METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 803, 2001





Pohjoisten metsien hoito - 30 vuotta tutkimuspäiviä Rovaniemellä

Martti Varmola, Sirkka Tapaninen (toim.)





ROVANIEMEN TUTKIMUSASEMA

METLA

14.05.01

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 803, 2001

Pohjoisten metsien hoito –
30 vuotta tutkimuspäiviä Rovaniemellä

Martti Varmola ja Sirkka Tapaninen (toim.)

ROVANIEMEN TUTKIMUSASEMA

Varmola, M. & Tapaninen, S. (toim.). 2001. Pohjoisten metsien hoito – 30 vuotta tutkimuspäiviä Rovaniemellä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 803. 141 s. ISBN 951-40-1773-0, ISSN 0358-4283.

Toimittajien yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema, PL 16, 96301 Rovaniemi, puh. (016) 336 411, faksi (016) 3364 640, sähköpostiosoitteet: etunimi.sukunimi@metla.fi.

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema. Hyväksynyt tutkimusjohtaja Kari Mielikäinen.

Kannen suunnittelu: Jouni Hyvärinen
Taitto: Sirkka Tapaninen
Kirjapaino: Gummerus Kirjapaino Oy, Saarijärvi 2001

Tilaukset: Metsäntutkimuslaitos, kirjasto/julkaisumyynti, Pl 18, 01301 Vantaa, puh. (09) 8570 5580, faksi (09) 8570 5582, sähköposti: kirjasto@metla.fi.

Sisällys

Rovaniemen tutkimuspäivän avaus
Kari Mielikäinen 5

Ilmaston muutokset kautta aikojen – onko menneisyys Lapin metsien tulevaisuuden peili?
Mauri Timonen 9

Ylispuustoisten mäntytaimikoiden syntyhistoria, rakenne ja alkukehitys Lapissa
Mikko Hyppönen ja Juha Hyvönen 31

Rakenteellinen kypsyys männyn siementen keräysajankohdan määrittäjänä
Eila Tillman-Sutela ja Anneli Kauppi 47

Puulajikoostumus ja moreenikasvupaikkojen sähköiset ominaisuudet Keski- ja Pohjois-Lapissa
Marja-Liisa Sutinen, Ari Teirilä, Markku Pänttäjä ja Raimo Sutinen 55

Männynviljelyn onnistuminen ja siihen vaikuttavat tekijät – tuloksia pitkäaikaisesta metsänviljelykokeesta Lapissa
Kari Mäkitalo ja Juha Heiskanen 71

Taimikonharvennuksen ajankohdan ja voimakkuuden vaikutus männikön kehitykseen
Martti Varmola ja Merja Arola 105

Puuston valtapituuskehitys rämekasvupaikkojen kuvauksessa
Hannu Hökkä 119

Harvennushakkuut ojitetuilla rämeillä
Timo Penttilä 133

Lukijalle

Metsäntutkimuslaitos tuottaa tieteellistä tietoa metsäluonnosta, metsien eri käyttömuodoista sekä metsävaroista ja niiden hyödyntämisestä. Tutkimus on laitoksen ydintehtävä, ja muita tulosalueita ovat tutkimusmetsä- ja laboratoriotoiminta, kansainvälinen toiminta ja tutkimustiedon välitys. Tutkimustiedon välitys sisältää moninaisia toimintoja, joista eräs tärkeimmistä on erilaisten seminaarien ja koulutuspäivien pitäminen.

Alueellisten tulosyksiköiden, tutkimusasemien, perinteenä ovat tutkimuspäivät. Rovaniemen tutkimusasema on esitellyt Lapissa tehtyjä tutkimuksia perustamisestaan lähtien. Ensimmäinen kaksipäiväinen tilaisuus oli "Pohjois-Suomen metsänviljelytöistä vastaaville metsänhoitajille tarkoitetut alustus- ja keskustelupäivät" helmikuussa 1971 ja siitä lähtien olemme vuosittain jakaneet ajankohtaista tietoa Metlassa tehtävistä tutkimuksista.

Toukokuussa 2000 tuli kuluneeksi 30 vuotta Rovaniemen tutkimusaseman perustamisesta. Tämän vuoksi päätimme järjestää tutkimuspäivän, jonka yleisaihe palautuu tutkimusaseman alkuaikoihin. Pohjoisten metsien hoito -otsikon alle kokosimme meneillään olevia tutkimuksia alkaen ilmaston muuttumisen vaikutuksista Lapin metsiin ja päätyen ojitettujen soiden kasvupaikkojen kuvaukseen. Esitelmissä käsiteltiin myös Lapin metsien uudistamista, aihetta, jonka ympärille koko tutkimusasema aikoinaan perustettiin, sekä metsiköiden harvennukseen ja kasvattamiseen liittyviä kysymyksiä. Tutkimusongelmat ja aiheiden käsittelytapa ovat varmasti aikojen kuluessa muuttuneet, mutta tuntuu siltä, että edelleen löydämme uusia metsätalouteen liittyviä kysymyksiä, joihin tutkimuksen keinoin etsimme vastauksia.

Tähän julkaisuun kootut kahdeksan tutkimuspäivän esitelmää osoittavat, että tieto Lapin metsistä ja niiden käsittelystä on huimasti lisääntynyt. Luonto kuitenkin muuttuu ja metsät sen myötä, eikä tärkeistä tutkimusongelmista ole pulaa. Toivon, että tämä julkaisu löytää sijansa metsäammattilaisten piirissä, antaa vastauksia ajankohtaisiin ongelmiin ja miksei herättäisi myös uusia kysymyksiä.

Martti Varmola
Tutkimusaseman johtaja

Rovaniemen tutkimuspäivän avaus

Kari Mielikäinen

Metsäntutkimuslaitos
Unioninkatu 40 A, 00170 Helsinki

kari.mielikainen@metla.fi

Asiakaslähtöisyys on päivän sana myös metsäntutkimuksessa. Ei ole mitään mieltä tuottaa tutkimustietoa, jota kukaan ei kysy tai tarvitse. Vaikka asiakas onkin bisnesmaailman hienoimpien oppien mukaan aina oikeassa, ei hänkään aina osaa olla realisti. Malttamaton tutkimustiedon kuluttaja saattaa joskus kysellä hyönteistuhon vaikutusta puun tulevaan kasvuun jo siinä vaiheessa, kun toukka vasta teroittaa hampaitaan iskeytyäkseen puihin.

Näin kävi esimerkiksi vuonna 1983, jolloin Metlaa pyydettiin selvittämään Päijänteen ympärillä riehuvien mäntypistiäisten vaikutusta puiden kasvuun ja tekemään ehdotus kasvutappion huomioon ottamisesta metsäverotuksessa. Aikaa annettiin vuoden loppuun saakka. Kun tulokset saatiin viiden kasvukauden seurannan jälkeen valmiiksi, pistiäinen oli jo kadonnut seutukunnalta eikä kukaan ollut enää kiinnostunut koko asiasta. Kysyntä ja tarjonta eivät tässä tapauksessa kohdanneet. Tutkimus ei toki mennyt hukkaan. Seuraavaa epidemiaa ajatellen tutkijoilla on nyt valmiit tulokset pöytälaatikossaan.

Tieteen edustajat jakavat tutkimuksen varsin usein perustutkimukseen ja soveltavaan tutkimukseen. Perustutkimuksen ajatellaan olevan yliopistojen heiniä, tiedettä, jota tavallinen rahvas ei voi ymmärtää. Soveltavan tutkimuksen uskotaan puolestaan antavan helppoja vastauksia käytännön pikku ongelmiin ja sen katsotaan kuuluvan maa- ja metsätalousministeriön alaisille tutkimuslaitoksille, kuten Metlalle.

Näin yksinkertainen jako on mielestäni huono ja johtaa koko tieteenteon helposti kahdelle sivuraiteelle. Pelkästä tieteellisestä mielenkiinnosta kumpuava perustutkimus saattaa osoittautua mihinkään kelpaa-

Varmola, M. & Tapaninen, S. (toim.). 2001. Pohjoisten metsien hoito. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 803: 5–8.

mattomaksi nollatutkimukseksi. Liian yksinkertainen soveltava tutkimus johtaa helposti samaan lopputulokseen. Pari esimerkkiä valaissevat asiaa.

Esimerkiksi tutkimus, jossa inventoidaan pelkästään elävien ja kuolleiden taimien lukumääriä metsässä, ei ole paljonkaan arvoista. Tutkimus muuttuu käytännölle mielenkiintoisemmaksi vasta silloin, kun tutkija selvittää taimimäärin lisäksi taimikon tilajärjestyksen ja sen, miksi taimia kuolee. Samalla tavoin 1970-luvulla koneella hakattujen metsien lahoviat kertovat pelkästään metsämuseoissa ja romuttamoissa säilytettävien Kockumsien ja Lokkereiden silloisista ominaisuuksista. Vasta tieto siitä, miten puunkorjuuvauriot ja niistä seuraavat lahoviat syntyvät, tekee tästäkin tutkimuksesta hyödyllisen.

Mielestäni ei pitäisikään puhua perustutkimuksesta ja soveltavasta tutkimuksesta, vaan perusteiden tutkimisesta, jossa pyritään vastaamaan kysymyksiin "miksi" tai "miten kaikki tapahtuu", eikä vain kysymyksiin "mitä" tai "kuinka paljon".

Aloitteleva tutkija saattaa joskus ajatella, että oikein huolellisesti mitattu tutkimusaineisto, mahdollisimman hienot tilastolliset menetelmät ja kolmen desimaalin tarkkuudella esitetyt tulokset takaavat tutkimuksen korkean laadun ja vaikuttavuuden. Näin ei asia kuitenkaan valitettavasti ole. Paljon tärkeämpää kuin luotettavasti laskettu tarkka vastaus on oikea reaalimaailman kysymys. Tarkkaakaan vastausta ei kannata antaa väärään tai hämärään kysymykseen. Tutkija, joka näin tekee, on kuin maailman nopein suunnistaja, joka etenee väärään suuntaan eikä löydä rastia. Oikeiden tutkimuskysymysten tekeminen edellyttää hyvää yhteistyötä tutkimuksen tekijän ja tulosten käyttäjien kesken jo tutkimuksen suunnitteluvaiheessa.

Miten hyvät kysymykset sitten löytyvät? On totta, että monia tulevaisuudessa tärkeiksi nousevia kysymyksiä on vaikeaa, ellei peräti mahdotonta ennustaa. Kukapa meistä olisi 1970-luvulla arvannut metsäkuoleman nousevan 1980-luvun tärkeimmäksi tutkimusaiheeksi? Vielä harvempi osasi ennustaa, että vuosikymmentä myöhemmin metsätalouden suuri huolenaihe ei ole enää metsäkuolema, vaan se, ettei metsissä ole tarpeeksi kuolleita puita edes hyönteisille syötäväksi.

Yksi tapa varautua tuleviin kysymyksiin ovat pitkät, toistuvasti mitatut havaintosarjat. Metsäntutkimuslaitoksella on rekistereissään ja myös maastossa kymmeniätuhansia kestokoealoja, joista vanhimmat ovat peräisin 1920-luvulta. Monet koealat ovat antaneet arvokkaimmat vastauksensa kysymyksiin, joista kokeen perustaja ei ole osannut aikoinaan haaveillakaan. Professori Olli Heikinheimon noin 70 vuotta sitten eri puolille maata istuttamat männyn ja kuusen alkuperäkokeet palvelevat tällä hetkellä mahdollisen ilmastonmuutoksen vaikutusten arviointia.

Rovaniemeltä kotoisin oleva mänty ja kuusi eivät ole kuolleet noin neljä astetta lämpimämmässä Tammisaaressa. Päinvastoin ne ovat hyötyneet lämmöstä ja tuottaneet 70 vuodessa kaksin verroin enemmän puuta kuin samainen kuusialkuperä Lapissa.

Professori Risto Sarvas aloitti 1950-luvulla siemensatojen jatkuvat mittaukset. Pusseihin kerättyjen ja talletettujen siementen, neulasten ja muiden roskien kemialliset analyysit kertovat nyt meille ilman laadun muutoksista vuosikymmenien saatossa.

Rovaniemen tutkimusasema on tähän päivään mennessä järjestänyt tutkimuspäivän tai tutkimuspäivät 27 kertaa. Vain kahtena vuonna aseman historiassa tutkimuspäivää ei ole järjestetty. Tilaisuuksien aiheet painottuivat 1970-luvulla varsin usein metsänhoitoon ja puun tuottamiseen. Puuta ei tuolloin kasvanut liikaa, pikemminkin päin vastoin.

Tutkimuksen painoalat muuttuivat 1980-luvulla. Syynä tähän oli se, että Lapin metsissä alkoi tapahtua jännittäviä asioita, jotka varsin usein pyrkivät ylittämään myös valtakunnallisen uutiskynnyksen. Kesällä 1987 tutkijoita, suurta yleisöä ja mediaa puhutti Rovaniemen ympäristön männiköiden ankara neulaskato. Muutamaa vuotta myöhemmin tuhokeskustelu siirtyi Sallan Rikkilehtoon ja sittemmin Levitunturin rinteille. Uuttera tutkimustyö paljasti vuoden 1987 tuhojen syyksi maan syvän routaantumisen, minkä seurauksena männyt kärsivät kesällä veden puutteesta. Sallan tuhot osoittautuivat versosurman aikaansaannoksiksi, Levin metsät ruskettuivat ns. inversiossa kylmän ja lämpimän ilmamassan sekoittuessa toisiinsa.

Oli varsin luonnollista, että 1980- ja 1990-luvuilla Lapin metsien terveyttä ja kasvua käsiteltiin tutkimuspäivillä jopa useampaan kertaan. Myös muotiin tulleet luonnonsuojelu, matkailu, metsäsektorin tietojärjestelmät ja satelliittikuvat olivat päivien aiheina.

Mikä sitten on muotia tai minkä pitäisi tulla muotiin tällä hetkellä? Mietitäänpä. Viime vuosikymmenen puolivälissä vallinnut talouslama näkyi selvästi myös metsien hoidossa. Valtakunnan metsien inventointien mukaan metsänuudistaminen, taimikonhoito ja ensiharvennukset eivät ole pysyneet tavoitteiden mukaisella tasolla. Tilanne on erityisen paha ojitetuilla soilla, joilla maaston heikko kulkukelpoisuus, pienikokoinen puusto, tukkeutuvat ojat ja paikoitellen epätasapainoinen ravinnetila muodostavat yhtälön, jonka taloudellinen ratkaiseminen on vaikeaa.

Valtiovallan käynnistämä Nuoren metsän hoidon kampanja ja noin vuosi sitten julkistettu Kansallinen metsäohjelma korostavat metsänhoidon tärkeyttä metsien kestävän käytön perustana. Kansallinen metsäohjelma edellyttää myös sitä, että metsänhoidon tutkimusta tehostetaan. Vuonna 1998 Metlassa aloitettu Etelä-Suomen metsien uudistamisen tutkimusohjelma ja tämän vuoden alussa käynnistynyt Metsänkasva-

tuksen vaihtoehtoja ja niiden puuntuotannollisia seurauksia käsittelevä tutkimusohjelma tarjoavat hyvän pohjan metsänhoidon menetelmien edelleen kehittämiselle.

Olen tähän mennessä kertonut, kuinka tärkeää tutkimustyössä on se, että asetetaan oikeat kysymykset, tehdään sopivat analyysit ja esitetään tarkat tulokset. Valitettavasti tämäkään ei vielä riitä. Tiedosta ei ole mitään hyötyä, ellei se siirry käytäntöön.

Tutkimustulosten käytäntöön siirtämisen tehokkaimmat menetelmät riippuvat tiedon käyttäjistä. Metsänomistajien tavoittamisen tehokkaimmat keinot ovat henkilökohtainen neuvonta ja tulevaisuudessa entistä useammin Internet. Tutkimustiedon välittämisessä metsäammattilaisille yksi parhaita keinoja ovat tutkimuspäivät.

