-
siumipitoisuudet jäivät erityisen alhaisiksi
(1,82 mg/g) uusimmissa neulasissa, kun juu-
rikäsittely oli 100 % verrattuna terveiden
puiden arvoon 2,60 mg/g kuiva-ainetta. Van-
himman ikäluokan käsitlemättömien pitoi-
suus oli 4,73 mg/g. Uusimman vuosikerran
magnesiumpitoisuudet alenivat käsittelyn tu-
loksena 1,12:sta 0,97 mg:aan grammassa
kuiva-ainetta. Alimmat magnesiumpitoisuudet
(0,48 mg/g) olivat vuoden 1986 neulasissa.
Käsitlemättömien puiden rautapitoisuus
vaihteli 82,7 mg:sta vuonna 1986 vuoden
1990 40,1 mg:aan kg kuiva-ainetta. Juurten
katkosta ei vaikuttanut vuosikertojen sisällä
boori- ja mangaanipitoisuuksiin (kuva 39).
Käsitlemättömien puiden sinkkipitoisuus
vaihteli 72,4 mg:sta (5. vuosikerta) 49,9
mg:aan kg kuiva-ainetta (1. vuosikerta), tuh-
kapitoisuus vastaavasti 2,37 %:sta 2,11 %:iin.

Eri neulasvuosikertojen ravinnepitoisuuksia
nuorimmasta (1990) vanhimpaan (1986) ver-
tailtaessa on havaittavissa joko selkeästi
laskeva (N, P, K, Mg, B) tai kohoava trendi
(Ca, Fe, Mn, Zn, tuhkapit.) (kuva 39). Eri-
tyisen mielenkiintoiseksi tarkastelun tekee
vuoden 1987 neulasvuosikerta neulaskato-
kesältä: sen ravinnepitoisuudet nimittäin

poikkeavat em. mallista selvästi joko ylöspäin (Fe) tai alaspäin (Mn, Zn) ja vähemmän selvästi alaspäin (Ca, Mg ja tuhkapitoisuus). Näistä magnesiumia lukuunottamatta ravinteet

ovat huonosti liikkuvia, vanhempiin osiin kertyviä. Ennen kaikkea niiden vähäisyys, mutta myös runsaus (Fe) viittaa häiriöihin ravinteiden saannissa kesällä 1987.



Kuva 39. Toukokuussa 1990 toteutetun juurten katkonnan vaikutus vuosina 1986–1990 syntyneiden männyn neulasten ravinnepitoisuuksiin syyskuussa 1990 Hietaperällä.

Taulukko 20. Tilastolliset merkitsevyydet juurten katkonnan vaikutukselle neulasten tuhka- ja ravinnepitoisuuksiin neulasvuosikerroittain ja koko aineistossa syyskuussa 1990 Hietaperällä. Juuristoa oli supistettu toukokuussa 1990. Merkitsevyydet: *** = $p < 0,001$, ** = $p < 0,01$ ja * = $p < 0,05$. Merkitsevyyden perässä oleva miinusmerkki tarkoittaa, että käsitellyn voimistuessa pitoisuus laski.

Neulasvuosikerta (synt.vuosi)	Tuhka-%	N	P	K	Ca	Mg	Fe	B	Mn	Zn
1 (90)	*** -	* -	ns	ns	*** -	ns	ns	ns	ns	** -
2 (89)	** -	** -	ns	ns	** -	ns	ns	ns	ns	** -
3 (88)	ns	* -	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
4 (87)	ns	ns	* -	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
5 (86)	ns	* -	ns	* -	ns	ns	ns	ns	ns	* ±
1-5	*** -	*** -	** -	ns	*** -	ns	ns	ns	ns	*** -

6 Tulosten tarkastelu

6.1 Neulaskatometsien tila

Kun vanhojen neulasten keltaisuus oli laajimmillaan ja voimakkaimmillaan loppukeksällä 1987, neulaston vihreyden puuttuminen oli huolestuttavaa. Kun männyistä kuolleet 1-5 neulasvuosikertaa olivat karisseet, puut olivat poikkeuksellisen harsuuntuneita, osa suorastaan kaljuja jouduttuaan vain pienikokoisten kesällä 1987 syntyneiden neulasten varaan. Sinänsä vähäneulasisuus lyhytaikaisena ilmiönä ei ole puulle kohtalokas, koska uusin neulasvuosikerta on yhteyttämiskyvyllään paras ja koska vanhimmat, jo yhteyttämistehonsa menettäneet neulaset eivät ole kuluttamassa vähentyneitä energiavaroja ja ravinteita.

Vaikka kesän 1987 kasvaimet ja niiden neulaset jäivät lyhyiksi, samoissa puissa todettiin toipumisen alkaneen kesällä 1988. Sen vuoden neulaset olivat erityisen pitkiä, vaikka niitä olikin vähän. Vähyys johtui kesän 1987 koleudesta ja neulaskatoon johtaneista tekijöistä: neulasten aiheet syntyvät edellisenä kesänä, kun taas neulasten pituuskasvun päävaikuttaja on saman kesän lämpö. Koska pituuskasvu oli alimmillaan kesällä 1988 kesän oltua kuitenkin lämmin ja kuiva, neulaskatokesän 1987 vaikutukset puuston

tilassa heijastuivat edelleen voimakkaasti puuston kasvussa.

Myös neulaspoistokokeen tulokset osoittivat sekä puiden taantumisen kesän 1987 neulaskadon seurauksena että alkavan toipumisen. Puiden eri vuosina tuottaman biomassan kuvaamiseksi kasvaimen pituus kerrottiin kasvaimen neulasten keskipituudella. Tämän karkean laskelman mukaan vuodet 1987-90 saivat arvot 890, 1190, 1670 ja 1420 mm² osoittaen puilla olleen vähiten resursseja kasvuun kesällä 1987. Tarkempaan ja oikeellisempaan tulokseen olisi päästy mittaamalla versojen kuivapainoja. Ongelma olisi siinä vain ollut, kuinka ylivuotisista versoista poistuneet ravinteet olisi otettu huomioon. Joka tapauksessa vuosien väliset erot versojen ja neulasten pituuksissa selittyvät osittain kasvukausien lämpösommilla yhtäältä verson kasvukesänä ja toisaalta neulasten syntyvuonna vuotta aikaisemmin.

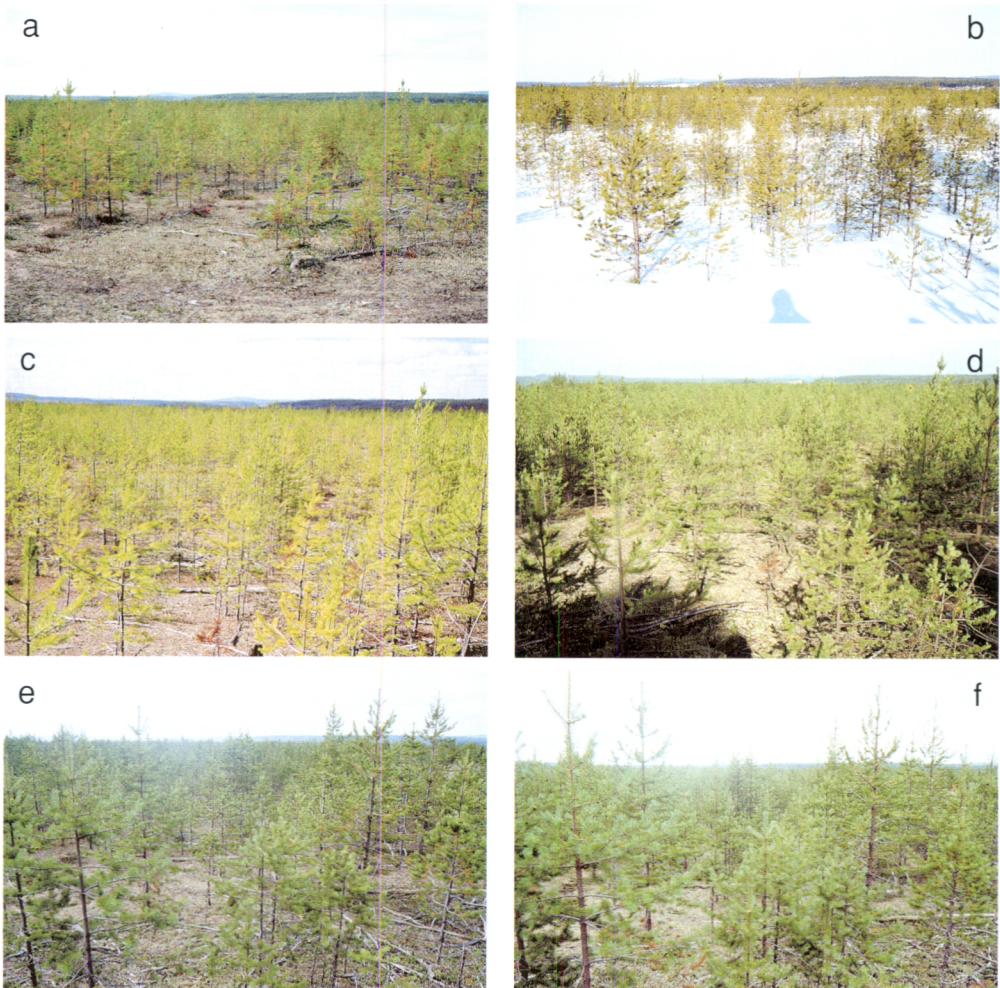
Kesällä 1988 alkanut mäntytaimikoiden tilan kohentuminen jatkui kesinä 1989-1994 niin puuston kasvun parantumisena kuin neulasvuosikertojen määrän lisääntymisenä ja normaalistumisena. Etenkin nuorten neulaskatomänniköiden toipuminen on ollut niin nopeaa, että metsiköiden yleisilmeestä ovat kadonneet neulaskadon jäljet (kuva 40a-f).

Vaikka toipumisen taustalla onkin ollut useita hyviä kasvukausia, toipuminen ei olisi voinut olla yhtä selkeää ja ripeää, jos neulaskadon aiheuttajana olisi ollut jokin jatkuvasti haitallisesti vaikuttava tekijä, esimerkiksi otsoni.

Neulaskatokankaiden varttuneet ja etenkin vanhat männiköt ovat toipuneet nuorempia hitaammin: niiden latvus vaikuttaa edelleen harsuuntuneelta. Näidenkin mäntyjen neulas-

vuosikertojen määrä on kuitenkin palautunut normaaliksi.

Neulaskatometsät selvisivät vähin seuraustuhoin. Kesällä 1987 sieltä täältä kuolleita yksittäisiä puita tai painanteiden puuryhmiä on pidettävä vielä itse neulaskatoilmiöön kuuluvina. Neulaskatoon johtaneet tekijät ovat olleet niin ankaria, että nämä puut kuolivat viimeistään kasvukauden alkaessa. Onkin



Kuva 40. Mäntytaimikon tila kesän 1987 neulaskadosta 1990-luvun elinvoimaisuuteen. Kuvat on otettu samalta kannolta samaan ilmansuuntaan Rovaniemen maalaiskunnan Hietaperänkankaalla (taustalla Kemijoen kanjoni). Kuvasajankohdat: 28.7.1987 (a), 19.4.1988 (b), 19.5.1988 (c), 16.6.1988 (d), 19.8.1991 (e) ja 18.8.1993 (f). Kuvat: Risto Jalkanen.

mielenkiintoista, että näin kuolleissa taimissa oli kesällä 1987 kaikki edellisen talven neulaset jäljellä. Tämä itse asiassa osoittaa, että neulasten keskikesäinen kellastuminen oli seuraus jostakin aiemmin tapahtuneesta primäärisestä ilmiöstä; neulaskato oli vain sen seuraus. Termin neulastuho sijasta onkin syytä käyttää termiä neulaskato. Näin neulasten kellastuminen keskellä kesää liittyy jotenkin puiden selviytymiseen.

Varsinaisia seuraustuhoksi luettavia puustokuolemia havaittiin kesällä 1988. Syy näihin oli heinäkuun 1988 ankara kuivuus (Kuu-kausikatsaus... 1988), mistä osa männyistä ei kyennyt selviytymään. Tämä viittaa selkeästi juuriston oleellisesti heikentyneeseen kykyyn toimittaa vettä vihreälle latvukselle. Kyse ei liene niinkään ongelmista juurten energian saannissa, sillä männyt, joiden tyvet on kaulattu, mutta joiden juuristoa ei ole vaurioitettu, pysyvät hengissä jopa 3–4 vuotta (Vitikka ym. 1991). — Kuolleen puuston sijainnin perusteella neulaskatoon johtaneet tekijät ovat olleet ankarimmillaan Kemijärven-Posion -alueella. Tähän viittaa myös paannejäätuhojen keskittyminen ko. alueelle (Jalkanen 1990). Paannejäätä syntyy pakkasella, kun lumi ei ole estämässä valueden jäätymistä.

Toinen seuraustuho oli männynlatvojen kuoleminen etenkin neulaskatokankaiden vähälumisissa ja ravinnepöyhissä osissa kuten kumpareilla ja harjanteilla. Kuivia latvoja syntyi etupäässä vuosina 1988–1990. Kuivalatvat olivat oireistoltaan kasvuhäiriötyypistä latvakatoa, mikä on yleisesti liitetty ainakin soilla ravinnetalouden ongelmiin (Raitio 1979). Tämä osoittaisi, että neulaskatokailla oli joko ravinteiden saatavuus tai juurten toimintakyky heikentynyt oleellisesti.

Neulaskatoisten ja vertailupuiden neulasten ravinneanalyysin perusteella syksyllä 1987 saatiin viitteitä ongelmista magnesiumin saannissa, koska uusimmissa neulasissa oli magnesiumia jopa vähemmän kuin vuotta vanhemmissa neulasissa. Mg-vajaus saattoi olla yhteydessä myös kylmään kesään 1987 sinänsä. Neulaskatoisten metsien pääravinteiden

analysointi syksyllä 1987 ei antanut kuitenkaan vastausta kuivalatvaisuuden kasvuhäiriöluonteeseen, sillä kasvuhäiriöt liittyvät tavallisesti hivenravinnepuutuksiin (Kolari 1979).

Puuston toipuminen neulaskadosta oli ennustettavissa mm. päätellen siitä, että männyn versojen ja neulasten kylmänkestävyys oli normaali syksyllä 1987. Kesän 1987 poikkeuksellisen alhainen lämpösumma ei siten näyttänyt vaikuttaneen puuston talvenkestävyyteen ainakaan Hietaperänkankaalla.

6.2 Ilman epäpuhtaudet ja neulaskato

Juuristressikokeiden märkälasseumamittaus-ten perusteella sadeveden mukana tuleva maata happamoittava tai saastuttava kuorma oli oleellisesti alhaisempi Hietaperällä ja Sattasessa kuin Jämissä. Tulokset vastasivat aiempia pitkäaikaisseurannan arvoja (Soveri & Ahlberg 1990, Anttila & Tähtinen 1992). Neulasten rikkipitoisuudet olivat normaaleja osoittaen yhdessä sadeveden alhaisten sulfaattiarvojen kanssa, että Hietaperän ja Sattasen saama rikkikuorma on ollut vähäinen.

Kohonneiden otsonipitoisuuksien tiedetään raunioittavan neulasten sisärakenteita ja siten johtavan neulasten iän oleelliseen lyhenemiseen. Otsonin osalta ei ole kuitenkaan osoitettavissa oleellista pitoisuuden nousua juuri ennen neulaskatoa aiempiin vuosiin verrattuna (Reissell 1990).

Kun neulaskatoa edeltävänä kesänä 1986 syntyneistä neulasista oli neulaskatopuissa jäljellä yli 80 % syksyllä 1989, runsaasti syksyllä 1991 ja jonkin verran vielä jopa syksyllä 1993, yksittäisissä puissa neulasikaluokkia oli syksyllä 1993 siten 6–8 kpl. Tämä määrä ylitti pohjoissuomalaisten mäntyjen vanhimpien neulasten keskimääräisen arvon, joka on noin 5 neulasikaluokkaa (Salemaa ym. 1991).

Vuoden 1986 neulaset eivät ole siten voineet olla poikkeuksellisen huonokuntoisia otsonin heikentäminä (vrt. Sutinen & Pesonen 1990). Hietaperällä sekä pelkästään luontaisen että myös kokeellisen neulaskadon kärsinei-

den mäntyjen neulasten hienorakenteista onkin löytynyt merkkejä ravinneperäisistä ongelmista (Fink 1990), vaikka toisaalta otsoninkaan osuutta ei ole oireistojen perusteella haluttu sulkea pois neulaskadon aiheuttajien joukosta (Holopainen 1990).