Olen pannut ilolla merkille, että tämänkertainen Rovaniemen metsäntutkimuspäivä on palannut jollakin tavoin juurilleen. Perinteinen metsänhoito on aihepiiri, joka ei tule koskaan menemään pysyvästi pois muodista. Syynä tähän on se, että kannattava, järkiperäinen metsänhoito on myös luontoarvojen huomioon ottamisen edellytys. Kannattamaton metsätalous on huono luonnonhoitaja.

Näillä tutkimuspäivillä keskustelemme alustusten pohjalta metsämaasta, uudistamisesta, harvennuksista soilla ja kuivilla mailla sekä vanhojen kuusikoiden käsittelystä. Emme unohda myöskään ilmastoa, jota ilman metsäkään ei "kasua" täällä Pohjan perukoilla.

Jotta tutkimustieto voisi siirtyä tutkijoiden puheista käytäntöön, on päivän puheenjohtajiksi valittu kaksi käytännön metsätalouden ammattilaista, Kirsi-Marja Korhonen Metsähallituksesta ja Mikko Hyppönen Lapin metsäkeskuksesta.

Haluan lopuksi toivottaa teille kaikille oikein antoisaa Metsäntutkimuspäivää. Viihtykää, oppikaa ja virkistykää.

Ilmaston muutokset kautta aikojen – onko menneisyys Lapin metsien tulevaisuuden peili?

Mauri Timonen

Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
PL 16, 96301 Rovaniemi

mauri.timonen@metla.fi

1 Suomen ja hiukan Euroopankin metsähistoriaa

Suomen metsien historian vanhin puulöytö lienee Vuotson kanavan kaivutöiden yhteydessä löytynyt lehtikuusen järeä kahdeksanmetrinen runko. Sen on päätelty kasvaneen viime jääkautta edeltäneellä lämpimällä Eem-interglasiaalikaudella, joka vallitsi 130 000–117 000 vuotta sitten (Mäkinen 1982). Eemiä seurannut jääkausi hävitti maastamme lehtikuusen, joka on ehtinyt "paluumatkallaan" toistaiseksi vasta Äänisjärvelle muutaman sadan kilometrin päähän Suomen itärajasta. Muitakin Eemin aikaisia jäänteitä on löydetty jääkautisten moreenien alta. Siitepölyt todistavat, että tammet ja pähkinäpensaat kasvoivat Eemin lämpimimmässä vaiheessa yleisinä aina Pohjanmaalla saakka ja että jalot lehtipuut muodostivat Keski-Euroopassa pääosan metsäalasta (Eronen 1991).

Runsaat 100 000 vuotta kestänyt jääkausi (kuva 4b) ei ollut pelkästään jäiden aikaa, sillä ilmasto lämpeni kahteen otteeseen jaksolla 100 000–75 000 vuotta sitten (väliin jäi kylmempi jakso). Tuolloin ei päästy aivan Eemin lämpötiloihin, mutta kylmää ilmanalaa sietävät koivu ja mänty pystyivät palaamaan takaisin Keski-Euroopan ja Suomenkin metsiin (Eronen 1992). Ilmasto kylmeni pysyvämmin noin 75 000 vuotta sitten, mikä merkitsi Keski-Euroopan muuttumista aukeaksi aroksi

Varmola, M. & Tapaninen, S. (toim.). 2001. Pohjoisten metsien hoito. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 803: 9–29.

ja tundraksi ja Suomen peittymistä ilmeisesti kokonaan jäihin valtaosaksi jääkauden loppujaksosta. Metsät palasivat takaisin vasta nykyisen Holoseenin alussa noin 10 000 vuotta sitten.

Jääkauden oli väistyttävä, kun lämpötila nousi rannikoilla 4–5 ja Euraasian mantereen sisäosissa 10–15 astetta (kuva 4c). Samalla lämpötilan vuotuinen vaihtelu pieneni murto-osaan entisestään. Varvut ja ruohot peittivät ensimmäisenä jäättömät alueet. Tuntumassa seurasi pioneeripuulajina tunnettu koivu muodostaen Holoseenin ensimmäisen vuosituhannen metsät. Mänty aloitti nopean etenemisensä noin 9 000 vuotta sitten vallaten samalla tilaa koivulta. Lappiin se saapui Atlanttisen kauden alussa 8 000–7 500 vuotta sitten leviten pian nykyistä levinneisyysaluettaan pohjoisemmaksi. Tervaleppä levisi Etelä-Suomeen noin 8 000 ja jalot lehtipuut 7000–6000 vuotta sitten. Ilmasto lämpeni hitaasti 6 000–5 000 vuotta sitten, jolloin Suomessa vallitsi nykyistä 1–2 astetta lämpimämpi ilmasto (Donner 1974). Mäntymetsät olivat Lapissa silloin laajimmillaan, mitä osoittavat puuttoman tunturialueen mutapohjaisiin järviin hautautuneet ns. subfossiiliset rungot (kuva 1). Jalot lehtipuut joutuivat peräytymään ilmaston vähitellen viiletessä ja tekemään tilaa kuuselle, joka alkoi levitä idästä Suomeen noin 5 000 vuotta sitten saavuttaen nykyisen levinneisyysrajansa 3 000–2 500 vuotta sitten.

Viilenevä ilmasto muuttui noin 2 500 vuotta sitten aiempaa kosteammaksi (Mangerud ym. 1974). Muutos oli ilmeisen epäedullinen metsänrajamänniköille, sillä ajanlaskuamme edeltäviltä vuosisadoilta on löydetty vähänlaisesti subfossiilisia mäntyjäänteitä. Viileä jakso jatkui vielä ensimmäisten vuosisatojen ajan, mutta lämpeni vuosituhannen taitetta lähestyttäessä ja vielä sen jälkeenkin (kuva 4d). Jakso tunnetaan keskiajan lämpökautena (700–1300 jKr.). Lisääntyneet sateet ilmaston viilenemisen myötä johtivat pieneksi jääkaudeksi nimettyyn ilmastovaiheeseen (1560–1830).

Viime vuosisata oli vaihteleva. Alkuvuosikymmenet olivat pienen jääkauden jäljiltä vielä kylmiä (kuva 4e). Voimakas lämpeneminen alkoi 1920-luvulla jatkuen aina 1950-lopulle saakka. Sen seurauksena on mänty etenemässä alueille, joilla ei ole ollut metsää vuosisatoihin. Viileämmän 30-vuotisjakson jälkeen seurasi poikkeuksellisen lämmin 1990-luku, jolloin erityisesti talvet olivat lämpimät ja kesät viileähköt.

Mitä voidaan sanoa tulevasta ilmastosta? Kasvavatko metsät ennen näkemättömän suotuisissa olosuhteissa, kuten on ennustettu vai yllättääkö sittenkin raju kylmyys? Onko muita ilmastoja tarjolla? Miten suhtautua ilmastonmuutoksiin? Onko menneisyys Lapin metsien tulevaisuuden peili? Tässä artikkelissa pyritään vastaamaan näihin ja muihinkin ajankohtaisiin kysymyksiin.

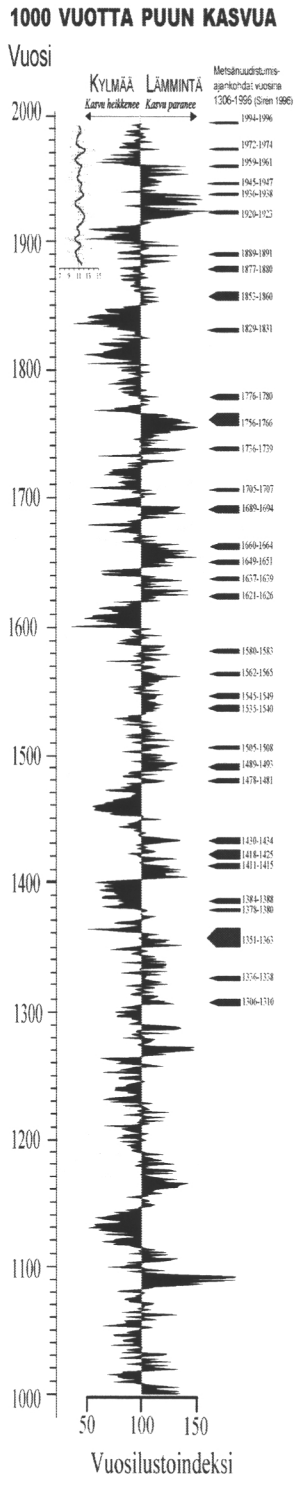


Kuva 1. Nykyisen männyn metsänrajan ylä- tai pohjoispuolella sijaitsevat pikkulompolot upottavine suorantoineen, mutaisine pohjineen ja synkänmustine vesineen voivat tuntua luotaantyöntäviltä. Tutkijoille ne ovat kuitenkin tiedonlähteitä, joiden perusteella on mahdollista arvioida niin mennyttä, nykyistä kuin tulevaakin ilmastoa sekä samalla myös Lapin metsien kehitystä. Tämän hetepohjaisen lammen vastarannalla kasvoi joskus järeä mäntymetsä, jonka rantaa lähinnä olevat yksilöt sortuivat juurineen veteen ilmeisesti pohjaveden noustua yllättäen 1–2 metrillä. Paksuudeltaan yli puolimetriset rungot lojuvat edelleen rantasyvänteessä sekä rungot että juuret hyvin säilyneinä. Niiden tyvet ovat noin 1,5 metrin syvyydessä ja latvat suuntautuvat kohti lammen keskikohtaa kadoten samalla mutaan.

2 Metsänrajamänty ilmaston tulkkina

2.1 Pitkät vuosilustosarjat ilmastotutkimuksessa

Professori Gustaf Sirén esitteli jo 40 vuotta sitten (1961) metsänrajamännyn 780-vuotisen vuosilustosarjan. Sen tärkeä anti oli osoittaa, että Lapin männyn kasvu on jaksoittaista ja että hyviä ja huonoja kasvujaksoja sattuu jokaiselle vuosisadalle. Merkittävä oli myös Sirénin havainto metsänrajamännyn uudistumisen ja suotuisien kasvujaksojen välisestä yhteydestä (kuva 2). Lapissa on äärevien olosuhteiden vuoksi hyviä uudistumisvuosia harvakseltaan, Pohtilan (1980) mukaan esimerkiksi Sodankylässä vain noin 6 kertaa vuosisadassa. Jotta siemen voisi itää, on kukkimista edeltävän ja sitä seuraavan vuoden lämpösumman ylitet-

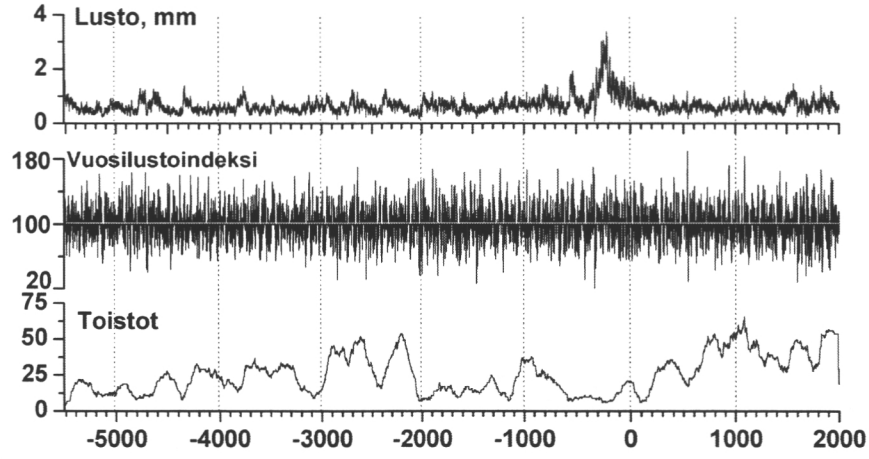


tävä tietyt kynnysarvot (910/845 d.d.). Tämä yhdistelmä voi toteutua niin Sodankylässä kuin muuallakin Lapissa vain ilmaston jaksoittaisen vaihtelun ansiosta.

Vuonna 1994 aloitettiin *Kasvun vaihtelun* tutkimushankkeessa professori Kari Mielikäisen johdolla työ, jossa koottiin elävien puiden, kelojen, vanhojen rakennushirsien, kantojuurakoiden ja muinaispuiden (subfossiilien) lustoista 1911 vuoden pituinen lustokalenteri (Mielikäinen ym. 1998). Sarjan käytettävyyttä tutkimus-, opetus- ja esittetarkoituksiin parannettiin yhdistämällä siihen metsänrajaseudun kasvukauden ilmastoa kuvaava kesä-heinäkuun keskilämpötilakäyrä ja Sirénin (1961) uudistumisvuodet vuoteen 1998 saakka päivitettynä (kuva 2). Sarja muodostaa edelleenkin Metlan lustotutkimuksen keskeisen työvälineen, jolla ratkotaan mm. ilmastokysymyksiä.

Lustokalentereiden "lippulaivana" ja suomalaisen lustotutkimusyhteistyön tämän hetken arvokkaimpana saavutuksena voi pitää metsänrajamännyn 7519-vuotista sarjaa (kuva 3). Metla osallistui sen viimeistelyyn vuosina 1996-1999 toteutetussa yhdeksän maan EU-projektissa ADVANCE-10K. Sitä johti tunnettu englantilainen ilmastotieteilijä Keith Briffa ja sen suomalaista osuutta sar-

Kuva 2. Metsänrajamännyn vuosilustojen leveyksistä laadittu lustokronologia kertoo rytmisesti vaihtelevista kesä-heinäkuun keskilämpötiloista. 1900-luvun lämmintä ilmastojaksoa on edeltänyt ainakin 10 vastaavaa lämpenemistä. Kylmät jaksot seuraavat lämpimien jaksojen perässä. Ilmastomuutostutkijoita kiinnostaa suuresti, kertovatko nämä rytmit maapallon ilmaston sisäisistä rytmeistä vai jostakin muusta. Kasvujen vertailu Sirénin uudistumisvuosiin (1961, 1996) osoittaa, että Lapin metsät uudistuvat pääsääntöisesti suotuisten ilmastojaksojen aikana.



Kuva 3. Metsänrajamännyn 7519-vuotinen lustosarja koostuu 1087 huolellisesti ristiinajoitetusta näytteestä. Yläkuvassa on perusmittauksista laskettu vuosiluston keskimääräinen leveys. Vuoden 200 eKr. tienoilla eläneiden puiden korkea kasvu aiheutuu hyvästä kasvupaikasta ja aineiston eteläisemmästä sijainnista. Vuosilustoindeksit (keskellä) osoittavat vuotuisen vaihtelun pysyneen koko jakson ajan kutakuinkin samana. Sarjan näytteiden määrä vaihtelee (alin kuva).

jaa jo vuodesta 1974 kehitellyt professori Matti Eronen. Rovaniemen tutkimusaseman Dendrokronologian laboratorio vaikutti ratkaisevasti sarjan valmistumista vuosia estäneen parin vuosituhannen takaisen "aukon" täyttämiseen. Mahdollisesti jopa ensimmäisiin viime jääkauden jälkeen syntyneisiin mäntysukupolviin ulottuva 7519-vuotinen sarja on maailman kolmanneksi pisin yhtenäinen sarja (Eronen ym. 2000). Tätä pitempiä ovat vain Keski-Euroopan 11 500-vuotinen tammisarja ja Pohjois-Amerikan 8800-vuotinen vihnemännyn (*Pinus aristata*) sarja.