Ristiriidassa otsonihypoteesin kanssa on myös se tosiasia, että sekä aurinkoisen kevään 1988 (Kuukausikatsaus... 1988) että korkeiden keväisten otsonipitoisuuksien 1991 ja 1992 (Ruoho-Airola & Leinonen 1994) jälkeen ei syntynyt uutta neulaskatoa, vaikka sitä oli ollut runsaasti kesällä 1987 huolimatta sitä edeltäneestä erittäin pilvisestä keväästä (Kuukausikatsaus... 1987). Otsonipitoisuudet han ovat korkeimmillaan juuri kevätkuukausina (Ruoho-Airola & Leinonen 1994). Itse asiassa otsonin aiheuttamana neulaskadon pitäisi olla kasvukauden alussa eikä sen keskellä.

Neulaskatoalueen mäntyjen neulasten soluissa havaitut pienikokoiset viherhiukkaset ovat Sutisen ja Pesosen (1990) mukaan merkki spesifisestä otsonivauriosta. Koska tämän tutkimuksen tulokset ja mm. neulaskatometsien toipuminen osoittavat neulaskatoon johtaneiden syiden olleen tilapäisiä, muutkin syyt voivat siten aiheuttaa vastaavia vaurioita. Solukoihin vaurion jälkeen kasaantuneet suuret määrät tärkkelystä (Holopainen 1990) viittaavat nimittäin siihen, että puut eivät yksinkertaisesti kyenneet normaalisti siirtämään tärkkelystä juuristoon, yhteyttämistuotteiden pääkulutuspaikkaan. Tärkkelystä kasaantui neulasiin johtojänteiden vaurioiden (Fink 1990) takia niin paljon, että elävien neulasten väri oli paikoin oranssinen (Holopainen 1990). Tärkkelyksen kertyminen osoittaa myös, että Sutisen ja Pesosen (1990) havaitsemat pienet viherhiukkaset ovat olleet tehokkaita yhteyttämään.

Ilmeisesti neulasrakennetutkimukselta on toistaiseksi puuttunut kokonaisuudessaan neulasmateriaali sellaisista puista, joiden juurten toiminta on tavalla tai toisella rajoittunut. Näyttääkin ilmeiseltä, että Sutinen ja Pesonen (1990) ovat sekoittaneet otsonin aiheuttamat

muutokset sellaisiin oireisiin, jotka syntyvät, kun juuret vaurioituvat.

Juurten kylmästressikokeet perustettiin erillisiin laskeumaolosuhteisiin; erot Jämin ja toisaalta Hietaperän-Sattasen -alueen välillä osoitettiin tässäkin tutkimuksessa. Hypoteesi, että suuremman rikki- ja typpilaskeuman sekä otsonipitoisuuden alueella (Jämi) juurten kylmäaltistus johtaa tausta-alueella (Hietaperä ja Sattanen) merkittävämpään neulaskatoon, kumoutui: altistettuihin mäntyihin kohdistunut heinäkuinen neulaskato kesällä 1989 oli selvästi voimakkaampaa Pohjois-Suomessa kuin Jämillä. Tulokseen on voinut vaikuttaa puiden tila kesän 1987 neulaskadon jäljiltä. Toisaalta kokeellinen altistus antoi saman tuloksen niin neulaskatoalueella (Hietaperä) kuin sen ulkopuolella (Sattanen), mikä viittaa kylmästressin merkittävyyteen neulaskadon aiheuttajana verrattuna epäpuhtauksiin.

Kun tarkastellaan neulaskatoalueen luonnon tapahtumia kokonaisuutena (tuhot pelloilla, taimitarhoilla, kasvipeitteessä jne.), ei ole epäilystäkään siitä, etteikö kaiken takana olisi ollut kylmyysvauriot. Ilman epäpuhtauksilla ei voida selittää kaikkia vaurioita, jotka selvästi liittyvät paitsi toisiinsa niin myös neulaskatoalueeseen ja vähäiseen lumisuojaan.

6.3 Juurten kylmästressi ja neulaskato

6.3.1 Koejärjestelyt

Järjestelyiltään käytetty kasvihuonetekniikka soveltui erinomaisesti kokeelliseen talviekologiseen tutkimukseen ja talven 1986/87 kaltaisten olosuhteiden vaikutusten tutkimiseen. Rakennelmat olivat halpoja ja kohtalaisen helppo toteuttaa. Lumi voitiin pitää pois katoksista, missä ilman lämpötila pääsi kuitenkin vaihtelevaan ympäröivän ilman lämpötilan mukaan. Katoille kertynyt lumi tosin lisäsi työtaakkaa ajoittain. Siltä olisi välttytty, jos kattokulmaa olisi jyrkennetty.

Jämissä puusto, joka mahtui hyvin kasvihuoneiden alle, oli kooltaan ja rakenteeltaan

yhtenäistä. Sen sijaan etenkin Hietaperällä, mutta myös Sattasessa koejärjestelyiden ongelmana oli taimien ryhmittäisyys ja riittävän koepuumäärän turvaaminen. Siksi koealojen paikkoja jouduttiin valikoimaan niin, että katokset sijoittuivat keskimääräistä pienempään puustoon. Tämä haittasi kuitenkin lähinnä käsittelyjen välisten absoluuttisten erojen tulkintaa eräiden muuttujien suhteen, ei itse ilmiön tutkimista.

Niin ko. kasvihuonetekniikan kuin muunkinlaisen kokeellisen talviekologisen tutkimuksen keskeisenä heikkoutena on se, että kovia pakkasia ei voida järjestää. Tässä suhteessa tutkimustalvet olivat toivottua lauhempia. Vaikka ilman lämpötila laskikin talvella 1988/89 kylmimmillään -41 asteeseen Sattasessa ja -39 asteeseen Hietaperällä ja talven 1987/88 esikokeessakin -29 asteeseen, erityisesti maan lämpöolojen tutkimuksessa ongelmana on kylmän jakson pituus. Osa koejäsenistä jäi toteuttamatta sen takia, että altistukseen sopivaa kylmää jaksoa ei ollut säätiedotuksen luvassa keskellä talvea tai sellainen ei toteutunut kevättalvellakaan. Mm. lumen äkillinen poisto kylmän kauden aikana juurten nopeaksi altistamiseksi jäi siten pois. Tällaisen kokeen järjestäminen olisi kuitenkin mielekästä mm. sen takia, että porot jäkälää kaivaessaan ja suurina laumoina palkiessaan muuttavat hyvässä lumisuojaissa olleen maanpinnan lämpötilaa.

6.3.2 Maan lämpötilan mittaus ja lämpöolot

Maan lämpöolojen mittauksessa käytettiin perinteisiä tarkkuuselohepeamittareita varmistamaan mittaustulosten saanti ainakin manuaalisella tasolla. Esikokeessa käytetty automaattinen tiedonkeruulaite toimi kuitenkin moitteettomasti, vaikkakaan se ei tarjonnut riittävästi kanavia käyttöön. 16 kanavalla lämpötilaa taltiointiin Grant-tiedonkeruulaite sen sijaan ei ollut yhtä varmatoiminen. Mittaus-toimintaan tuli katkoksia monestakin syystä. Talviekologista tutkimusta metsäoloissa aja-

tellen näistä ehkä ongelmallisimman oli lämpötilarajoitus: valmistaja lupaa laitteen toimivan 30 asteen pakkasessa. Käytännössä laite lakkasi rekisteröimästä lämpötiloja, kun lämpötila laski lähelle 40 pakkasastetta. Tässä suhteessa nykyiset mallit lienevät varmatoimempia. Joka tapauksessa laitteiden mitaustarkkuus oli hyvä, ja todelliset lämpöolot samanaikaisesti niin ilmassa kuin maassa tulivat hyvin rekisteröidyiksi.

Tutkimustulokset osoittivat, että lajittuneella hiekkakankaalla maa voi jäähtyä hyvinkin kylmäksi, jos lumi ei suojaa maata kovan pakkasjakson aikana. Jos ilman lämpötila on noin -40 astetta, 5 cm:n syvyydessä hiekkamaassa lämpötila on vain noin 10 astetta korkeampi. Näin alhainen maan lämpötila ei liene kuitenkaan mahdollista vielä syksyllä maan suuren lämpövaraston ja alhaisen lämpötilajaksojen lyhytkestoisuuden takia. Kun ilman lämpötila laski talvella 1988/89 noin 40 pakkasasteeseen Sattasessa, maa 5 cm:n syvyydessä todella kylmeni alimmillaan lähelle -29 °C:ta. Tällaisia lämpötiloja ei ole aiemmin mitattu, mutta kirjallisuudesta ei löydy mainintoja vastaavasta neulaskadosta-kaan. Juurten tiedetään talvella vaurioituvan jo -10 °C:ssa (Lindström & Nyström 1987).

6.3.3 Luontaisen neulaskadon ja kokeellisen juuristressin oireiden yhtäläisyys

Esikokeen juurten kylmästressillä pystyttiin kokeellisesti aiheuttamaan vanhimpien neulasten kellastuminen heinäkuun alussa täsmälleen samana ajankohtana kuin oli tapahtunut luontaisesti vuotta aikaisemmin Lapin neulaskadossa. Poikkeavuuteen neulaskadon suuruudessa lienee vaikuttanut keskeisesti se, että ennen kokeellista stressiä männyissä oli vähemmän vuosikertoja ja siten keskimäärin nuorempia neulasia kuin ennen luontaista stressiä. Toisaalta puusto ei ollut ilmeisesti kuitenkaan toipunut kesällä 1987 ilmenneistä ongelmista, koska esikokeen käsittelemättömän ruudun puut menettivät vanhoja neulasia

toistamiseen keskellä kesää, tosin vain 0,1 neulasvuosikertaa. Varsinaisessa juuristressikokeessa koejärjestelyt olivat monipuolisemat kuin esikokeessa. Molemmissa kokeissa tulokset olivat kuitenkin yhteneviä.

Kokeellisella juuristressillä pystyttiin tuotamaan myös muut Lapin neulaskatoon 1987 liittyneet oireet kuten lyhyet neulaset ja kasvaimet, puiden kuoleminen ja kuivalatvaisuus (ks. kappale 3.1). Oireet eivät olleet kuitenkaan aina yhtä voimakkaat eri alueilla ja eri aikoina toteutetuissa kokeissa. Tähän lienee voimakkaimmin vaikuttanut puuston tila yhtäältä ennen neulaskatoa syksyllä 1986, neulaskadon jälkeen syksyllä 1987 ja toisaalta lämpimän kesän 1988 jälkeen, jolloin neulaskatometsät olivat alkaneet näkyvästi toipua. Myös kesän 1990 suotuisat olosuhteet olivat männyn toipumiselle eduksi.

Esimerkiksi neulas- ja versotunnusten perusteella neulaskadon aiheuttaneet tekijät ovat kohdelleet selvästi voimakkaammin Hietaperää kuin Sattasta. Tästä on pääteltävissä, että Lapinkin sisällä karut hiekkakan-kaat ovat olleet ympäristötekijöiltään erilaisessa asemassa ennen neulaskatokesää 1987 ja että nimenomaan Sattanen on kärsinyt ko. tekijöistä merkittävästi vähemmän kuin Hietaperä. Kaikista vähiten kesän 1987 ongelmia näyttäisi heijastelevan Jämin koemetsikkö. Tekijät, mitkä johtivat neulaskatoon Lapissa, lienevät olleet neulasoa ajatellen merkittäviä myös neulaskatoalueen ulkopuolella: niin Pohjois- kuin Etelä-Suomessakin runsas neulaspoistuma kesällä 1987 ajoittui vain kesäkesän sijasta loppukesälle.

6.4 Puiden ravinnetalous ja neulaskato

Lumettomuus vaikutti oleellisesti puiden käytössä oleviin ravinteisiin. Lumen poisto lisää typen saatavuutta ilmeisesti sen takia, että maa on paljaana pidempään ennen kasvun alkamista. Maanpinta lämpenee kuten toisaalla on osoitettu, aikaisemmin, mikä taas

lisää maan mikrobien toimintaa sekä ravinteiden mineralisaatiota ja liikkuvuutta. Koska neulasten ravinnepitoisuudet tunnetusti vaihtelevat myös eri vuosien välillä, tuloksien perusteella varhainen kevät ja maan paljastuminen ja toisaalta sula maa lumen alla edistävät puiden ravinteiden saantia. Edellä kuvattu vaikutus oli mitä ilmeisimmin myös olkipeitteellä, jonka seurauksena mäntyjen neulasista tuli suuria ja tumman vihreitä. Syy lienee maan talvisen lämpötilan kohoamisessa, mutta mahdollisesti myös oljista liuenneissa ravinteissa. Massiivisen roudan ruudulla lämpötilan hitaampi kohoaminen keväällä lienee johtanut päinvastaiseen reaktioon eli ravinteiden saatavuuden vaikeutumiseen. Ravinteiden huonosta liikkuvuudesta kylmässä maassa saatiinkin viitteitä kokeellisessa uutostutkimuksessa.

Puiden ravinnetalouden suhteen kevät ja alkukesä 1987 olivat kuitenkin erilaiset kuin myöhempanä koejaksona. Tuolloin nimittäin neulaskato oli paljon merkittävämpää kuin yhdessäkään kokeessa myöhemmin. Tämä lienee johtunut paitsi suuremmasta neulasvuosikertamäärästä ongelman syntyhetkellä, myös runsaasta pintajuuriston supistumisesta, jolloin puiden ravinteiden saanti maasta vaikeutui. Kokeellisen toiminnan ruuduilla pintajuuristo oli jo supistunut, jolloin uusi kylmästressi ei pystynyt enää yhtä merkittävästi juurituhoon.

6.5 Neulaspoisto

Uudet neulaset kehittyivät normaalin mittaisiksi samana kesänä huolimatta siitä, kuinka monta neulasvuosikertaa puista oli poistettu. Vasta toisena kesänä neulaspoistosta sekä neulasten että latvakasvaimen kehitys jäivät käsittelemättömästä jälkeen. Kun kesän 1987 neulaskatopuille oli tyypillistä myös oksien kasvainten jääminen lyhyiksi, kokeellisella neulaspoistolla sitä ei saavutettu. Siten kesän 1987 neulasten ja kasvainten lyhyys ei voinut johtua pelkästään saman kesän neulasmene-

tyksestä, vaan ilmiöön on täytynyt olla vaikuttamassa muitakin syitä. Juurten vajaa-toiminnan ohella huonoa kasvua kesällä 1987 selitti luonnollisesti ko. kesän lyhyys ja alhainen lämpösusma.

6.6 Juurten katkonta

Männyn pintajuurten keinollinen vaurioittaminen osoittautui helpoksi, nopeaksi ja luotettavaksi tavaksi tutkia juurten kunnon ja neulasmassan välisiä riippuvuuksia erityisesti, koska maalaji oli lajittunutta hiekkaa. Koejärjestelyjen avulla voitiin osoittaa, että juuriston supistuminen lisäsi puiden harsuuntumista. Tuloksissa oli merkittävää mm. se, että juurten katkonnalla aiheutettiin kesän 1987 neulaskadon kaltainen vanhojen neulasten kellastuminen heinäkuussa. Syy kesän 1987 neulaskatoa vähäisempään tasoon lienee ollut se, että neulasvuosikertoja oli enemmän keväällä 1987 kuin 1990. Myös pintajuuristo lienee ollut vielä supistunut neulaskatoon 1987 liittyen. Tulosten perusteella juurten katkonta taannutti myös sekä oksien että neulasten kasvua, mikä oli tyypillistä männyllä kesällä 1987. Latvan pituuskasvu ei sen sijaan taantunut. Tähän voi olla osaselityksenä viive kasvureaktiossa, mikä on aiemmin osoitettu kesän 1987 neulaskadon osalta.

Juurten katkontakokeeseen valittujen koe-puiden vuonna 1988 syntyneiden neulasten pituus poikkesi vain vähän vuoden 1986 arvoista. Neulaskatoalueellahan vuoden 1988 neulaset olivat yleisesti muita pidempiä. Syy poikkeavuuteen lienee siinä, että koeput edustivat metsikön kookkaimpia puita, joilla on suurempi ja mahdollisesti myös syvempi juuristo kuin pienemmillä puilla samassa metsikössä. Näin ollen ko. puut lienevät reagoineet keskimääräistä vähemmän niihin tekijöihin, jotka johtivat neulaskatoon kesällä 1987.