Briffa pitää Lapin metsänrajamäntyä yhtenä maailman tarkimmista ilmastonvaihteluiden mittareista. Käsitystään hän perustelee mm. sillä, että metsänrajamännyn riippuvuus kesä-heinäkuun lämpöoloista eli ns. ilmastovaste on poikkeuksellisen hyvä. Vuosilustoihin varastoituneiden ilman ^{13}C ja ^{12}C-hiili-isotooppien suhde kertoo vuosilustojen ominaisuustietojakin paremmin muinaisen ilmaston kesä-heinäkuiden keskilämpötiloista. Metsänrajamännyn vuosilustoihin on jäänyt myös *maapallonlaajuisen ilmastonmuutoksen* jälkiä, mitä todistavat lustoista paljastuneet pohjoisen pallonpuoliskon suurilmastoa ohjailevan NAO-ilmiön "sormenjäljet". NAO-kytkentä korostaa Lapin metsänrajamännyn merkitystä osana ilmaston globaalimuutosta kuvaavaa mittaristoa, johon kuuluvat mm. Grönlannin jäätiköistä ja merten koralleista mitattavat proksitun-

nukset (proksi = ilmastoa likimääräisesti kuvaava muuttuja). Edellä mainitut tekijät, sarjan ainutlaatuinen pituus ja erityisesti *vuodentarkkuus* tekevät Lapin metsänrajamännystä yhden 2000-luvun alkuvuosikymmenen mielenkiintoisimmista ilmastonmuutostutkimuksen kohteista.

2.2 Metsänrajamännyn kasvun vaihtelu

Tuhannen vuoden aikaperspektiivistä tarkasteltuna 1900-luvun kasvunvaihtelut eivät poikkea olennaisesti aiempien vuosisatojen vaihteluista (kuva 2). Vuosisata jakautuu kasvun vaihtelun perusteella kolmeen jaksoon: heikkokasvuiseen alkuun (1900–14), hyväkasvuiseen keskivaiheeseen (1915–60) ja normaalikasvuiseen loppujaksoon (1961–2000).

Kasvuolosuhteet olivat ankarimmillaan 1800–luvulla pienen jääkauden loppuvaiheissa. Tämän kylmään vaiheeseen sijoittuvat mm. suuret nälkävuodet (1867–1868). On hiukan yllättävää, että näiden vuosien alkukesät näyttävät olleen indeksien perusteella vain noin 10 % normaalia heikommat. Ilmeisesti muina kuukausina, erityisesti elokuussa oli poikkeuksellisen epäsuotuisat olosuhteet viljan kypsymiselle. Muistiin merkityistä laajoista, puiden vuosirenkaissa näkyvistä tuhoista viimeisin on Lapin männiköitä tämän vuosisadan alussa koetellut pakkastuho. Koko Pohjoiskalotin alueella esiintynyt tuho alkoi syyskuussa 1902. Tuolloin ankara pakkanen vaurioitti talveen valmistautumattomia, pohjoisella metsänrajalla kasvavia mäntyjä. Poikkeuksellisen epäedulliset sääolosuhteet jatkuivat vielä myöhempinäkin vuosina. Vasta vuoden 1910 jälkeen hellittänyt kasvun lama ilmenee sekä vuosirenkaiden kapeutena (Mikola 1950) että neulasvuosikertojen alhaisena määränä (Jalkanen ja Kurkela 1990).

Yksittäiset heikot kasvuvuodet näkyvät lähes kaikissa Lapin männyissä poikkeavan kapeina vuosirenkaina. Tutkimuksissa toistuvasti esiin tulleita poikkeuksellisia kasvuvuosia ovat 1574, 1601, 1620, 1680, 1696, 1709, 1734, 1769,1806, 1837, 1900, 1903, 1910-11, 1929, 1940 ja 1963 ja 1987. Joinakin vuosina on männyn kasvu voinut yksittäistapauksissa pysähtyä kokonaankin. Tämä on voitu päätellä esimerkiksi 1830-luvun puuttuvien vuosirenkaiden perusteella. Huomiota kiinnittää voimakkaiden piikkivuosien vähäisyys keskiajan lämpökaudella.

Metsänrajamännyn lustokronologia kertoo kasvun vaihteluiden lisäksi rytmisesti vaihtelevista kesä-heinäkuun keskilämpötiloista ja metsien uudistumisesta. Jakso 1915–60 oli poikkeuksellisen suotuisa. Päätelmää tukevat havainnot nuorista 40–85-vuotiaista metsiköistä, jotka nykyisin muodostavat maantieteellisesti pohjoisimman (polaarisen) ja tuntureilla ylimmän (alpiinisen) metsänrajan. Vastaava lämmin jakso löytyy vasta 1700-luvun puolivälistä, joka näkyy hyvin myös Vätsärin erämaiden puuston ikärakenteessa (Tynys 1998). Metsänrajamäntyjen kasvu on ollut keskimääräistä heikompaa viimeisten 40 vuoden aikana.

3 Millaisia ilmastovaihtoehtoja on tarjolla?

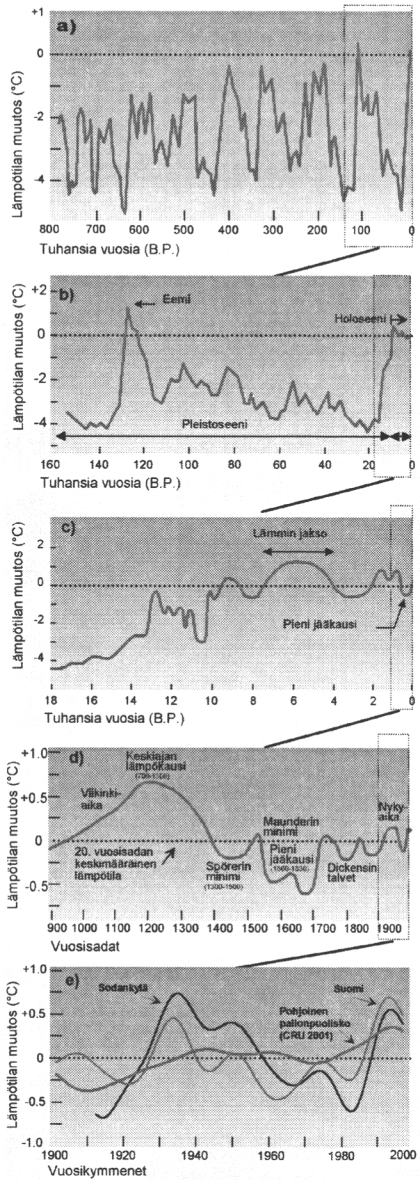
Lapin metsien tulevaisuuden arviointi edellyttää aiemman ilmastohistorian tuntemista. Kuvassa 4 esitellään viisi erilaista aikajännettä, alkaen noin miljoonan (800 000) vuoden jääkausi-ikkunasta ja päätyen vuosisadan sisäiseen tarkasteluun. Maapallon ilmaston lämpötilavaihtelut ovat pysytelleet viiden asteen ja lämpimämpien jaksojen aikana asteen suuruusluokassa. 1900-luvun lämpötilavaihtelut ovat olleet varsin normaaleja.

Ilmastonmuutokset voidaan jakaa kolmeen ryhmään aikajänteen perusteella (Calvin 1998): 1) 100 000 vuoden jaksoissa toistuviin jääkausiin 2) parisataa vuotta kestäviin ilmaston lämpenemisjaksoihin (*global warming*) ja 3) muutamien vuosien aikajänteellä toimiviin *ENSO*on (*El Nino/Southern Oscellations*), *NAO*on (*North Atlantic Oscillations*) ja muihin vastaaviin ilmiöihin. Lisäksi ovat dramaattisimpana ilmastonmuutostyyppinä Grönlannin jääkairaustutkimuksista todetut äkilliset ilmastomuutokset (*abrupt climate flips, flip flops*).

3.1 Jääkaudet ja lämpökaudet

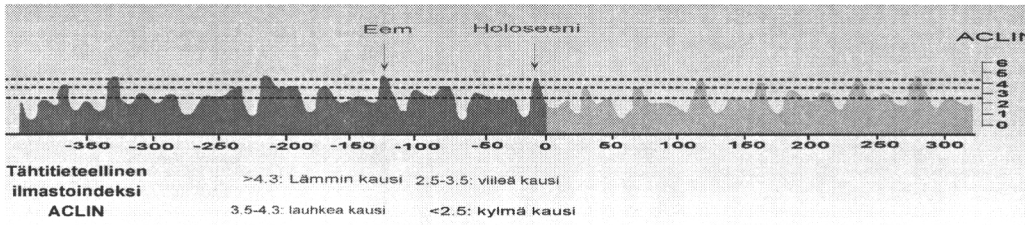
Jääkaudet ovat luonnollinen ja merkittävä osa maapallon ilmastonvaihteluita. Jääkausiksi kutsutaan viileitä aikajaksoja, joiden aikana napajäätiköt leviävät alemmille leveysasteille. Lämpötiloilla arvioiden kyse on 1,5–5 asteen pudotuksesta lämpökausiin verrattuna. Jääkaudet luonnehtivat kahta hyvin erilaista aikajaksoa: maapallon ilmastohistorian aiemmassa vaiheessa vallitsivat kymmenien tai satojen miljoonien vuosien pituiset viileät jaksot, joiden aikana jäätiköt kaiken aikaa joko laajenivat tai kutistuivat. Jääkausilla tarkoitetaan myös kymmenien tuhansien vuosien pituisia jaksoja, jolloin jäätiköiden määrä on lähellä maksimiaan. Jääkaudet syntyvät maan aseman ja asennon pitkäaikaisista vaihteluista kiertoradallaan. Maan kiertoradan elliptisyys, sen pyörimisakselin asennossa vuosituhansien aikana tapahtuvat pienet vaihtelut ja sen hyrrämäinen "vaapunta" (prekessio) vaikuttavat maan auringosta saamaan säteilyenergian jakaumaan ja määrään. Kun mainitut tekijät yhdistetään maapallon ilmaston lämpötilavaihteluihin, voidaan ns. ACLIN-ilmastoindeksiä (***A**stronomical **CL**imate **IN**dex*) käyttää myös tulevan ilmaston ennustamiseen (kuva 5, Eronen 1992).

Ensimmäiset suuret jäämassat kertyivät maapallolle runsaat kaksi miljardia vuotta sitten, jolloin Huron-jääkausi peitti osan silloista mannerta nykyisen Pohjois-Amerikan alueella. Tämän noin 200 miljoonaa vuotta kestäneen maailman vanhimman jääkauden merkkejä on löytynyt myös Pohjois-Karjalasta, Kontiolahden Urkkavaarasta (Marmo ja



Kuva 4. Euroopan ja Pohjois-Amerikan lämpötilavaihteluista viimeisten 800 000, 150 000, 18 000, 1000 ja 100 vuoden aikana. a) Ainakin 8 jääkautta on esiintynyt viimeisten 800 000 vuoden aikana. b) Viime jääkautta edeltävän Eemin ja nykyisen Holoseenin lämpötilakehitykset muistuttavat toisiaan. Jääkautiset lämpötilat ovat 4–5 astetta alempia. c) Nykyisen Holoseenikauden lämpömaksimi sattui Atlanttiselle kaudelle noin 6000 vuotta sitten, jolloin oli nykyistä pari astetta lämpimämpää. d) Viimeinen vuosituhat alkoi keskiajan lämpökaudeksi kutsutulla jaksolla. Silloinen noin puolen asteen lämpötilan nousu vastaa nykyistä nousua. Kylmintä oli pienen jääkauden aikana 1600-luvun lopulla. e) Lämpötilan nousua 1900-luvun alkupuoliskolle pidetään "toipumisena" pienestä jääkaudesta. Vuosisadan lopulla tapahtunut lämpötilan nousu aiheutuu Suomessa NAO-ilmiön aktivoitumisesta. Lähteet: Bradley ja Eddy 1991 (a–c), Daly 2001 (d) ja Jones 1997, Ojansuu ja Henttonen (1983) sekä Ilmatieteen laitos (e).

Ojakangas 1984). Viimeistä noin 2,5 miljoonan vuoden pituista geologista jaksoa kutsutaan jääkausien ajaksi eli kvartäärikaudeksi. Tänä aikana on sattunut yli 20 jäätiköiden etenemis- ja perääntymisvaihetta, viimeisimmän etenemisen tapahduttua 25 000–10 000 vuotta sitten. Viimeisen 750 000 vuoden aikana on ollut kahdeksan jääkautta ja niiden välistä lämpökautta (interglasiaalia). Geologit ovat löytäneet jäänteitä ainakin viidestä nykyisen Suomen maaperällä vallinneesta jääkaudesta (kuva 4a).



Kuva 5. Tähtitieteellisessä ilmastoindeksissä ACLIN (***A**stronomical **CL**imate **IN**dex*) on otettu huomioon maan kiertoradan elliptisyys, sen pyörimisakselin asennossa vuosituhansien aikana tapahtuvat pienet vaihtelut ja hyrrämäinen "vaapunta" (prekessio), jotka kaikki vaikuttavat maapallon auringosta saamaan säteilyenergian jakaumaan ja määrään. Kun nämä pienet muutokset on suhteutetaan maapallon ilmaston lämpötilavaihteluihin, on tuloksena tarkka "jääkausimittari".

Viimeisin jääkausivaihe kesti ajan 117 000–10 000 vuotta sitten (kuva 4b). Jäätiköt levisivät Kanadaan, Skandinaviaan, Skotlantiin ja USAn itäosiin peittäen 32% maa-alasta. Nykyiset jäätiköt peittävät 10 % sijaiten pääasiassa Grönlannin ja Antarktiksen alueilla.

Holoseeni (kuva 4c) on muodostunut varsin rauhalliseksi jaksoksi viimeisen 100 000 vuoden aikaskaalassa tarkasteltuna (Broecker 1995). Tämänkin jakson lämpötiloissa on ollut aaltoilua ja muita trendimäisiä muutoksia, mutta vaihtelu on pysynyt parin asteen haarukassa.

3.2 Lämpenemisjaksot (Global warming)

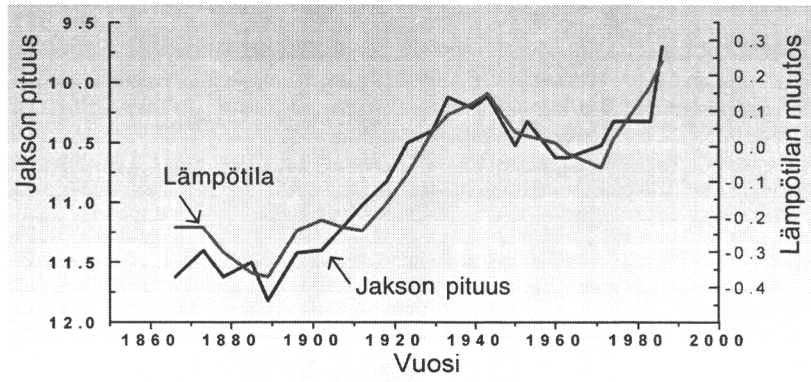
Ilmaston lämpeneminen (global warming) määritellään pitkäaikaiseksi maan alimman kerroksen (troposfäärin) keskilämpötilan nousuksi. Käsite yhdistetään usein ns. voimistuneeseen kasvihuoneilmiöön (*Greenhouse effect*). Kasvihuoneilmiö on sinänsä luontainen osa maapallon ilmaston toimintaa, joka perustuu ilmakehän ns. kasvihuonekaasujen ominaisuuteen varastoida maasta poistuvaa lämpösäteilyä. Maapallon keskilämpötila (+15 °C) olisi ilman kasvihuonekaasuja 33 astetta nykyistä alempi (-18 °C). Kasvihuonekaasujen osuus ilmakehän kaasuista on noin 2 %, josta pääosan muodostaa vesihöyry hiilidioksidin osuuden ollessa vain 0,04 %. Ihmisen teollinen toiminta on lisännyt kasvihuonekaasujen määrää 0,1 %:n verran. Maapallon keskilämpötilan nousun noin puolella asteella arvioidaan olevan tämän toiminnan seurausta.

Maapallon lämpenemisen syyksi on esitetty myös auringon energiatuotannon vaihteluita. Vuosina 1980–89 tehdyt Solar Max–satelliittimittaukset osoittivat, että auringon energiantuotantoa kuvaava aurinkovakio ei olekaan vakio, vaan sykkivä muuttuja, jonka arvot vaihtelivat ±0,22 % (3 w/m^2) keskiarvosta (Willson 1991). Auringon säteilyenergia nousi 1900-luvun selvään maksimiinsa vuonna 1980 ja saavutti toiseksi korkeimman arvonsa vuonna 1990. Viisi viimeisintä auringonpilkkumaksimia (1944–1990) olivat säteilyvoimakkuudeltaan vuosisadan korkeimmat. Erikoista on, että auringonpilkkujakson pituus lyhentyi 11 vuodesta 9 vuoteen. Tanskalaiset tutkijat (Friis-Christensen ja Lassen 1991) vertailivat auringonpilkkujakson pituutta maapallon keskilämpötilaan (kuva 6) päätyen häkellyttävään yhteensopivuuteen (r=0,95). Ilmiö aiheutuu heidän mukaansa aiempaa aktiivisemmasta ja kuumemmasta auringosta, jonka kasvanut säteilyteho varastoituu lämpönä meriveteen, josta se edelleen siirtyy ilmaan. Selitystä tukee syvien merivesien lämpeneminen viimeisten 40 vuoden aikana noin 0,6 °C:lla. Vuonna 1996 tehtiin uusi merkittävä havainto: Svensmark ja Friis-Christensen (1997) löysivät auringon aktiivisuutta, kosmista säteilyä ja maan pilvipeitettä koskevan yhteisen lainalaisuuden. Kun aurinko on aktiivisimmassa vaiheessaan, heikkenee maapallon ilmakehään kohdistuva neutronipommitus (kosminen säteily), joka puolestaan vaikuttaa pilvipeitteeseen vähentävästi 4 prosentin verran (kuva 7). Siten lämpöä pääsee meriin entistä enemmän.

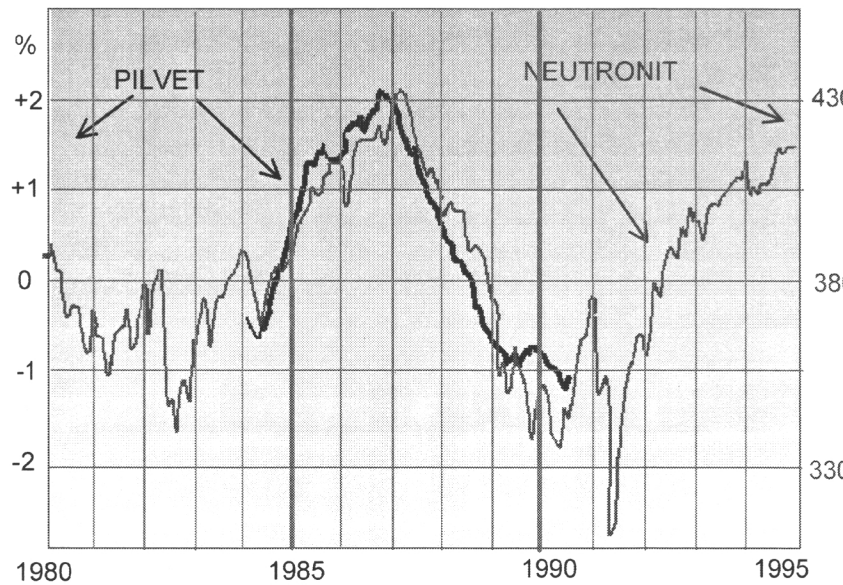
On arvioitu, että auringon säteilytehon kasvu 0.2 %:lla nostaa maapallon lämpötilaa 0,15 asteella. Vertailuna mainittakoon, että jääkauden syntyyn riittää 0,1 %:n (1,5 w/m^2) pitkäaikainen säteilytehon muutos. Willson (1991) arvioi auringon energiatuotannon vaihteluiden selittävän ilmaston lämpenemisestä noin neljänneksen (0,10 °C). Dalyn (2001) ja Landscheitin (2001) mukaan vaikutus voi olla käytännössä jopa kolminkertainen eli 0,45 °C ilmakehän kerrannaisvaikutusten ansiosta.

Pohtila (1980) havaitsi metsänrajamännyn uudistumisvuosien sattuvan auringonpilkkujakson maksimin välittömään läheisyyteen, mikä on sopusoinnussa myös Sirénin esittämiin useamman vuoden pituisiin uudistumisjaksoihin vuoden 1855–57 uudistumisjaksoa lukuun ottamatta. Katovuodet puolestaan näyttivät osuvan auringon aktiivisuuden minimivuosiin. Myös kasvukauden tehoisa lämpösumma näytti seuraavan auringon aktiivisuuden vaihteluita. Mekanismia, joka olisi selittänyt riippuvuussuhteen, ei vielä 1980-luvun alussa ollut mahdollista esittää. Uudet tutkimustulokset tekevät esitetyt päätelmät ainakin periaatteessa mahdollisiksi.

Auringon aktiivisuuteen voi liittyä myös AMO-rytmiksi (*Atlantic Multidecadal Oscillations*) nimetty Atlantin syvien merivesien lämpötilan jaksollinen 50–70 vuoden vaihtelu (Kerr 2000). AMOn huippuvaiheet



Kuva 6. Maapallon keskilämpötila seuraa tarkasti (r=0,95) auringon energiatuotannon vaihteluita kuvaavaa auringonpilkkujakson pituutta (Friis-Christensen ja Lassen 1991). Merkille pantavaa on, että totutun 11 vuoden jakson sijasta nykyisin on puhuttava 10 tai jopa 9 vuoden jaksoista! Auringon halkaisijan on todettu pienentyneen noin 410 km:llä viimeisten 200 vuoden aikana. Kutistunut aurinko on nyt entistä kuumempi, mikä saattaa selittää noin 2,5 w/m^2 tehon kasvun. Viimeksi mainitun on laskettu merkitsevän noin 0,15 asteen nousua maapallon keskilämpötilassa.

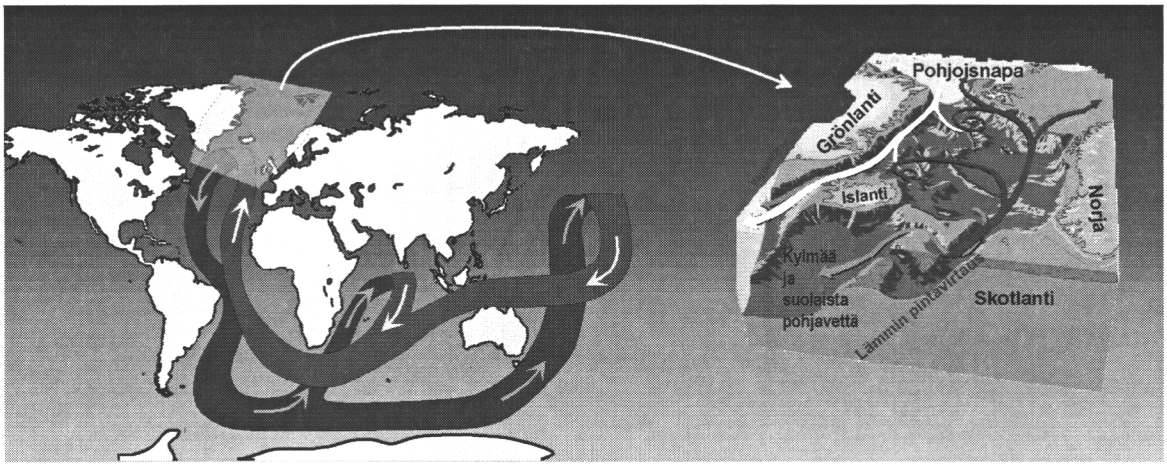


Kuva 7. Pilvipeite vähentyy noin neljällä prosentilla, kun maapallon ilmakehään kohdistuva neutronipommitus (kosminen säteily) heikkenee auringon ollessa aktiivisimmassa vaiheessaan (Svensmark ja Friis-Christensen 1997). Pilvisyyden väheneminen merkitsee lämpösäteilyn voimistumista ilmakesän alaosissa. Tässäkö selitys auringon aktiivisuuden ja maapallon ilmaston vaihteluiden väliselle vuorovaikutukselle?

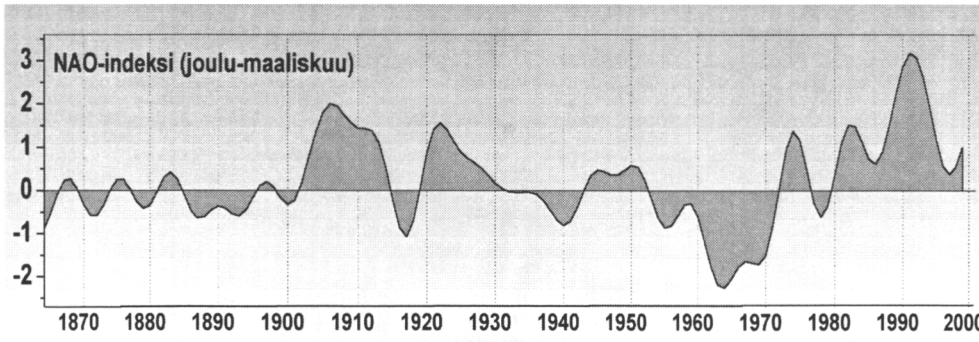
sattuivat 1940- ja 1990-luvuille, mikä vastaa pohjoisen pallonpuoliskon keskilämpötilan vaihteluita. Instrumentaalimittauksiin perustuvat kaksi AMO-jaksoa eivät vielä kuitenkaan riitä todistamaan ilmiötä jaksolliseksi; avuksi tarvitaan proksisarjojen pitempiä aikajänteitä. Lapin pitkä kronologia on yksi ehdokas AMO-rytmin tutkimiseksi. Mielenkiintoisen osionsa muodostaa myös AMOn ja auringon aktiivisuuden väliset yhteydet. On mahdollista, että metsänrajamännyn lustot sisältävät NAO-signaalin lisäksi auringon aktiivisuutta kuvaavan signaalin, kuten Pohtila jo vuonna 1980 esitti.

3.3 Lyhytaikaiset vaihtelut (NAO)

Vaikka jäätikkö- ja sedimenttilustot osoittavat ilmaston keskilämpötilan pysyneen viimeisten 10 000 vuoden aikana varsin vakaana, on lämmön jakautumisessa maapallon eri osien suhteen suurta vaihtelua. Maapallon lämmönjako perustuu merissä kiertävään lämmönsiirtojärjestelmään, jonka osan muodostaa Golf-virta (kuva 8). Lämmönsiirron ja ilmaston vuorovaikutteista toimintaa ilmentävät jaksoittaiset vaihtelut, joista tunnetuimmat ovat eteläisellä pallonpuoliskolla vaikuttava ENSO (*El Nino/ Southern Oscillations)* sekä sen pohjoinen serkku, Pohjois-Atlantin NAO (*North Atlantic Oscillations*). Niiden huippuvaiheet merkitsevät normaalista poikkeavien sääolojen muodostumista eri puolille maapalloa.



Kuvat 8. Fennoskandialle elintärkeä Golf-virta (oik.) on osa suurempaa maapallon meriä kiertävää lämmitysjärjestelmää (Conveyer), jossa päiväntasaajan suunnasta pohjoiseen virtaava lämmin vesi luovuttaa lämpöä merenpinnan yläpuoliseen ilmaan. Tuulet, joita NAO-ilmiö ohjailee, hoitavat lämmön jatkojakelun kohteisiin. Painavammaksi ja suolaisemmaksi tullut jäähtynyt vesi palaa takaisin etelään merten syvänteisiin vaipuessaan.

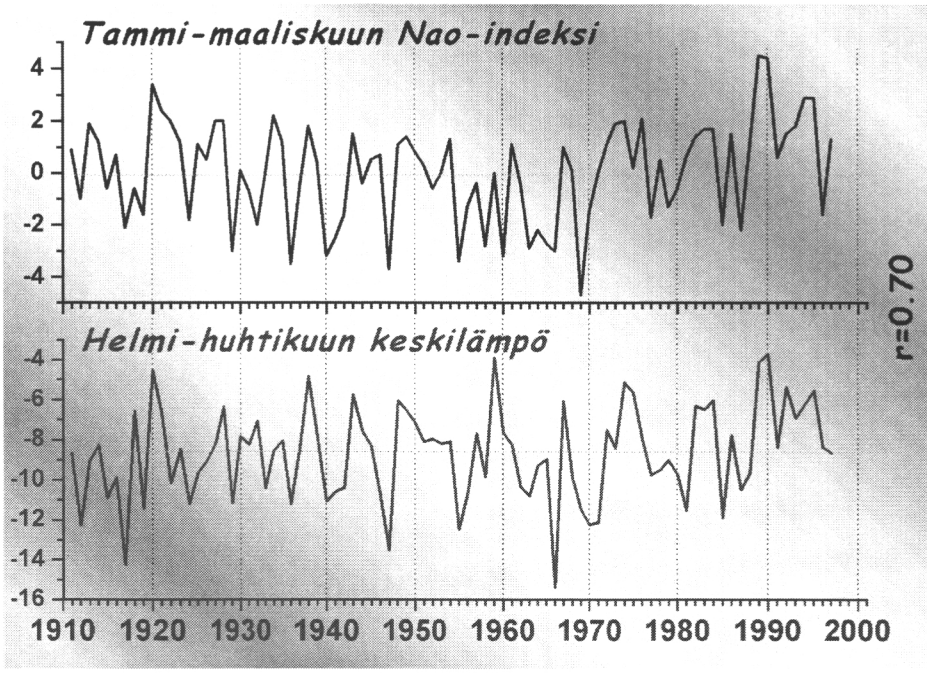


Kuva 9. NAO-indeksit (Jones ym. 1997) kuvaavat Islannin ja Azoreiden välisiä ilmanpaine-eroja. Korkea NAO-indeksi eli matala ilmanpaine Islannissa aiheuttaa Pohjois-Euroopan suuntaan voimakkaita lounais- ja länsituulia, jotka siirtävät Golf-virran lämpöä Fennoskandiaan. NAO-indeksit selittävät hyvin 1990-luvun lämpimien talvien syyn.

NAO-ilmiö vaihtelee jaksoittaisesti aiheuttaen äärivaiheissaan poikkeuksellisia säitä Euroopassa ja Pohjois-Afrikassa. Sen vaikutukset myös Suomen ilmastoon ovat dramaattiset. NAOn huippuvaihe, jota ilmaisee korkea indeksi, ilmenee Suomessa erityisesti sydäntalvella lämminhenkisinä mutta välistä myös myrskyisinä länsi- ja lounaistuulina (kuva 9).

Ilmastotutkijat kiinnittivät viime vuosikymmenellä paljon huomiota NAOon liittyvien lounaisten/läntisten ilmavirtausten (länsivirtausten) voimistumiseen. Sen seuraukset näkyivät Suomessakin nousseina talvikauden keskilämpötiloina ja Lapissa myös lisääntyneenä sateisuutena. Talvikuukausien (joulu-maaliskuu) keskilämpötila nousi männyn metsänrajaseuduilla jopa parilla asteella koko tarkastelujaksoon (1901–1997) verrattuna ja lunta satoi normaalia enemmän, esimerkiksi talvella (1999/2000) Käsivarressa jopa kolminkertaisesti ja muualla Lapissa kaksinkertaisesti normaaliin nähden. Talvikauden sateisuus ei tosin Suomessa, Käsivartta lukuunottamatta, korreloi kovin hyvin NAO-indeksien kanssa. Orografiset tekijät (mm. korkeat maastomuodot) vaikuttavat sateiden alueelliseen jakaantumiseen, ja erityisesti Norjan ja Ruotsin välimaastossa sijaitseva Kölivuoristo jakaa sateet niin, että NAO-indeksien ja sateisuuden korrelaatio on Norjassa korkea mutta Suomessa pieni.