Puut voivat harsuuntua hyvinkin voimakkaasti ja jopa kuolla juurivaurioiden takia. Koska juuriston supistaminen tuotti samat,

vuoden 1987 Lapin neulaskadolle keskeiset oireet, on vaikea päätyä muuhun johtopäätökseen kuin, että juurten vaurioituminen on ollut keskeinen syy Lapin neulaskatoon.

6.7 Jäkäläpeite ja neulaskato

Juurten kylmästressikokeet toteutettiin paitsi laskeumaoloiltaan niin myös maanpintaa suojaavan pintakasvillisuuden suhteen erilaisilla alueilla. Jämi sijaitsee poronhoitoalueen ulkopuolella, minkä ansiosta siellä oli paksu ja yhtenäinen jäkäläpeite. Sen sijaan poronhoitoalueella Hietaperällä ja Sattasessa jäkäläpeite oli erittäin ohut tai sitä ei ollut lainkaan (kuva 41). Jäkäläpeitteen ja humuksen kulu-neisuudesta päätellen alueet ovat olleet pitkään tehokkaasti laidunnettuja.

Lumen ja jäkäläpeitettä jäljittelevän olkikerroksen alla maa oli talvella selvästi lämpimämpää kuin pelkän lumen alla, ja kaikista kylmintä oli lumettomassa maassa. Paksukaan jäkäläkerrosta ja olkipeitettä luonnossa ei voi täysin rinnastaa toisiinsa vain lämmönjohtavuuden perusteella. Yhdenkin senttimetrin paksuinen lumipeite — tai kuurakerros talven 1986/87 tapaan — ehjän jäkäläkerroksen päällä sulkee alleen lämmön siirtymistä hidastavan ilmapatjan. Tämä hidastaa maan kylmenemistä talvella. Jäkäläpeitteen puuttumisen merkitys korostuu juuri loppusyksystä ja alkutalvesta, jolloin on yleisesti vähän lunta. Tässä tutkimuksessa maa kylmeni nopeasti alkutalvella lumettomassa maassa. Lumen tultua lämpötila alkoi hitaasti kohota ja tasaantua.

Erityisen kuvaava esimerkki poron vaikutuksesta maan lämpötilaan saatiin Sattasen olkiruudulla, missä poro kaivoi olkea joulukuussa 1988: muutoin tasainen lämpötila oljen alla laski lyhytaikaisesti noin 5 astetta.

Tässä tutkimuksessa määritellyn neulaskatoalueen eteläraja (ks. kuva 5) kulki suurin piirtein poronhoitoalueen etelärajalla. Ko. rajojen eteläpuolinen alue aina Keski-Pohjanmaalle saakka oli vähälumista tai lume-

tonta joulukuussa 1986 Etelä-Lapin tapaan. Keskikesän 1987 neulaskato ei kuitenkaan ulottunut Oulun seudulle, saati siitä etelään, missä poronjäkälämaat ovat hyväkuntoisia. Lämpöoloiltaan alueet olivat kuitenkin verrattavissa toisiinsa talvella 1986/87.

Projektissa keskityttiin vain talvisten olojen seurantaan. Kun työssä kävi kuitenkin ilmi jäkäläpeitteen ohuus ja sen seurauksena humuskerroksen 'tekeytyminen' ja erodoituminen, tällä arvellaan olevan vaikutuksensa männyn elinolosuhteisiin myös kesällä. Aurinkoisena kesäpäivänä jäkäläpeitteen puute

nostaa tummapintaisen humuksen lämpötilaa huomattavasti verrattuna vaaleaan jäkäläkerrokseen, joka sitä paitsi on hyvä kosteuden pidättäjä. Juuriston ja sienirihmaston täytyy ottaa ravinteita ja vettä ohuesta humuskerroksesta, joka kuivumisalittiina vaikeuttaa ko. toimintaa. Juuret joutuvat hakeutumaan myös syvemmälle maahan, missä ei ole yhtä paljon ravinteita kuin humuksessa. Toisaalta jäkäläpeitteen ohuus edistää ravinteiden huuhtoutumista alueilla, missä hapan laskeuma on ongelma.



Kuva 41. Jäkäläpeite poronhoitoalueella (osa juurten kylmästressiroutua Hietaperänkankaalla heinäkuussa 1988) (a) ja sen ulkopuolella Sotkamossa (elokuussa 1990) (b). Kuvassa (a) näkyy myös pakkasen aiheuttamia kasvipeitevaurioita variksenmarjalla. Kuvat: Risto Jalkanen.

7 Johtopäätökset

Ilman talvista lumisuojaa maa kuivalla mäntykankaalla saattaa Pohjois-Suomen ilmastossa kylmetä yli sen rajan, minkä männyn juuret kestävät. Pahin yhdistelmä on lumeton keskitalvi kovine pakkasineen, mikä on kuitenkin harvinainen, mutta kuten talvi 1986/87 osoitti, ei aivan mahdotonkaan tapaus.

Normaalilumisena talvena puiden juurten riski kärsiä kylmävaurioita on suurin marras-joulukuussa, jolloin kylmän ilman ja vähälumisyyden yhdistelmä on todennäköisin. Itse

asiassa juurten lievä vaurioituminen saattaa olla yleistäkin ja toistua etenkin sellaisina syksyinä, kun maa routaantuu ilman lumipeitettä.

Maa jäähtyy nopeimmin pinnasta ja sitä suuremmalla viiveellä, mitä syvemmästä maakerroksesta on kyse. Lumen syvyyden kasvuaessa maan lämpötila tasaantuu ja alkaa kohota kevättä kohti riippumatta ilman lämpötilan vaihteluista. Keväällä pinta lämpenee syvempiä kerroksia nopeammin.

Märän maan jäätyminen eli ns. massiivisen roudan synty tehostaa juurten kylmästressiä samalla, kun juurten hapen saanti voi vaikeutua myöhemmin keväällä.

Männyn juurten altistaminen kylmälle johtaa niiden vaurioitumiseen. Vaikka juurten vaurioitumisen rajalämpötiloja ei tässä tutkimuksessa määritetty, keskitalvella 5 cm:n syvyydessä maassa saavutettiin helposti 20 asteen pakkanen, mikä on kirjallisuuden perusteella turmiollinen herkimmille juurille. Alimmillaan lumettomana pidetyn maan lämpötila 5 cm:n syvyydessä laski lähelle -29°C talvella 1988/89.

Juurten altistaminen kylmälle talvella aiheutti ennenaikaisen neulaskadon heinäkuussa. Kokeellisesti voitiin tuottaa myös muut Lapin neulaskatoon 1987 liittyneet oireet kuten lyhyet neulaset, kuivalatvaisuus ja puiden kuoleminen sekä kasvipeitevaurioita.

Myös juurten katkonta aiheutti ennenaikaisen neulaskadon sekä oksien ja neulasten kehityksen hidastumisen jo samana kesänä. Sen sijaan pelkkä neulasvuosikertojen vähentyminen tai keinollinen vähentäminen ei johda kasvainten ja neulasten taantumiseen vielä samana vuonna.

Männyn latvus harsuuntuu, jos sen juuriston toiminta vaikeutuu tai juuristo vaurioituu. Näin ollen esim. isommilla taimilla siirtoistutuksen jälkeen havaittava neulasten kellastuminen on seurausta juuriston supistumisesta. Mauri-myrskyssä 1982 osa puista on ollut lähellä kaatumista. Ne ja osittain myös muut männyt ovat saaneet juurivaurioita, mikä on harsunnuttanut puita. Myös siemen-

puualojen maanmuokkauksella on täten vaikutuksensa latvuksen tilaan.

Olkipeite lumen alla pystyy pitämään maan lämpötilan vain muutamia asteita nollan alapuolella; pelkän lumipeitteen alla maa jäähtyy selkeästi kylmemmäksi. Olki hidastaa maan jäähtymistä erityisesti syksyllä.

Koska neulaskatokankailta puuttui niille luontaisesti kuuluva jäkäläpeite, sen puuttumisen arvellaan edistäneen maan jäähtymistä alkutalvesta 1986/87, ja siten voimistaneen neulaskatoa ja puiden harsuuntumista kesällä 1987. Koska jäkäläpeitteen ohuus vaikeuttanee myös ravinteiden ja veden saantia kesällä, näiden tekijöiden arvellaan pitkäaikaisena ympäristömuutoksena heijastuvan puiden terveydentilaan karuimmilla mäntykankailla.