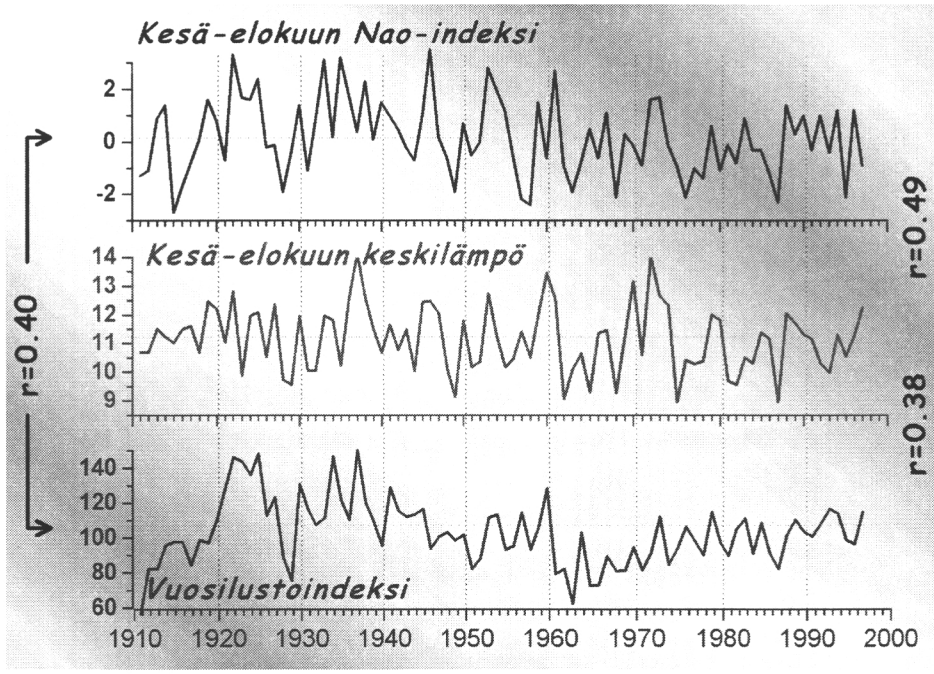
NAO vaikuttaa voimakkaimmin talvikaudella Suomen ilmastoon. Esimerkiksi tammi-maaliskuun NAO-indeksi (kuva 10) korreloi helmihuhtikuun keskilämpötilaan korrelaatiokerrointasolla r=0,7, jota on pidettävä korkeana. NAOn vaikutusta kesäkauden sääoloihin tai puun kasvuun on pidetty vähämerkityksisenä. Samaan suuntaan viittaa kesä-heinäkuun keskilämpötila, joka on pysytellyt männyn metsänrajalla viimeisten 25 vuoden aikana 1900-luvun keskiarvon tuntumassa, ehkä hiukan



Kuva 10. NAO-indeksi on hyvä Pohjois-Atlantin ilmaston vaihteluiden mittari. Se kuvaa Islannissa ja Azoreilla vallitsevien ilmanpaineiden välistä suhdetta. Korkea NAO-indeksi merkitsee Islannin seuduilla matalapainetta, joka ilmenee Suomessa läntisinä ja lounaisina tuulina. Kevättalven (helmi-huhtikuu) keskilämpötila männyn metsänrajalla seuraa noin kuukauden viiveellä tammi-maaliskuun NAO-indeksiä: korrelaatio 0,70 osoittaa yhteyden olevan melko kiinteän. Koko 1990-luvun vallinnut korkea NAO-indeksi teki vuosikymmenestä poikkeuksellisen lämpimän ja lumisen.

sen alapuolellakin. Jotain näyttää kesäsäissäkin tapahtuneen, sillä lämpötilan äärivaihtelu näyttää pienentyneen: huippuhelteet ja kylmänpiikit puuttuvat. Mielenkiintoinen on myös havainto, jonka mukaan metsänrajamännyn vuosilustoindeksin ja NAOn talvikuukausien (joulu-maaliskuu) välillä vallitsee heikko, mutta tilastollisesti merkitsevä riippuvuus ($r = 0{,}4$, kuva 11). Uudet tulokset vahvistavat myös Lapin kesäkauden ilmaston yhteyden NAO-ilmiöön. Samalla ilmenee, että kolmen kuukauden NAO-indeksit korreloivat ympärivuotisesti vastaavasti laskettuihin lämpötiloihin joko lähes viiveettömästi tai korkeintaan kuukauden viiveellä.

NAO-indeksin vaihteluväli on viime vuosikymmeninä pienentynyt, mikä saattaa olla yhteydessä sekä keskilämpötilassa että vuosilustoindeksissä tapahtuneeseen vaihtelun pienentymiseen. Jos havainto pitää



Kuva 11. Metsänrajamännyn ilmasto on kesälläkin yhteydessä NAO-ilmiöön. Esimerkiksi touko-heinäkuun keskilämpötilan ja saman jakson NAO-indeksin välinen korrelaatio on 0,61. Vuosilustoindeksin ja NAOn välinen korrelaatio (r=0,26) tässä asetelmassa on vaatimaton, sillä metsänrajamännyn kasvu keskittyy heinä-elokuulle. Metsänrajamännyn kasvukuukausien heinä- ja elokuun keskilämpötilan korrelaatio kesä-elokuun NAO-indeksiin on 0,47 ja lustoindeksiin 0,50. NAOn ja lustoindeksin välinen korrelaatio on 0,35. Kesäkauden eli kesä-elokuun NAO-indeksi ja vastaavan ajanjakson keskilämpötila korreloivat 0,50:n tasolla. Vuosilustoindeksi yltää tällä asetelmalla korkeimpaan korrelaatioonsa NAOn kanssa, 0,40:een.

paikkansa, voi olla kyse siitä, että länsivirtausten mukana saapuva kosteampi meri-ilma lisää myös kesänaikaista pilvisyyttä ja sateisuutta. Tällöin idän, kaakon ja etelän suunnilta saapuvan kuivemman ja kuumemman mantereisen ilmaston äärevöittävä vaikutus (poutapäivät, hallayöt) vähenee.

3.4 Äkilliset ilmastonmuutokset

Äkillisissä ilmastonmuutoksissa valtaosa maapallosta joutuu hyvin lyhyessä ajassa, jopa 10–20 vuodessa, jääkautisten lämpötilojen valtaan. Muutaman sadan vuoden kuluttua sää palautuu yhtä nopeasti normaaliksi kuin oli jäähtynytkin. Nämä tapahtumat ovat toistuneet edeltävän

100 000 vuoden aikana muutaman tuhannen vuoden välein. Viimeisin huomattava kylmeneminen alkoi ilmaston lämpenemisvaiheessa noin 12 700 vuotta sitten. Tämä nuoremmaksi Dryas-kaudeksi kutsuttu vaihe kesti peräti 1300 vuotta. Uusi äkillinen lämpeneminen alkoi 11 500 vuotta sitten, jolloin myös ensimmäiset maanviljelyskylät perustettiin Lähi-Itään. Ilmasto alkoi kylmetä jälleen 8200 vuotta sitten, mutta palautui ennalleen jo 100 vuotta myöhemmin.

Äkilliset ilmastonmuutokset aiheutuvat Broeckerin (1997) mukaan yhtäkkisistä muutoksista maapallon lämmönsiirtojärjestelmässä. Pohjois-Atlantin suolainen ja talvisin jäähtyvä merivesi toimii kiertoa ylläpitävänä voimana (*driving force*), sillä vaipuessaan syvyyksiin Kanadan puoleisella rannikolla ja virratessaan etelää kohti se tekee tilaa kevyemmälle ja lämpimämmälle etelästä virtaavalle pintavedelle, josta osan muodostaa Golf-virta. Tällä latauksella vähitellen lämpenevä paluuvesi kulkeutuu Afrikan eteläkärkeen saakka. Järjestelmä latautuu uudelleen Antarktiksen rannikolla, jossa jäätyvä suolainen merivesi vapauttaa suolaa veteen tehden siitä raskaampaa ja saaden sen jälleen vajoamaan. Tämä sysäys puskee vettä pohjoisen suuntaan Intian valtamerta ja Tyyntämerta kohti, jossa se lämpenee ja nousee pintaan aloittaen uuden kierroksen.

Aiemmat äkilliset ilmastonmuutokset aiheutuivat teorian mukaan jäätiköiden sulamisessa syntyneiden makeanveden altaiden purkautumisista mereen. Tällöin kevyt suolaton vesi ei vajonnutkaan alaspäin vaan jäi pintaan estäen samalla lämmönsiirtojärjestelmän toiminnan. Tästä oli seurauksena maapallon laajuinen ilmaston nopea jäähtyminen ja kytkeytyminen uuteen ilmastolliseen toimintamalliin. Muutamien vuosisatojen kuluessa löytyi uusi tasapainotila, jolloin ilmasto lämpeni yhtä nopeasti kuin oli laskenutkin. Nykyisinkin on mahdollista, että kasvihuoneilmiön voimistamat sateet ja Grönlannin jäätiköiden massiivinen sulaminen pohjoisilla merialueilla johtaisivat samankaltaiseen tilanteeseen dramaattisine seurauksineen. Ilmastokatastrofi voisi merkitä Euroopan keskilämpötiloissa 5–15 asteen pudotusta kymmenessä vuodessa. Lisäksi kylmenemisvaiheeseen sisältyisi ilmaston epävakaus (*flickering*), mikä ilmenisi sään rajuina vuotuisina vaihteluina. Muutoksen nopeuden vuoksi on pelättävissä, ettei maatalous ehtisi sopeutua siihen, millä tietenkin olisi mittavat vaikutuksensa. Nykyisten jäätiköiden vakiintuneeseen asemaan luottavat tutkijat arvelevat, ettei olisi edellytyksiä edes 8200 vuoden takaiseen ilmaston notkahdukseen, jolloin ilmeisesti Pohjois-Amerikan Laurentia-jäätikön jääjärvestä yhtäkkisesti purkautuva makea vesi häiritsi maapallon lämmönsiirtojärjestelmän toimintaa Pohjois-Atlantilla (Broecker 1997).

4 Tulevan ilmaston kehitysnäkymät

4.1 Ennustamisen suuntaviivat

Jääkausien ja niiden välisten lämpöjaksojen toistuminen on kiistatonta ilmastohistorian tietoa, jota voidaan soveltaa myös pitkän aikavälin ilmastoennusteissa. ACLIN-indeksin (kuva 5) mukaan esimakua seuraavasta jääkaudesta saadaan jo noin 2000 vuoden kuluttua. Ilmasto kylmenee asteittain siten, että noin 23 000 vuoden kuluttua on edellistä voimakkaampi notkahdus ja noin 60 000 vuoden kuluttua seuraa jääkauden kylmin vaihe. Jäätiköityminen sisältää useita etenemis- ja perääntymisvaiheita.

Lämpökaudet (interglasiaalit) ovat lyhyitä jaksoja jääkausiin verrattuna. Viime jääkautta edeltävä Eemikausi kesti 13 000 vuotta. Nykyinen Holoseenikausi on kestänyt jo 10 000 vuotta. ACLIN-syklin mukaan on menty jo alle indeksiarvon 2,5, mikä tarkoittaa siirtymistä ilmastoluokituksessa kylmimpään kauteen. Olemme siis jo nyt jääkauden kynnyksellä! Voimistuneen kasvihuoneilmiön aiheuttama ns. superinterglasiaali voi viivästyttää joillakin vuosisadoilla jäähtymistä.

ACLIN-syklit vaikuttavat maapallon ilmastoon tuhansien vuosien aikajänteellä. Ihmisiän näkökulmasta niin hitailla muutoksilla ei liene juuri merkitystä, sen sijaan vuosien ja vuosikymmenien aikana tapahtuvilla muutoksilla on. Lähivuosikymmenien ilmaston kehityksen arviointi on epävarmaa, sillä ilmastodynamiikkaan liittyy paljon vaikeasti hallittavia tekijöitä. Ongelmana on myös se, että kaikkia ilmastoon vaikuttavia prosesseja ei vielä tunneta kunnolla tai ei lainkaan. Lisäksi ovat satunnaisesti vaikuttavat kaoottiset tapahtumat (esim. meteoriitit, tulivuorenpurkaukset, maanjäristykset), jotka heikentävät parhaimpienkin mallien ennustekykyä.

Lähivuosiymmenien ilmastoa ennustetaan mm. 1) *voimistuneella kasvihuoneilmiöllä*, 2) *auringon energiantuotannon vaihteluilla* ja 3) *molempien yhdistelmillä*. Kannattajia on saanut myös 4) *ei-lämpenemistä* –vaihtoehdon tutkiminen. Käsitykset lämpenemisen syistä menevät ristiin. Hallitusten kansainvälinen ilmastopaneeli IPCC pitää selviönä, että ilmastonmuutoksen syynä on voimistunut kasvihuoneilmiö, jossa auringon osuus on korkeintaan vähäinen. Kriittisesti asiaan suhtautuvat pitävät voimistunutta kasvihuoneilmiötä riittämättömänä synnyttämään havaittua lämpenemistä. Osa tutkijoista uskoo molempien tekijöiden yhteisvaikutuksiin. Ei-lämpenemisen vaihtoehdolle asettuneet tutkijat arvostelevat maapallonlaajuisten lämpötilamittausten suoritus- ja laskentatapaa. Tuhansien lämpötilasarjojen yhdistelemiseen yhdeksi yli 100-vuotiseksi keskiarvosarjaksi sisältää yllättävän monta virhelähdettä, jotka aiheutuvat pitkistä sarjoista itsestään, havaintoasemaverkostojen rakenteista ja niiden muutoksista, mittaustavoista maalla/merellä/ilmassa/ava-

ruudesta (Daly 1998, 2001). Keskustelua on mm. herättänyt asutuskeskuksissa mitattujen lämpötilasarjojen nousevat trendit, jotka eivät näy läheisten maaseutuasemien sarjoissa (vrt. kuva 4e: Sodankylän ja koko Suomen keskiarvosarjat).

Ilmastonmuutoksen luontaisia prosesseja ei tunneta läheskään riittävästi. Uusien löytöjen sävyttämässä epävarmassa asetelmassa on myös vaikeaa arvioida ihmisen toiminnan vaikutusta ilmastonmuutokseen. Instrumentaalimittauksien lyhyt aikajänne vaikeuttaa ilmastoon vaikuttavien pitkäjaksoisten ilmiöiden selvittämistä. Prokseilla päästään pidempiin aikajänteisiin, mutta niiden puutteena on joko epätarkkuus tai vain osittainen yhteys tutkittavaan ilmiöön. Esimerkiksi Lapin männyn vuosilustoja voi käyttää vain kesä-heinäkuun lämpöolojen selvittämiseen, mutta se ei sovellu kokoko vuoden keskilämpötilan arviointiin.

4.2 "Ilmastoennuste" Suomelle

Lähinnä keskustelun pohjaksi ja vaihtoehtojen tarjoamiseksi seuraavassa esitetään AMO-rytmiin perustuva lähivuosikymmenien ilmastoennuste. Jos Atlantin merivirroissa vaikuttava AMO-rytmiikka on todellinen, Atlantin vedet pysyvät puolisen astetta normaalia lämpimämpinä vielä 10–15 vuotta. Miten Suomi tulisi hyötymään siitä, riippuu NAO-ilmiön käyttäytymisestä. Jos NAO-indeksit pysyvät korkeina, kuten tapahtui 1990-luvulla, pitävät vallitsevina olevat lounaistuulet Suomen talvet jatkossakin tavanomaista lämpimämpinä. Jos NAO-ilmiö normalisoituu vähitellen, jolta tällä hetkellä näyttää, voivat talvemme normalisoitua jo lähivuosina. Toisaalta NAO voi seurata AMOn vaiheita. Sen mukaan vuosituhannen ensimmäinen vuosikymmen olisi Suomessa ja Pohjois-Euroopassa selvästi normaalia lämpimämpi. Pitkän ajan keskiarvon alapuolelle menevä viilentyminen alkaisi vasta vuoden 2015 jälkeen ja joskus 2020-luvun loppupuolella tultaisiin kylmimpään jaksoon, jolloin oltaisiin ehkä parisen astetta keskiarvon alapuolella eli olisi nelisen astetta nykyistä kylmempää. Miten ihmisen aikaansaama ilmastonmuutos ja muut tekijät vaikuttavat tähän tilanteeseen, jää toistaiseksi avoimeksi kysymykseksi.