Neulaskatoon johtaneet tapahtumat olivat seuraavat: Talvella vaurioituneen juuriston takia puiden veden ja ravinteiden saanti vaikeutui. Ravinnetarpeensa tyydyttämiseksi mänty alkoi kasvukauden alussa ottaa ravinteita vanhimmista neulasista, mikä johti näiden neulasten ennenaikaiseen kellastumiseen ja karisemiseen keskellä kesää. Neulaskatoalueen männyt pelastuivat juuristonsa supistumisesta käyttämällä ravinteita maanpäällisistä osistaan.

Suuri osa neulaskatoalueen männyistä (noin miljoonan hehtaaria) olisi kuitenkin voinut kuolla, jos äärimmäisen lyhyt ja kylmä kesä 1987 olisikin ollut kesän 1988 kaltainen kuuma ja kuiva.

Ilman epäpuhtauksilla ei ollut merkittävää osuutta Lapin neulaskadossa. Etenkin nuorten mäntyjen toipumisnopeus osoittaa neulaskadon aiheuttaneiden tekijöiden olleen tilapäisiä.

Viitteet

- Airaksinen, K., Jalkanen, R., Niska, K. & Ritari, A. 1989. Cold stress of roots and defoliation of Scots pine. International Congress on Forest Decline Research: State of Knowledge and Perspectives, Lake Constance, FRG, Oct 2–6, 1989. Poster Abstracts, vol. I: 173–174.
- Anttila, P. & Tähtinen, M. 1992. Rikki- ja typpi-laskeuman kehitys Suomessa 1980–1990. Raportteja 1992: 2. 27 s.
- Barrow, N.J. 1992. A brief discussion on the effect of temperature on the reaction of inorganic ions with soil. *J. Soil Sci.* 43: 37–45.
- Bergmeyer, H.U. 1974. Methods of enzymatic analysis. 2nd ed., vol 3. New York – London.
- Birkeland, P.W. 1974. Pedology, weathering, and geomorphological research. Oxford University Press, New York. 285 s.
- Ericsson, A. 1979. Effects of fertilization and irrigation on the seasonal changes of carbohydrate reserves in different age-classes of needle on 20-year-old Scots pine trees (*Pinus silvestris*). *Physiol. Plant.* 45: 270–280.
- Evaluation of research in forest damages caused by air impurities in Finland. VAPK-Kustannus, Helsinki. Suomen Akatemian Julkaisuja 1/92. 106 s.
- Fink, S. 1990. Microscopical aspects of prematurely yellowing needles in Lappish trees. Teoksessa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1989. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347: 63.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 121. 28 s.
- Hansen, J. & Møller, J. 1975. Percolation of starch and soluble carbohydrates from plant tissue for quantitative determination with anthrone. *Anal. Biochem.* 68: 87–94.
- Holopainen, T. 1990. Männyn neulasten rakennevauriot juuriston jäädytyksokkeilla Hietaperänkaalla. Teoksessa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1989. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347: 64–69.
- Huang, C.-Y.L. & Schulte, E.E. 1985. Digestion of plant tissue for analysis by ICP emission spectroscopy. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.* 16(9): 943–958.
- Huttunen, S., Tikkinen, S., Bäck, J., Lamppu, J. & Manninen, S. 1992. Ilman rikkipitoisuudet, puiden vaurio-oireet ja luppojen rikkikertymät. Teoksessa: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 136–141.
- Jalkanen, R. 1988. Karisevatko viimeisetkin neulaset Pohjois-Suomen puista? Kovia kokeneet pohjoisen puut. *Teollisuuden Metsäviesti* 1988(1): 8–11.
- Jalkanen, R. 1990. Vauriot Lapin luonnossa talven 1986–87 jälkeen. Teoksessa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1989. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347: 31–33.
- Junto, S. & Tuovinen, J.-P. 1995. Ilmanlaatu Pohjois-Suomessa. *Acta Lapponica Fenniae* (painossa).
- Järvinen, O. 1986. Laskeuman laatu Suomessa 1971–1982. *Vesihallituksen monistesarja* 408. 32 s.
- Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). 1992. Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413. 269 s.
- Kolari, K.K. 1979. Kasvuhäiriöilmio Suomessa. *Folia Forestalia* 389. 37 s.
- Kubin, E., Poikolainen, J. & Lippo, H. 1994. Sammal, jäkälä ja kaarna raskasmetallilaskeuman indikaattoreina. Teoksessa: Mälkönen, E. & Sivula, H. (toim.). Suomen metsien kunto. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 527: 25–34.
- Kulmala, A., Leinonen, L. & Säynätkäri, T. 1990. Tausta-asemien ilmanlaatu Suomessa 1980–1986. *Ilmansuojelun julkaisuja* 7. 201 s.
- Kuukausikatsaus Suomen ilmastoon. Ilmatieteen laitos. Helsinki.
- Laine, K., Karhu, M. & Huttunen, S. 1984. Some aspects of winter injuries caused by air pollutants. *Oulanka Reports* 5: 17–20.
- Laurila, T., Tuovinen, J.-P. & Lättilä, H. 1991. Lapin ilmansaasteet. Ilmatieteen laitos, Ilmanlaatuosasto, Helsinki. 67 s.
- Lindström, A. & Nyström, C. 1987. Seasonal variation in root hardness of container-crown Scots pine, Norway spruce, and lodgepole pine seedlings. *Can. J. For. Res.* 17: 787–793.
- Munsell color charts for plant tissues. 1977. 2nd ed. Munsell Color, Baltimore, Maryland.
- Raitio, H. 1979. Boorin puutteesta aiheutuva männyn kasvuhäiriö metsitetyllä suopellolla. *Folia For.* 412. 16 s.
- Raitio, H. 1994. Kangasmetsien ravinnetila neulasanalyysin valossa. Teoksessa: Mälkönen, E. & Sivula, H. (toim.). Suomen metsien kunto. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 527: 25–34.
- Reissell, A. 1990. Ilman laatu Pohjois-Suomessa. Teoksessa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1989. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347: 8–18.

- Ritari, A. 1990. Talven 1986–87 sääolojen poikkeuksellisuus ja pakkasvauriot Pohjois-Suomessa. Teoksessa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1989. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347: 47–57.
- Rühling, Å. 1994. Atmospheric heavy metal deposition in Europe — estimations based on moss analysis. Nord 1994:9. 53 s.
- Ruoho-Airola, T. & Leinonen, L. 1994. Ympäristön yhdenntetty seuranta. Mittaustuloksia 1991–1992, laskeuman yhteenveto 1987–1992. Ilmatieteen laitos. Ilmansuojelun Julkaisuja 20. 67 s.
- Salemaa, M., Jukola-Sulonen, E.-L. & Lindgren, M. 1991. Forest condition in Finland, 1986–1990. Silva Fenn. 25(3): 147–175.
- Soveri, J. & Ahlberg, T. 1990. Effects of air pollutants on chemical characteristics of soil water and groundwater. Teoksessa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.). Acidification in Finland. Springer, Berlin Heidelberg, s. 865–881.
- Sutinen, M.-L. 1987. Taimien fysiologisesta kunnosta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 253: 39–47.
- Sutinen, S. & Pesonen, R. 1990. Männyn ja kuusen neulasten soluvaurioista Lapissa. Teoksessa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1989. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347: 69–75.
- Tikkanen, E. & Raitio, H. 1990/91. Nutrient stress in young Scots pines suffering from needle loss in a dry heath forest. Water Air Soil Pollut. 54: 281–293.
- Trudgill, S.T. 1977. Soil and vegetation systems. Oxford University Press, Oxford. 180 s.
- Tuovinen, J.-P., Kangas, L. & Nordlund, G. 1990. Model calculations of sulphur and nitrogen deposition in Finland. Teoksessa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.). Acidification in Finland. Springer, Berlin Heidelberg, s. 167–197.
- Valmari, Antti. 1984. Roudan kehittymisen tilastollinen malli. Maatalouden tutkimuskeskuksen tiedote 9/84. 33 s.
- Valmari, Arvi. 1986. Ilman lämpötila ja lumipeitteen vaikutus maan routautumiseen. Teoksessa: Rantajärvi, L. (toim.). Routatutkimusseminaarin Espoo 6.3.1986 esitelmät. Vesihallituksen monistesarja 410: 58–62.
- Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). 1990. Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1989. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347. 140 s.
- Vitikka, P., Posio, H. & Saarenmaa, H. 1991. Hyönteistuhoriski keinotekoisessa ylispuiden kelouuttamisessa. Summary: Bark beetle damage in conjunction with artificial snag production in Finnish Lapland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 378. 32 s.
- Wijk, W.R. van (toim.). 1963. Physics of plant environment. North-Holland Publishing Company, Amsterdam. 382 s.