Esitetty AMO-ennuste kuten kaikki muutkin ilmastoennusteet tarjoavat viitemateriaalia ilmastonmuutostutkimuksen kehittämiseksi. Jotta turhilta ylilyönneiltä vältyttäisiin, tutkijoiden tulisi ilmastomuutoksen ennustamiseen liittyvien lukuisten epävarmuustekijöiden vuoksi pitää ainakin julkisessa keskustelussa "jäitä hatussa". Ainut ja oikea tuomari näissä asioissa on – valitettavasti – aika.

5 Onko menneisyys Lapin metsien tulevaisuuden peili?

Maapallon ilmasto näyttää toistuvan ainakin jääkausirytmien osalta ennustettavasti. Mantereiden vaeltaminen ja monet muut tekijät muuttavat jääkausiaikojakin hiukan toisistaan poikkeaviksi. Muutokset ovat kuitenkin niin hitaita, että tähän "pysyvyyteen" voitaneen toistaiseksi luottaa.

Auringon toiminnan poikkeukselliset muutokset, voimistunut kasvihuoneilmiö ja ihmisen toiminta yleensä, luonnonkatastrofit ja monet muut tekijät voivat saattaa ilmaston sellaiseen epätasapainotilaan, että voi kulua vuosisatoja tilanteesta toipumiseen. Ihminen voi sopeutua muutoksiin, mutta Lapin metsien joustokyky tässä suhteessa on paljon rajoitetumpi. Menneisyys tarjoaa Lapin ja Suomenkin metsätalouden suunnitteluun erilaisia toimintamalleja. Tulevaisuus on kuitenkin sen verran arvoituksellinen, että on aiheellista tutkimuksen keinoin seurata mahdollisimman tarkoin metsien kehitystä, suurilmaston vaihteluita ja ilmastonmuutosta. Tarvittavat strategiset metsiin kohdistuvat toimenpiteet riippuvat näiden kolmen tekijän keskinäisestä asetelmasta. Vastaus otsikon kysymykseen lienee täten ainakin osittain kielteinen. "Pysyvää on vain muutos" sopii hyvin lähtökohdaksi ja toimintastrategiaksi ilmastoasioita mietittäessä.

Kirjallisuus

Bradley, R. S. & Eddy, J.A. 1991. Remembrance of things Past: Greenhouse Lessons from the Geologic Record. Earth Quest 5 (1).

Broecker, W.S. 1995. Chaotic climate. Scientific American. November 1995.

— 1997. "Will Our Ride into the Greenhouse Future be a Smooth One?" GSA Today 7(5):1–7 (May 1997). Web-dokumentti: http://www.geosociety.org/pubs/gsatoday/gsat9705.htm

Calvin, W.H. The Atlantic Monthly; January 1998. The Great Climate Flip-Flop 281(1): 47–64. Web-dokumentti: http://www.theatlantic.com/issues/98jan/climate.htm

Daly, J.L. 1998. What's wrong with the Surface Record? http://www.greeningearthsociety.org/Articles/2000/surface1.htm

— 2000. The Surface Record. "Global Mean Temperature" and how it is determined at Surface Level. http://www.microtech.com.au/daly/surftemp.htm

— 2001. Days of Sunshine. Web-dokumentti: http://www.microtech.com.au/daly/solar.htm

Dawson, A. G. 1992. Ice Age Earth. Late quaternary Geology and Climate. Routledge, London, New York. 293 s.

Donner, J. 1974. Klimatförändringarna efter senaste istid. Societas Scientarium Fennica. Årsbok – Vuosikirja 51 B 7: 1–10.

Eronen, M. 1991. Jääkausien jäljillä. Ursan julkaisuja 43. Tähtitieteellinen yhdistys Ursa. Helsinki. 271 s.

— 1992. Milloin tulee seuraava jääkausi? When will the next ice age come? Terra 104(4): 249–262.

Eronen, M., Zetterberg, P., Briffa, K. Lindholm, M., Meriläinen, J. & Timonen, M. 2000. The supra-long Scots pine tree-ring record for northern Finnish Lapland. Holocene. Painossa.

Friis-Christensen, E. & Lassen, K. 1991. Length of the solar cycle: An indicator of solar activity closely associated with climate. Science 254: 698–700.

IPCC. 2001. Climate Change 2001. The Scientific Basis. Summary for policemakers. A report from Working Group I of the Intergovernmental Panel of Climate Change. The IPCC Third Assessment Report. Shanghai, 20 January 2001. http://www.meto.gov.uk/sec5/CR_div/ipcc/wg1/WGI-SPM.pdf

Jalkanen, R. & Kurkela, T. 1990. Needle retention, age, shedding and budget, and growth of Scots pine between 1865 and 1988. Julkaisussa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.). Acidification in Finland. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg. s. 691–697.

Jones, P.D., Jónsson, T. & Wheeler, D., 1997. Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland. International Journal of Climatology 17: 1433–1450.

Kerr, R.A. 2000. A North Atlantic Climate Pacemaker for the Centuries. Science 288: 1984–1986.

Landscheit, T. 2001. Solar activity. A dominant factor in climate dynamics. http://www.microtech.com.au/daly/solar/solar.htm

Lindholm, M. 1996. Recontructions of past climate from ring-width chronologies of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) at the northern forest limit in Fennoscandia. Joensuun yliopiston luonnontieteellisiä julkaisuja 40. 169 s.

— , Timonen, M. & Meriläinen, J. 1996. Extracting mid-summer temperatures from ring-width chronologies of living pines at the northern forest limit in Fennoscandia. Dendrochronologia 14: 99–113.

— , Eronen, M., Timonen, M. & Meriläinen, J. 1999. A ring-width chronology of Scots pine from northern Lapland covering the last two millennia. Annales Botanici Fennici 36: 119–126.

Lindholm, M. , Lehtonen, H., Kolström, T., Meriläinen, J., Eronen, M. & Timonen, M. 2000. Climatic signals extracted from ring-width chronologies of Scots pines from the northern, middle and southern parts of the boreal forest belt in Finland. Silva Fennica 34(4): 317–330.

Mangerud, J., Andersen, S.-T., Berglund, B. E. & Donner, J. 1974. Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification. Boreas 3: 109–126.

Marmo, J. & Ojakangas, R.W. 1984: Lower proterozoic glacigenic deposits, eastern Finland. Bulletin of the Geological Society of America 96: 1055–1062.

Mielikäinen, K., Nöjd, P., Pesonen, E. & Timonen, M. 1998. Puun muisti. Kasvun vaihtelu päivästä vuosituhanteen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 748. 54 s.

Mikola, P. 1950. Puiden kasvun vaihteluista ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. Summary: On variations in tree growth and their significance to growth studies. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 38(5). 131 s.

Mäkinen, K. 1982. Tiedonanto Vuotson interglasiaalisesta lehtikuusen rungosta. Geologi 34: 183–185.

Ojansuu, R. & Henttonen, H. 1983. Kuukauden keskilämpötilan, lämpösumman ja sademäärän paikallisten arvojen johtaminen Ilmatieteen laitoksen mittaustiedoista. Summary: Estimation of the local values of monthly mean temperature, effective temperature sum, and precipitation sum from the measurements made by the Finnish Meteorological Office. Silva Fennica 17(2): 143–160.

Pohtila, E. 1980. Climatic fluctuations and forestry in Lapland. Holarctic Ecology 3: 91–98.

Sarvas, R. 1971. Männyn siementarpeen tyydyttäminen Pohjois-Suomessa. Moniste. Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusasema.

Sirén, G. 1961. Skogsgränstallen som indikator för klimatfluktuationerna i norra fennoskandien under historisk tid. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 54(2). 66 s.

Svensmark, H. & Friis-Christensen, E.1997. Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage – a missing link in solar-climate relationships. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 59 (11): 1225–1232.

Tynys, T. 1998. Vätsärin erämaan metsien kehitys. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisuja. Sarja A 88. 38 s.

Willson, R. 1991. Sun's luminosity over a complete solar cycle. Nature 351.

Ylispuustoisten mäntytaimikoiden syntyhistoria, rakenne ja alkukehitys Lapissa

Mikko Hyppönen ja Juha Hyvönen

Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema, PL 16, 96301 Rovaniemi

mikko.hypponen@metla.fi, juha.hyvonen@metla.fi

1 Johdanto

Pohjoisessa levinneisyytensä äärialueilla mänty ei aina pysty tuottamaan kypsää siementä, vaikka jonkin verran itävää siementä syntyykin lähes joka vuosi (Heikinheimo 1932, 1937). Merkittävät männyn siemenvuodet toistuvat metsänrajan eteläpuolella kuitenkin harvoin ja metsänrajalla vain muutaman kerran vuosisadassa (esim. Renvall 1912, Lakari 1915, Sirén 1961, 1995, Pohtila 1980a, Henttonen ym. 1986). Siemensatojen vaihtelusta huolimatta männyn luontainen uudistumiskyky on todettu Pohjois-Suomessa suhteellisen hyväksi, vaikka uudistuminen on hidasta (esim. Aaltonen 1919, Lehto 1969). Niinpä Pohjois-Suomen mäntyvaltaisissa metsissä onkin usein valmista, metsän uudistamiseen käyttökelpoista *mäntyalikasvosta* jo ennen uudistushakkuuta (Sarvas 1937, 1950, Vaartaja 1951, Oinonen 1956, Mikola 1966). Alikasvostaimikoihin on usein suhtauduttu varovasti ja epäilevästi. Syinä varovaisuuteen ovat olleet epätietoisuus alikasvoksen elpymisestä, taimien huono ulkomuoto sekä huomattava pituusvaihtelu, aukkoisuus ja ryhmittäisyys (esim. Hyppönen ym. 1998). Alikasvoksia esiintyy myös muualla Euroopan pohjoisosissa (esim. Sundkvist 1994a, Listov ym. 1995).

Siemenpuumenetelmä on todettu männyn luontaiseen uudistamiseen soveltuvaksi uudistamismenetelmäksi Pohjois-Suomessa ja Lapissa (Sarvas 1937, Lehto 1969, Punkkinen 1982, Suoheimo 1982, Valtanen 1998). Uudistettava metsikkö käsitellään siemenpuuhakkuulla niin, että uudistusalalle jää 50–150 kpl siemenpuita hehtaaria kohti. Menetelmään kuu-

Varmola, M. & Tapaninen, S. (toim.). 2001. Pohjoisten metsien hoito. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 803: 31–45.

luu myös uudistusalan raivaus ja tarvittaessa maan paljastaminen äestämällä tai laikuttamalla. Maan paljastaminen on usein välttämätöntä erityisesti niillä kasvupaikoilla, joissa on paksu raakahumus (esim. Hagner 1962, 1965, Lehto 1969, Bergan 1981, Valtanen 1998). Luontaista uudistamista voidaan edistää siemenpuuhakkuuta edeltävällä väljennyshakkuulla (esim. Metsänhoitosuositukset 1990). Friesin (1979) mukaan väljennyshakkuu on tarpeen erityisesti hoitamattomissa männiköissä. Taimia syntyy siemenpuualalle myös reunametsästä leviävistä siemenistä (esim. Ferm ja Sepponen 1981).

Pohjois-Lapissa männiköt uudistetaan monesti *luontaisen uudistamisen ja metsänviljelyn yhdistelmänä,* jolloin metsikkö siemenpuuhakkuun, raivauksen ja muokkauksen jälkeen kylvetään tai joskus istutetaan (Metsänhoitosuositukset 1990). Siemenpuut poistetaan ylispuuhakkuussa taimikon synnyttyä.

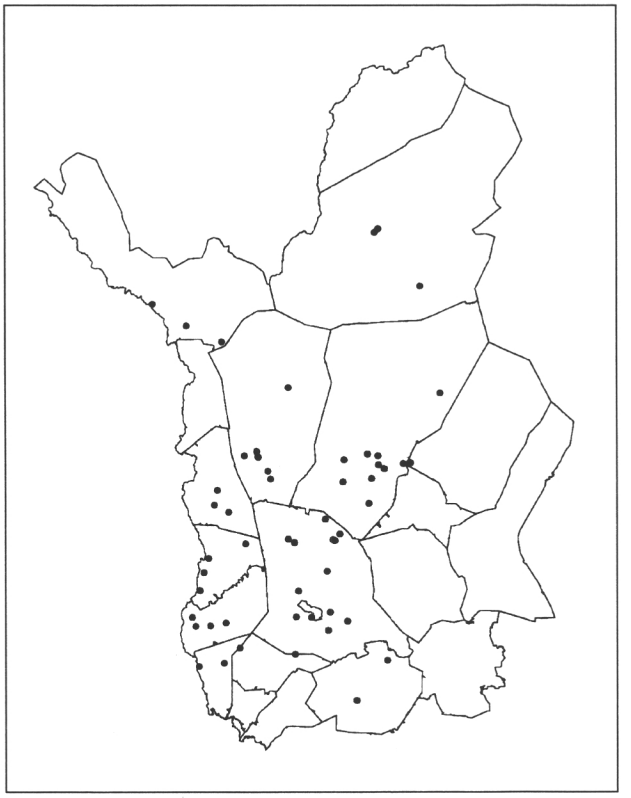
Lapissa metsien luontaiseen uudistamiseen liittyvää tutkimustietoa ei ole ollut riittävästi saatavissa. Tiedon tarvetta on lisännyt luontaiseen uudistamiseen tähtäävien hakkuiden nopea lisääntyminen 1990-luvun loppupuolella (Palén ja Lohi 1999). Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tuoda lisävalaistusta männyn luontaisen uudistamisen ongelmiin tarkastelemalla ennakkotuloksia Lapin länsiosan yksityismetsien mäntyvaltaisten ylispuutaimikoiden metsikköhistoriasta, rakenteesta ja alkukehityksestä. Tarkoituksena oli selvittää

1) miten tutkimuksen kohteina olevat mänty-ylispuutaimikot ovat syntyneet,
2) miten ja milloin luontaisesti syntyneiden taimikoiden ylispuujaksoja on aiemmin käsitelty ja mikä on ylispuustojen rakenne ennen ylispuuhakkuuta, ja
3) millainen on luontaisesti syntyneiden ylispuutaimikoiden rakenne ja alkukehitys (tiheys, tilajärjestys, elinvoimaisuus, kasvatuskelpoisuus, ikä, pituuskehitys ja syntyaika).

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Aineisto

Perusjoukkona käytettiin silloisen Lapin metsälautakunnan alueen yksityismetsien leimausluettelon mukaisia ylispuuleimikoita vuodelta 1990. Luettelosta valittiin ositettua systemaattista otantaa käyttäen (ositteena kunta) 55 ylispuustoista mäntytaimikkoa tutkimuskohteiksi (kuva 1). Taimikot inventoitiin vuosina 1991–1993.



Kuva 1. Tutkimusmetsiköiden sijainti.

Koko taimikkoa koskevia *yleismuuttujia* olivat sijaintikunta, pinta-ala, korkeus merenpinnasta, lämpösumma, kasvupaikkatyyppi, kivisyys ja soistuneisuus sekä tehtyjen uudistamistöiden (raivaus, muokkaus, mahdollinen viljely) ajankohta. Ylispuujaksosta määritettiin lisäksi edellisen hakkuun ajankohta sekä hakkuutapa ja -poistuma (m^3/ha). Tehtyjen uudistamistöiden ja ylispuuston aiemman käsittelyn perusteella määritettiin taimikon syntytapa: 1 = uudistunut luontaisesti alikasvoksena ilman uudistamistarkoitusta (alikasvostaimikot), 2 = uudistettu luontaisesti siemen- tai suojuspuuhakkuuta käyttäen (siemenpuutaimikot), 3 = uudistettu viljelemällä siemenpuuston alle. Viljelemällä uudistetut taimikot jätettiin uudistamistavan selviämisen jälkeen lähemmän tarkastelun ulkopuolelle, joten lopullinen inventoitu aineisto käsitti 51 luontaisesti syntynyttä taimikkoa.