Muu aiheeseen liittyvä kirjallisuus

- Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkela, H. & Nieminen, T. (toim.). 1993. Metsäluonto ja ilma-
saasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 446. 221 s.
- Jalkanen, R. 1987. Männyn neulasten määrä ja ilmastolliset vaihtelut. Lapin Kansa 28.11. (metsäpalsta).
- Jalkanen, R. 1988. Faller även de sista barren av träden i norra Finland? Norra Finlands hårt provade träd. Skogsaktuellt 1988(1): 8–11.
- Jalkanen, R. 1988. Havupuut elävät neulasistaan. Mikä on neulasvuosikertojen merkitys? Teollisuuden Metsäviesti 1988(2): 13–17.
- Jalkanen, R. 1988. Barrträden lever genom sina barr. Vilken betydelse har barrårgångarna? Skogsaktuellt 1988(2): 13–17.
- Jalkanen, R. 1989. Lapin metsien kuntoko huonontunut? Lapin Kansa 29.7. (puheenaihe).
- Jalkanen, R. 1989. Lapin neulaskadon syyt selviämässä. Käytännön maamies 1989(3): 107–110.
- Jalkanen, R. 1989. Kritiikin puute ja asenteellisuus haittaavat saastekeskustelua: metsiin vaikuttavat muutkin kuin saasteet. Pohjolan Sanomat 10.1. (yliö).
- Jalkanen, R. 1989. Miten määritän männyn neulasten iän? Lapin Kansa 3.8. (metsäpalsta).
- Jalkanen, R. 1989. Needle loss and root stress. 5th Task Force Meeting of ECE/ICP (FOREST). Field excursion to Lapland, FFRI, Rovaniemi, May 25–27, 1989. 2 p.
- Jalkanen, R. 1989. Neulaskadosta tiedonkatoon. Metsälehti 1989(13): 6.
- Jalkanen, R. 1990. Root cold stress causing a premature yellowing of oldest Scots pine needles.

- Teoksessa: Merrill, W. & Ostry, M.E. (toim.). Recent research on foliage diseases, proc. IUFRO WP S2.06.04 Carlisle, Pennsylvania, USA, 29 May–2 June 1989. USDA Forest Service, General Technical Report WO-56: 34–37.
- Jalkanen, R. 1991. Root cold injuries defoliate pines. Teoksessa: Forest decline in the Atlantic and Pacific region. XVII Pacific science congress, satellite symposium, Hilo, Hawaii, June 2–6, 1991. Department of Botany, University of Hawaii at Manoa, Honolulu. Abstracts. s. 9.
- Jalkanen, R. 1993. Abiotic and biotic diseases of the northern boreal forests in Finland. Teoksessa: Jalkanen, R., Aalto, T. & Lahti, M.-L. (toim.). Forest pathological research in northern forests with a special reference to abiotic stress factors. Extended SNS meeting in forest pathology in Lapland, Finland, 3–7 August, 1992. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 451: 7–21.
- Jalkanen, R. 1993. Defoliation of pines caused by injury to roots resulting from low temperatures. Teoksessa: Jalkanen, R., Aalto, T. & Lahti, M.-L. (toim.). Forest pathological research in northern forests with a special reference to abiotic stress factors. Extended SNS meeting in forest pathology in Lapland, Finland, 3–7 August, 1992. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 451: 77–88.
- Jalkanen, R. 1993. Lapin metsäkuolemat — todellisuutta vai mielikuvia? Keskisuomalainen 28.3. (kotimaa).
- Jalkanen, R., Airaksinen, K. & Niska, K. 1990. Ecology of mid-summer needle loss of Scots pine in northern Finland. Teoksessa: Kinnunen, K. & Varmola, M. (toim.). Effects of air pollutants and acidification in combination with climatic factors on forests, soils, and waters in northern Fennoscandia. Report from a workshop held in Rovaniemi, Finland. 17–19 Oct 1988. Nord, miljörapport 1990(2): 169–170.
- Jalkanen, R., Airaksinen, K. & Niska, K. 1990. Juurten jäädytyskokeet Hietaperänpaikalla. Teoksessa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1989. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347: 43–47.
- Jalkanen, R. & Kurkela, T. 1990. Needle retention, age, shedding and budget, and growth of Scots pine between 1865 and 1988. Teoksessa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.). Acidification in Finland. Springer Verlag, Berlin–Heidelberg, s. 691–697.
- Jukola-Sulonen, E.-L. 1990. Suomen metsäpuiden elinvoimaisuus vuosina 1986–88. Teoksessa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1989. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347: 18–22.
- Kubin, E. 1990. Lumi-, routa- ja lämpöoloista eri tavoin muokatussa metsämaassa Kuusamossa. *Silva Fenn.* 24: 35–45.
- Kullman, L. & Högberg, N. 1989. Rapid natural decline of upper montane forests in the Swedish Scandes. *Arctic* 42: 217–226.
- Kullman, L. 1990. Cold-induced dieback of montane spruce forests in the Swedish Scandes — a modern analogue of paleoenvironmental processes. *New Phytol.* 113: 377–389.
- Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. Vol. 1. Academic Press, New York London. 497 s.
- Linkola, K. 1940. Pakkastalven 1939–40 vauriot kotimaisilla puu- ja pensaslajeilla olivat Etelä- ja Keski-Suomen eri osissa melkoisesti erilaiset. *Luonnon Ystävä* 5–6: 105–116.
- Mäkinen, A. 1988. Pakkaset ovat piinanneet havupuitamme kautta aikojen. *Teollisuuden Metsäviesti* 1988(1): 14–17.
- Norokorpi, Y. 1988. Pakkaset ja havupuiden neulas-kato. *Lapin Kansa* 13.4.
- Norokorpi, Y. 1988. Lapin mäntyjen neulas-kato. *Muistio* 6.6.1988. 4 s.
- Norokorpi, Y. 1988. Sää ja saasteet syypäitä. *Aamulehti* 9.10.
- Norokorpi, Y. 1990. Talviekologiset tekijät ja puiden terveydentila. Teoksessa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1989. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347: 76–80.
- Penttilä, T. 1990. Männyn neulasvuosikertojen lukumäärä turvemaidella 1985–1988 Pohjois-Suomessa. Teoksessa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1989. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 347: 113–122.
- Raitio, H. & Sutinen, S. 1994. Männyn neulasten rakenteen ja ravinnepitoisuuden vuodenaikavaihtelu. Teoksessa: Mälikönen, E. & Sivula, H. (toim.). Suomen metsien kunto. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 527: 175–184.
- Ritari, A. 1990. Temperature, snow and soil frost conditions in Northern Finland during winter 1986–1987, viewed against a longer recording period. Teoksessa: Kinnunen, K. & Varmola, M. (toim.). Effects of air pollutants and acidification in combination with climatic factors on forests, soils, and waters in northern Fennoscandia. Report from a workshop held in Rovaniemi, Finland. 17–19 Oct 1988. Nord, miljörapport 1990(2): 44–52.
- Sutinen, M.-L. 1986. Kennotaimien juurten pakkasvaurioista. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 249: 67–71.
- Sutinen, S. 1988. Metsävaurioiden syistä. *Muistio* 6.6.1988. 6 s.

- Tikkanen, E. 1989. Metsätuhojen tutkiminen Lapissa kiihtyy. *Metsänhoitaja* 4(1989): 4–8.
- Tikkanen, E. & Raitio, H. 1988. Pohjois-Suomen neulastuhon esiintymisestä ja syistä. *Lapin Kansa* 9.2.
- Tikkanen, E. & Raitio, H. 1990. Climatic stress and air pollutants — causes of needle loss. *Aquilo Ser. Bot.* 29: 69–76.
- Tikkanen, E. & Raitio, H. 1990. Ilmastostressi ja ilmansaasteet — kesän 1987 neulaskadon syitä. Teoksessa: Varmola, M. & Palviainen, P. (toim.). *Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1989. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 347: 34–42.
- Tikkanen, E. & Raitio, H. 1990. On the occurrence and causes of needle loss observed in northern Finland in summer 1987. Teoksessa: Kinnunen, K. & Varmola, M. (toim.). *Effects of air pollutants and acidification in combination with climatic factors on forests, soils, and waters in northern Fennoscandia. Report from a workshop held in Rovaniemi, Finland. 17–19 Oct 1988. Nord, miljörapport* 1990(2): 157–168.
- Tikkanen, E. & Raitio, H. 1993. Pohjois-Suomen neulaskadosta kesällä 1987. Teoksessa: Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E.-L., Mikkilä, H. & Nieminen, T. (toim.). *Metsäluonto ja ilmansaasteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 446: 159–162.
- Tolvanen, A. & Kubin, E. 1990. The effect of clear felling and site preparation on microclimate, soil frost and forest regeneration at elevated sites in Kuusamo. *Aquilo Ser. Bot.* 29: 77–86.
- Valmari, Arvi. 1988. Ilmasto synnä neulaskatoon. *Kaleva* 18.2.
- Valmari, Arvi. 1988. Neulastuhojen selvitys — tutkimusta ja arvailua. *Lapin Kansa* 30.3.
- Venn, K & Solheim, H. 1990. Drought of spruce trees in frozen soils in Norway. *Aquilo Ser. Bot.* 29: 87–90.
- Verrötungen immergrüner Nadelbäume im Winter 1986/87 in der Schweiz. 1988. *Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Berichte* 307. 90 s.

Summary

The final report of the project Needle loss in Lapland employs the means available to research in addressing the causes of the pronounced yellowing and death (needle loss) of Scots pine needles. This phenomenon was most significant in mineral soil forests and mire forests within the Rovaniemi–Salla–Suomussalmi triangle.

A survey was made of the properties related to the needle loss phenomenon during the years 1987–1987. The role of impurities was studied by means of both wet-deposition measurements and by establishing one experimental field trial in south-western Finland, Jämijärvi, in conditions where the maximum depositions occurs, and two others in northern Finland, Hietaperä and Sattanen. These three field trials provided data on the effects of severe frost and lack of adequate snow cover (December 1986) on a young stand of Scots pine growing on a dry mineral soil site. Artificial means were employed to prevent the formation of a protective cover of snow in mid-winter 1987/1988, 1988/1989 and 1989/1990. Concurrently with this, measurements were made of the soil and air temperatures, and the development of soil freezing and the cover of snow. With the winter over, analyses were made of the state of the trees by means of both root and needle sampling. The effects of experimental removal of needles and of reducing the extent of the root system were studied during the years 1989–1992. All the trial areas were located on sorted mineral soils.

Exposing pine roots to the freezing temperatures of mid-winter enabled us to artificially bring about premature yellowing of old needles, a phenomenon characteristic of the needle loss in July 1987. Premature yellowing also resulted when the near-surface root systems of the trees were reduced in extent. Likewise, all the other more prominent symptoms connected to the Lapland needle loss phenomenon (incl. growth decline in shoots and needles, top dieback, death of seedlings) were artificially induced already during the first growing season. However, it was only during the second growing season following the treatment that artificial removal of needles inhibited needle and shoot growth. The doubled amount of nitrogen and sulphur deposition at the Jämijärvi trial site did not lead to pronounced needle loss, or any other symptoms, such as those observed in connection with the Lapland needle loss phenomenon. The trees subjected to artificially induced root stress and young pines in Lapland demon-

strating needle loss have recuperated in regard to visible injuries.

The mid-winter's cover of snow provided efficient protection against frost for the soil and the roots of pines. While the temperature in northern Finland (Hietaperä, Sattanen) attained a minimum of $-15.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ at the depth of 5 cm below the snow, the minimum temperature at the same depth on plots without a cover of snow was $-27.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ and at the depth of 20 cm into the ground it was $-18.8\text{ }^{\circ}\text{C}$. In the massive soil-freeze treatment the temperature dropped even further; to $-28.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (5 cm depth) and $-24.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (20 cm depth). The minimum air temperature at the height of 2 m was $-40.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ during the winter of 1988/1989. The corresponding values for southern Finland (Jämijärvi) were $-20.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (air), $-6.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (5 cm depth under snow), $-10.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (snowless) and $-7.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (massive soil-freeze). The temperature in the soil underneath a cover of straw (emulating a layer of lichen) was the highest and most even throughout the winter. The minimum temperature at the depth of 20 cm into the soil varied between $-2.4\text{...}-5.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ on the Hietaperä experimental field, $-4.4\text{...}-7.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Sattanen) and $-1.6\text{...}-3.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Jämijärvi) in between November 1988 and March 1989.

In conclusion, it is noted that the needle loss in Lapland was due to frost-induced injuries to roots, which were the consequence of the severe frosts of December 1986 and January 1987 and of the low soil temperatures on sites with no snow cover. In normal years, there is a cover of snow providing protection for the soil, but the winter in question, rare even statistically, was dangerous for tree survival. The results achieved provide grounds for concluding that root injury, whatever its cause, has the effect of causing defoliation of Scots pine. The lack of a lichen layer by reindeer is believed to have promoted soil freezing during the winter 1986/1987 and Scots pine needle loss during the summer of 1987. Further studies should be directed more specifically at the effects of a permanent lack of lichen cover on the ecology of Scots pine on dry and barren mineral soils during both summer and winter.

Keywords: Lapland, needle loss, roots, frost, lichen layer, Scots pine, ecology, experimental study

Authors' address: The Finnish Forest Research Institute, Rovaniemi, Research Station, P.O. Box 16, FIN-96301 Rovaniemi, tel. +358 60 33 64 11, telefax +358 60 336 46 40, email: Risto.Jalkanen@metla.fi





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 männyntaimen 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-tiedonhallintaohjelmisto. Tietokannan muodostus ja käyttö. 1984.
- N:o 165 Eero Tikkanen ja Hannu Raitio. Pohjois-Suomen aurasalueiden männyntaimien epänormaali kehitys ja oletamus sen syistä. 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. Aurasalueen 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, Hilikka 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. Suojelualueet ja kansallispuistojen suojelun toteuttaminen – kahdeksan esimerkkiä. 1989.
- N:o 347 Martti Varmola ja Pertti Palviainen (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1989. 1990.
- N:o 362 Martti Varmola ja Tuija Katermaa (toim.). Metsänparannus. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1990. 1990.
- N:o 373 Eero Tikkanen and Martti Varmola (eds.). Research into forest damage connected with air pollution in Finnish Lapland and the Kola Peninsula of the U.S.S.R. A seminar held in Kuusamo, Finland, 25–26 May 1990. 1991.
- N:o 378 Pentti Vitikka, Heikki Posio & Hannu Saarenmaa. Hyönteistuhoriski keinotekoisessa ylispuiden kelouuttamisessa. Summary: Bark beetle damage in conjunction with artificial snag production in Finnish Lapland. 1991.
- N:o 407 Hannu Salminen & Tuija Katermaa (eds.). Simulation of Forest Development. Presentations from a symposium held in Saariselkä, Finland, October 12–14, 1991. 1992.
- N:o 410 Anna-Liisa Sippola & Juha-Pekka Rauhala. Acerbin keinosta Jerisjärven tielle. Pallas-Ounas-tunturin kansallispuiston historiaa. 1992.
- N:o 413 Heikki Kauhanen & Martti Varmola (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Abstract: The Lapland Forest Damage Project – Interim report. 1992.
- N:o 427 Heikki Eeronheimo, Risto Virtanen, Anna-Liisa Sippola, Pentti Sepponen, Sinikka Salmela & Raimo Pikkupera. Pallas-Ounas-tunturin kasvillisuus – Ounas-tunturin Pyhäkeron alue. 1992.
- N:o 437 Ari Nikula, Martti Varmola & Marja-Lea Lahti (toim.). Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1992. 1992.
- N:o 479 Ari Nikula, Aulis Ritari & Marja-Lea Lahti (toim.). Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1993. 1993.
- N:o 518 Ari Keskimölä. Energiapuun korjuumenetelmien vertailua Kivalon tutkimusalueella. 1994
- N:o 522 Ari Keskimölä. Puuenergian hankinta ja käyttö Lapissa. 1994.
- N:o 534 Eero Mattila & Ari Keskimölä. Energiapuun korjuumahdollisuuksien arviointi metsän hakkuu- ja hoitoehdotusten perusteella. 1994.
- N:o 539 Tapani Tasanen, Martti Varmola & Maarit Niemi (toim.). Metsänraja tutkimuksen kohteena. Tutkimuspäivä Ylläksellä 1994.