Taimikoiden inventointimenetelmänä oli systemaattinen koeala-arviointi, jossa linjat vedettiin muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta itälänsisuunnassa. Taimet mitattiin 10 m^2:n koealoilta. Linja- ja koealaväli määräytyi taimikon pinta-alan mukaan seuraavasti:

Taimikon pinta-ala, ha	Linja- ja koealaväli, m	Koealojen lukumäärä, kpl
–2,5	20	12– 63
2,6–10,0	30	29–110
10,1–25,0	40	63–156

Koealoilta määritettiin yli 10 cm pitkien taimien kokonaismäärä ja kehityskelpoisten taimien määrä puulajeittain sekä kehityskelpoisten taimien aritmeettinen keskipituus ja -ikä. Yksittäisen taimen ikä laskettiin vuosikasvaimien perusteella. Kehityskelpoisiksi taimiksi valittiin kuntonsa ja laatunsa puolesta parhaat, yli 10 cm pituiset taimet ja niitä sai olla enintään viisi yhdellä koealalla. Taimien etäisyyden tuli olla vähintään 80 cm toisistaan (ks. Pohtila 1980b). Taimien tuli sopeutua koealalla ja siinä osassa taimikkoa, jossa koeala sijaitsi, pituutensa ja kuntonsa puolesta ympäröivään taimikkoon. Taimien tuli myös puulajin puolesta sopia kasvupaikalle Lapin metsälautakunnan metsänhoitosuositusten (1990) mukaisesti. Taimikon elinvoimaisuus määritettiin koealoilta tehtyjen havaintojen perusteella silmävaraisesti käyttämällä asteikkoa: 1 = terve ja elinvoimainen, 2 = hieman heikentynyt (esim. varjostus, kilpailu), 3 = lieviä vaurioita ja tuhoja ja 4 = tuntuvia tuhoja.

Joka viidennen koealan keskipisteestä mitattiin varsinaisten koealamittausten lisäksi ylispuuston keskipituus, pohjapinta-ala, tilavuus ja runkoluku. Lisäksi määritettiin taimiaineksen määrä puulajeittain sekä maalaji, kivisyys ja humuksen paksuus neliömetrin erikoiskoealalta.

Inventoitujen, luontaisesti syntyneiden taimikoiden yhteispinta-ala oli 130,9 ha. Taimikoiden keskipinta-ala oli 2,6 ha pienimmän ollessa 0,3 ha ja suurimman 14,4 ha. Taimikot sijaitsivat keskimäärin 170 m korkeudella merenpinnan yläpuolella vaihteluvälin ollessa 70–330 m. Taimikoiden sijaintipaikan lämpösumma (vuosien 1941–1970 tehoisan lämpösumman keskiarvo) oli keskimäärin 832 d.d.-yksikköä, alimmillaan 650 d.d. ja enimmillään 970 d.d. Taimikoista kaksi kasvoi tuoreella, 41 kuivahkolla ja kahdeksan kuivalla kankaalla. Viidennes taimikoista luokiteltiin soistuneiksi. Kivisyysrassin painuma oli keskimäärin 21,5 cm. Humuksen paksuus taimikoissa oli keskimäärin 6 cm vaihdellen välillä 1–13 cm. Kolmessa soistuneen kankaan taimikossa oli yli 20 cm turvekerros. Erikoiskoealoilta kenttämenetelmin määritetty maalajijakauma oli seuraava (n = 327):

	kpl	%
Sora ja hiekka	59	18,6
Hiekkamoreeni	182	57,4
Hieta	33	10,4
Hietamoreeni	32	10,1
Hiesu ja hiesumoreeni	1	0,3
Turve	10	3,2

Siemenpuutaimikoissa uudistusala oli raivattu 16 tapauksessa 24:sta (67 %). Muutamassa tapauksessa raivauksen tekemisestä ei saatu varmuutta, jolloin kysymyksessä oli puuttuva havainto. Maanpintaa oli käsitelty kuudessa metsikössä (25 %). Raivauksesta oli kulunut aikaa keskimäärin 19 vuotta ja muokkauksesta 10 vuotta.

2.2 Aineiston käsittely

Aineiston analysoinnissa havaintoyksikkönä käytettiin taimikkoa. Osa muuttujista oli taimikkoa koskevia yleismuuttujia. Lisäksi taimikkotasoisia muuttujia muodostettiin laskemalla koealoista keskiarvoja ja variaatiokertoimia. Muuttujia analysoitiin tunnusluvuin ja taulukoin. Taimikon sisäistä eli koealojen välistä vaihtelua kuvattiin yleensä variaatio- eli vaihtelukertoimella, jossa keskihajonta suhteutetaan keskiarvoon, mikä mahdollistaa havaintoarvojen suuruusluokaltaan erilaisten aineistojen tai muuttujien hajonnan vertailun (esim. Helenius 1989). Taimikon sisäistä ikävaihtelua tarkasteltiin kuitenkin vaihteluvälin avulla.

Taimikoiden tilajärjestystä tutkittiin tyhjien koealojen suhteellisen osuuden perusteella määritetyn aukkoisuuden perusteella. Kunkin taimikon kasvatuskelpoisuusluokka määritettiin taimikon aukkoisuuden ja kehityskelpoisten taimien määrän perusteella (esim. Hyppönen 2000):

Kasvatuskelpoisuus-luokka	Taimia vähintään kpl/ha	Tyhjiä koealoja enintään, %
Hyvä	2000	13
Tyydyttävä	1200	30
Välttävä	500	60
Huono	-	100

3 Tulokset

3.1 Taimikoiden syntytapa sekä ylispuujaksojen aiempi käsittely ja rakenne

Lähes puolet (49 %) ylispuutaimikoista oli syntynyt alikasvoksena ilman luontaiseen uudistamiseen tähtäävää hakkuuta (taulukko 1). Hieman vähemmän taimikoita (44 %) oli syntynyt siemen- tai suojuspuuhakkuuta käyttäen. Muutama taimikko oli syntynyt siemenpuuston alle kylväen tai istuttaen. Siemenpuuhakkuun tuloksena syntyneiden taimikoiden ja viljelytaimikoiden ylispuustoa oli käsitelty siemenpuuhakkuin (taulukko 1). Alikasvostaimikoiden ylispuustoa oli sen sijaan useimmiten (15 taimikkoa) käsitelty epäsäännöllisin, epämääräisin hakkuin, joille ei pystytty määrittämään tarkoitusta metsätaloudessa käytetyin hakkuutavoin.

Taulukko 1. Ylispuutaimikoiden jakautuminen luokkiin syntytavan ja ylispuuston edellisen käsittelyn mukaan.

Taimikon syntytapa	Hakkuun tarkoitus [1] 1	2	3	4	5	6	Yht.
				kpl			
Uudistunut luontaisesti alikasvoksena ilman uudistamistarkoitusta (alikasvostaimikot)	3	0	0	3	6	15	27
Uudistettu luontaisesti siemenpuuhakkuuta käyttäen (siemenpuutaimikot)	0	24	0	0	0	0	24
Viljelty siemenpuuston alle (viljelytaimikot)	0	4	0	0	0	0	4
Yhteensä	3	28	0	3	6	15	55

1) Hakkuun tarkoitus ylispuuston edellisessä käsittelyssä: 1 = ei hakattu, 2 = siemen- tai suojuspuuhakkuu, 3 = harvennushakkuu, 4 = myrskytuhojen korjuu, 5 = harsintahakkuu, hakkuu kohdistunut valtapuustoon, 6 = hakattu, hakkuutapaa ei pystytty määrittelemään

Alikasvostaimikoissa ylispuujaksoon kohdistuvasta edellisestä hakkuusta oli kulunut keskimäärin enemmän aikaa ja hakkuupoistuma oli ollut keskimäärin pienempi kuin siemenpuutaimikoissa (taulukko 2). Ylispuuston tilavuus ja runkoluku olivat alikasvostaimikoissa keskimäärin suurempia kuin siemenpuutaimikoissa. Eri puulajien osuudet ylispuustojen tilavuudesta eivät poikenneet toisistaan eri tavoin syntyneissä taimikoissa.

Taulukko 2. Ylispuuston edellisestä hakkuusta kulunut aika ja silloinen hakkuumäärä sekä ylispuuston rakenne inventointihetkellä alikasvos- ja siemenpuutaimikoissa.

	Alikasvostaimikot				Siemenpuutaimikot			
	$\bar{x}$	s	min	max	$\bar{x}$	s	min	max
Hakkuusta kulunut aika, a	33	16,8	8	80	22	8,1	8	40
Hakkuumäärä, m^3/ha	31,7	14,3	5,0	70,0	43,8	17,1	10,0	80,0
Runkoluku, kpl/ha	154	89	0	400	109	60	13	244
Pohjapinta-ala, m^2/ha	7,5	3,8	0,7	16,0	4,8	1,9	1,0	9,0
Valtapituus, m	13,7	2,5	9,0	17,0	14,1	2,1	9,5	17,4
Tilavuus, m^3/ha	53,0	31,9	4,0	136,0	34,3	14,8	5,3	62,5
Puulajisuhteet, %								
- mänty	86,8	22,3	20,0	100,0	90,7	14,8	55,0	100,0
- kuusi	6,3	17,6	0,0	80,0	3,2	6,9	0,0	33,3
- koivu	6,9	12,5	0,0	50,0	6,1	12,7	0,0	40,0

3.2 Taimikoiden tiheys ja tilajärjestys

Kaikki puulajit mukaan luettuna taimikoiden tiheys *taimien kokonaismäärällä* mitattuna oli keskimäärin 7 000–8 000 kpl/ha sekä alikasvosettä siemenpuutaimikoissa (taulukko 3). Alikasvostaimikoissa männyn osuus kaikista taimista oli keskimäärin 65 % ja siemenpuutaimikoissa 50 %. Sekä mänty-, kuusi- että hieskoivutaimien kokonaismäärä oli suunnilleen yhtä suuri niin alikasvos- kuin siemenpuutaimikoissa. Muiden puulajien (haapa ym.) taimia oli kuitenkin selvästi enemmän siemenpuutaimikoissa.

Kehityskelpoisia taimia oli kaikki puulajit mukaan luettuna keskimäärin 1 900–2 000 kpl/ha (taulukko 3). Taimimäärä ei poikennut merkitsevästi toisistaan eri tavoin syntyneissä taimikoissa. Mäntytaimien osuus kehityskelpoisista taimista oli kummassakin ryhmässä 80–90 %.

Kaikkien taimien perusteella laskettu *aukkoisuus* eli tyhjien koealojen määrä oli keskimäärin noin 10 % ja kehityskelpoisten taimien perusteella laskettu aukkoisuus noin 19 % (taulukko 3). Syntytapa ei vaikuttanut merkitsevästi aukkoisuuteen kummassakaan tapauksessa.

Taulukko 3. Taimien, taimiaineksen ja tyhjien koealojen määrä alikasvos- ja siemenpuutaimikoissa.

Puulaji ja aukkoisuuden peruste	Alikasvostaimikot				Siemenpuutaimikot			
	$\bar{x}$	s	min	max	$\bar{x}$	s	min	max
	Kokonaistaimimäärä, kpl/ha							
Mänty	5166	4005	481	17480	3638	2248	808	8667
Kuusi	658	995	0	3286	756	1104	0	5485
Rauduskoivu	1	7	0	38	39	154	0	750
Hieskoivu	1857	2766	0	10500	1751	2136	0	8848
Muut puulajit	305	768	0	2778	1095	1731	0	6569
Yhteensä	7987	4722	2821	20571	7277	4463	2907	21212
	Kehityskelpoisten taimien määrä, kpl/ha							
Mänty	1703	776	481	3720	1580	738	500	3016
Kuusi	168	294	0	882	236	350	0	1636
Rauduskoivu	1	4	0	19	14	52	0	250
Hieskoivu	87	157	0	611	106	139	0	531
Yhteensä	1959	755	885	3778	1935	733	1155	3697
	Mäntytaimiaineksen määrä, kpl/ha							
Mänty	2178	3758	0	15000	2001	3555	0	12727
	Aukkoisuus, %							
Kokonaistaimimäärän mukaan	8,0	9,1	0,0	30,8	10,9	9,8	0,0	28,1
Kehityskelpoisten taimien määrän mukaan	17,4	12,7	0,0	47,4	20,8	10,2	0,0	36,7

3.3 Taimikoiden elinvoimaisuus ja kasvatuskelpoisuus

Siemenpuutaimikot olivat *elinvoimaisempia* kuin alikasvostaimikot testattaessa jakautumista elinvoimaisuusluokkiin 1 ja 2. Siemenpuutaimikoista 71 % oli terveitä ja elinvoimaisia, kun vastaava luku oli alikasvostaimikoissa 30 % (taulukko 4). Alikasvostaimikoista valtaosa (70 %) oli hieman heikentynyt varjostuksen ja kilpailun takia.

Taimikoiden jakautuminen *kasvatuskelpoisuusluokkiin* ei poikennut toisistaan alikasvos- ja siemenpuutaimikoissa. Noin 80 % taimikoista oli hyviä tai tyydyttäviä kummassakin ryhmässä (taulukko 4). Huonoja taimikoita ei ollut lainkaan.

Taulukko 4. Taimikoiden jakautuminen luokkiin elinvoimaisuuden, kasvatuskelpoisuuden ja syntytavan perusteella.

Elinvoimaisuus- ja kasvatuskelpoisuusluokka	Alikasvostaimikot		Siemenpuutaimikot	
		Elinvoimaisuus		
Terve ja elinvoimainen	8	30	17	71
Hieman heikentynyt	19	70	6	25
Lieviä vaurioita ja tuhoja	0	0	1	4
Tuntuvia tuhoja	0	0	0	0
Yhteensä	27	100	24	100
		Kasvatuskelpoisuus		
Hyvä	10	37	7	29
Tyydyttävä	11	41	12	50
Välttävä	6	22	5	21
Huono	0	0	0	0
Yhteensä	27	100	24	100

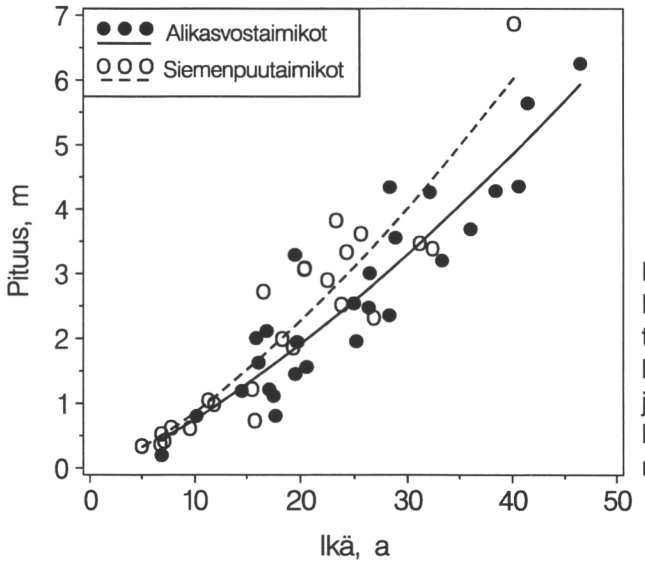
3.4 Taimikoiden keskipituus, -ikä ja -kasvu sekä syntyajankohta

Alikasvostaimikot olivat hiukan pitempiä ja selvästi vanhempia kuin siemenpuutaimikot (taulukko 5). Siemenpuutaimikot kehittyivät nopeammin kuin alikasvostaimikot (kuva 2). Kehityskelpoisten taimien *keskipituuden* ja *keski-iän* osamääränä saatu taimikoiden keskimääräinen *pituuskasvu* ei poikennut toisistaan eri tavoin syntyneissä taimikoissa.

Taimikot olivat yleensä syntyneet pitkän ajan kuluessa. Taimikoittainen *taimien iän vaihteluväli* oli keskimäärin 41 vuotta. Lyhin taimien iän vaihteluväli oli kolme vuotta ja pisin 65 vuotta. Alikasvos- ja siemenpuutaimikoiden välillä ei ollut eroa.

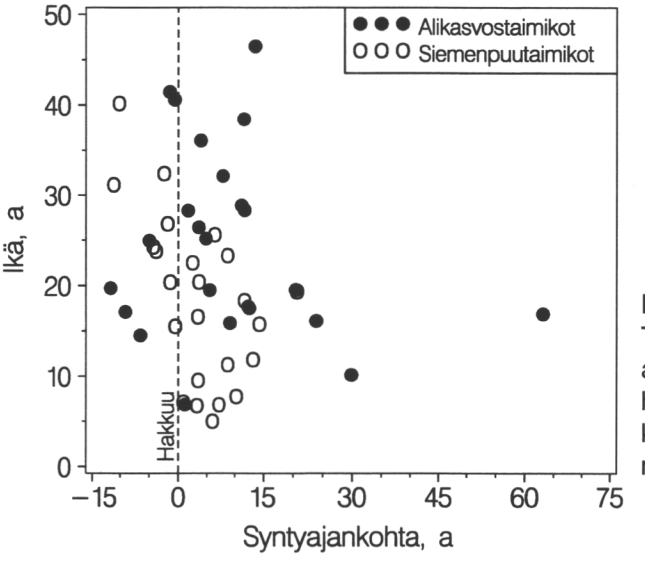
Taulukko 5. Taimikoiden keskipituus, -ikä ja -kasvu syntytavoittain.

Taimikkotunnus	Alikasvostaimikot				Siemenpuutaimikot			
	$\bar{x}$	s	min	max	$\bar{x}$	s	min	max
Pituus, m	2,6	1,5	0,2	6,3	2,2	1,6	0,3	6,9
Ikä, a	24	10	7	46	18	9	5	40
Kasvu, cm	10,0	3,2	2,9	16,9	10,5	3,8	4,7	17,1



Kuva 2. Kehityskelpoisten taimien pituuskehitys alikasvos- ja siemenpuutaimikoissa. Mallit ovat muotoa $y = ax^b$.

Siemenpuutaimikoista kolmannes ja alikasvostaimikoista viidennes oli taimikoiden keski-ikien perusteella syntynyt ennen edellisen hakkuun ajankohtaa (kuva 3). Siemenpuutaimikot olivat syntyneet keskimäärin neljä vuotta siemenpuuhakkuun ja alikasvostaimikot yhdeksän vuotta edellisen hakkuun jälkeen. Siemenpuutaimikoissa siemenpuuhakkuusta oli kulunut ylispuuhakkuuhetkellä (inventointihetkellä) keskimäärin 22 vuotta ja alikasvostaimikoissa edellisestä hakkuusta 33 vuotta.



Kuva 3. Taimikoiden syntyajankohta edellisen hakkuun ja taimikon keski-iän perusteella määritettynä.

4 Tarkastelu

Vaikka aikaisempien tutkimusten perusteella oli tiedossa, että männyn luontaisen uudistamisen edellytykset Lapin mäntymetsissä ovat hyvät ainakin kuivilla ja kuivahkoilla kankailla (esim. Aaltonen 1919, Sarvas 1950), oli yllätys, että noin puolet tutkimuskohteina olleista mäntylispuutaimikoista oli syntynyt alikasvoksena, usein epäsäännöllisen hakkuun seurauksena ilman varsinaista uudistamistarkoitusta, ja vain 44 % siemen- tai suojuspuupuuhakkuun tuloksena. Näyttää siltä, että Lapissa kuivan ja kuivahkon kankaan männikkö alkaa uudistua luontaisesti, kun vallitseva puusto tavalla tai toisella harvenee (Lassila 1920, Sarvas 1950, Kuuluvainen 1994).

Alikasvostaimikot eivät epäsäännöllisestä emopuuston käsittelystä huolimatta poikenneet siemenpuutaimikoista tiheyden ja tilajärjestyksen perusteella. Sama koskee myös taimikoiden kasvatuskelpoisuutta. Alikasvosten pituuskehitys oli kuitenkin hitaampaa kuin siemenpuutaimikoiden. Pituuskehitysero saattaa olla todellisuudessa tässä todettua suurempikin, koska erityisesti alikasvosten ikä arvioidaan helposti liian pieneksi (Lakari 1915, Sarvas 1950, Vaartaja 1951). Siemenpuutaimikoiden nopeampi kasvu johtunee niiden alikasvostaimikoita huomattavasti pienemmästä ylispuuston määrästä ja siten pienemmästä valo- ja juuristokilpailusta (Hagner 1962, Lehto 1969, Sundkvist 1994b).

Tutkimustulokset vahvistavat aiempaa käsitystä, jonka mukaan pohjoisessa männyn luontainen uudistumiskyky on hyvä ja mäntyalikasvokset usein sellaisenaan metsän uudistamiseen kelvollisia (Lassila 1920, Vaartaja 1951, Sarvas 1950, Oinonen 1956, Sundkvist 1994a ja b, Listov ym. 1995).

Taimikoiden keski-iän perusteella noin neljännes taimikoista oli syntynyt ennen edellistä hakkuuta (ks. Sarvas 1950, Lehto 1969, Fries 1979, Räsänen ym. 1985). Taimikoiden keskipituuden perusteella ylispuut aiottiin poistaa keskimäärin liian myöhään verrattuna metsänhoitosuosituksissa esitettyihin taimikoiden keskipituuksiin (Metsänhoitosuositukset 1990). Taimikko oli ylispuuhakkuuajankohtana usein jo monen metrin pituinen, vaikka siemenpuiden liian pitkän seisottamisen on todettu aiheuttavan taimikkoon epätasaisuutta, aukkoisuutta ja kasvun heikkenemistä (Vaartaja 1951, Kinnunen 1993, Niemistö ym. 1993, Skoklefald 1995). Ylispuuhakkuuajankohdan päättämistä vaikeuttanee erityisesti alikasvostaimikoissa se, että taimet syntyvät emopuuston alle vähitellen pitkän ajan kuluessa monen siemensadon tuloksena ja ilman uudistamistarkoitusta (Lassila 1920, Sarvas 1950, Lehto 1969, Räsänen ym. 1985, Jeansson 1995). Sen vuoksi ne "löydetään" vasta varttuneessa iässä. Siemenpuutaimikoissa ylispuuhakkuuta oli esitetty selvästi aikaisemmin kuin alikasvostaimikoissa, mutta niissäkin suosituksissa (1990)

esitettyä myöhemmin. Ylispuuston korjuussa syntyviin korjuuvaurioihin taimikon pituudella ei ole todettu olevan yksiselitteistä vaikutusta (Hyppönen ja Niemistö 1998, Hyppönen 2000).

Tutkimustaimikoiden sisäinen ikävaihtelu osoittaa, että männyn luontainen uudistuminen on jatkuva prosessi, jonka tuloksena taimikossa yleensä on vuosikymmenien aikana syntyneitä taimia (ks. Sundkvist 1993). Luontainen uudistuminen ja uudistaminen ilman maanmuokkausta kestää Lapissa aikaisempien tutkimusten mukaan usita kymmeniä vuosia (esim. Sarvas 1937, Lehto 1969, Suoheimo 1982). Vaikka siementä ilmeisesti tuleentuu jossain määrin lähes vuosittain metsänrajalle asti (Heikinheimo 1932, 1937, Sundkvist 1993), siemenmäärä ei yleensä riitä nopeaan taimettumiseen ainakaan ilman maankäsittelyä. Hagnerin (1962) mukaan heikkoa siemensatoa voidaan kompensoida maanmuokkauksella.

Luontaisen uudistamisen onnistumisesta ja onnistumiseen vaikuttavista tekijöistä ei ole aina riittävästi tietoa käytännön uudistamispäätöksiä varten. Lisätietoa kaivataan mm. taimien syntymiseen ja kuolemiseen liittyvistä prosesseista, uudistumisnopeudesta, maanmuokkauksen vaikutuksesta uudistamisaikaan ja -tulokseen sekä luontaisen uudistamisen käyttöalan laajentamisesta perinteisten ohuthumuksisten kuivien ja kuivahkojen kankaiden ulkopuolelle.

Kirjallisuus

Aaltonen, V. T. 1919. Kangasmetsien luonnollisesta uudistumisesta Suomen Lapissa, I. Referat: Über die natürliche Verjüngung der Heidewälder im Finnischen Lappland, I. Metsätieteellisen koelaitoksen julkaisuja 1. 375 s.

Bergan, J. 1981. Foryngelse av furuskog i Troms og Finnmark. Summary: Regeneration of Scots pine forests in Troms and Finnmark. Norsk Institutt for Skogforskning. Rapport 10. 69 s.

Ferm, A. & Sepponen, P. 1981. Aurausjäljen muuttuminen ja kasvillisuuden kehittyminen metsänuudistusaloilla Lapissa 10 vuoden aikana. Summary: Development of ploughed tracks and vegetation on reproduction areas in Finnish Lapland during a period of 10 years. Folia Forestalia 493. 19 s.

Fries, J. 1979. Naturlig föryngring inom Siljanfors försökspark. Summary: Natural regeneration within the Siljanfors experimental park. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 2: 96–111.

Hagner, S. 1962. Naturlig föryngring under skärm. En analys av föryngringsmetoden, dess möjligheter och begränsningar i mellannorrländskt skogsbruk. Summary: Natural regeneration under shelterwood stands. An analysis of the method of regeneration, its potentialities and limitations in forest management in middle North Sweden. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut. Band 52(4). 263 s.

— 1965. Om fröproduktion, fröträdsval och plantsuppslag i försök med naturlig föryngring. Summary: Yield of seed, choice of seed trees and seedling establishment in experiments with natural regeneration. Studia Forestalia Suecica 27. 43 s.

Heikinheimo, O. 1932. Metsäpuiden siementämiskyvystä I. Referat: Über die Besamungsfähigkeit der Waldbäume I. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 17(3). 61 s.

— 1937. Metsäpuiden siementämiskyvystä II. Referat: Über die Besamungsfähigkeit der Waldbäume I. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 24(4). 67 s.

Helenius, H. 1989. Tilastollisten menetelmien perustiedot. Statcon Oy, Tampere. 412 s.

Henttonen, H., Kanninen, M., Nygren, M. & Ojansuu, R. 1986. The maturation of Pinus sylvestris seeds in relation to temperature climate in Northern Finland. Scandinavian Journal of Forest Research 1: 243–249.

Hyppönen, M. 2000. Ylispuiden korjuun vaikutus mäntytaimikoiden kasvatuskelpoisuuteen Lapissa. Metsätieteen aikakauskirja 2/2000: 269–280.

— & Niemistö, P. 1998. Ylispuuhakkuut ja taimikkovauriot. Julkaisussa: Moilanen, M. & Saksa, T. (toim.). Alikasvokset metsänuudistamisessa. Varjosta valoon. Pihlaja-sarja 3: 55–65.

— , Saksa, T. & Valkonen, S. 1998. Alikasvokset ja nykypäivän metsänhoito. Julkaisussa: Moilanen, M. & Saksa, T. (toim.). Alikasvokset metsänuudistamisessa. Varjosta valoon. Pihlaja-sarja 3: 13–17.

Jeansson, E. 1995. Some aspects on site preparation and natural regeneration in Sweden. Julkaisussa: Ritari, A., Saarenmaa, H., Saarela, M. & Poikajärvi, H. (toim.). Northern silviculture and management. Proc. IUFRO Working Party S1.05–12 Symposium, Lapland, Finland, 16–22 Aug. 1987. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 567: 69–84.

Kinnunen, K. 1993. Männyn kylvö ja luontainen uudistaminen Länsi-Suomessa. Abstract: Direct sowing and natural regeneration of Scots pine in western Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 447. 36 s.

Kuuluvainen, T. 1994. Gap disturbance, ground microtopography, and the regeneration dynamics of boreal coniferous forests in Finland: a review. Annales Zoologi Fennici 31: 35–51.

Lakari, O. J. 1915. Studier über die Samenjahre und Altersklassenverhältnisse der Kiefernwälder auf dem nordfinnischen Heideböden. Acta Forestalia Fennica 5(1). 211 s.

Lassila, I. 1920. Tutkimuksia mäntymetsien synnystä ja kehityksestä pohjoisen napapiirin pohjoispuolella. Referat: Untersuchungen über die Entstehung und Entwicklung der Kiefernwälder nördlich vom nördlichen Polarkreise. Acta Forestalia Fennica 14(3). 98 s.

Lehto, J. 1969. Tutkimuksia männyn uudistamisesta Pohjois-Suomessa siemenpuu- ja suojuspuumenetelmällä. Summary: Studies conducted in northern Finland on the regeneration of Scots pine by means of the seed tree and shelterwood methods. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 67(4). 140 s.

Listov, A. A. & Semyonov, B. A. 1995. Nature and rational use of pretundra pine forests in the European part of The USSR. Julkaisussa: Ritari, A., Saarenmaa, H., Saarela, M. & Poikajärvi, H. (toim.). Northern silviculture and management. Proc. IUFRO Working Party S1.05–12 Symposium, Lapland, Finland, 16–22 Aug. 1987. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 567: 211–216.

Metsänhoitosuositukset 1990. Lapin metsälautakunta. 32 s.

Mikola, P. 1966. Alikasvosten merkitys metsien uudistamisessa. Summary: Significance of the undergrowth in reforestation. Metsätaloudellinen aikakauslehti 83: 4–7.

Niemistö, P., Lappalainen, E. & Isomäki, A. 1993. Mäntysiemenpuuston kasvu ja taimikon kehitys luontaisen uudistamisvaiheen aikana. Summary: Growth of Scots pine seed bearers and the development of seedlings during a protracted regeneration period. Folia Forestalia 826. 26 s.

Oinonen, E. 1956. Männiköiden luontaisen uudistumisen edellytyksistä Lapin kangasmailla eräden taimivaroja selvittävien inventointien valossa. Metsätaloudellinen aikakauslehti 73: 225–230.

Palén, T. & Lohi, T. 1999. Metsien käsittely Lapissa metsälain valvonnan ja puun tuotannon kannalta. Julkaisussa: Hyppönen, M., Jalkanen, R. & Aalto, T. (toim.). Onko Lapin metsätaloudella tulevaisuutta? Lapin Metsätalouspäivät 21.–22.1.1999. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 732: 19–25.

Pohtila, E. 1980a. Climatic fluctuations and forestry in Lapland. Holarctic Ecology 3: 91–98.

— 1980b. Havaintoja taimikoiden ja nuorten metsien tilajärjestyksen kehityksestä Lapissa. Summary: Spatial distribution development in young tree stands in Lapland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 98(1). 35 s.

Punkkinen, E. 1982. Männyn luontaisen uudistamisen onnistuminen muokatuilla mailla Etelä-Lapissa. Metsänhoitotieteen laudaturtyö. Helsingin yliopisto. 76 s.

Renvall, A. 1912. Die periodischen Erscheinungen der Produktion der Kiefer an der polaren Waldgrenze. Acta Forestalia Fennica 1(2). 154 s.

Räsänen, P. K., Pohtila, E., Laitinen, E., Peltonen, A. & Rautiainen, O. 1985. Metsien uudistaminen kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978–1979 inventointitulokset. Summary: Forest regeneration in the six southernmost forestry board districts of Finland. Results from the inventories 1978–1979. Folia Forestalia 637. 30 s.

Sarvas, R. 1937. Kuloalojen luontaisesta metsittymisestä. Pohjois-Suomen kuivilla kankailla suoritettu metsäbiologinen tutkielma. Referat: Über die natürliche Bewaldung der Waldbrandflächen. Eine waldbiologische Untersuchung auf den trockenen Heideböden Nord-Finnlands. Acta Forestalia Fennica 46. 147 s.

— 1950. Tutkimuksia Perä-Pohjolan harsimalla hakattujen yksityismetsien luontaisesta uudistumisesta. Summary: Investigations into the natural regeneration of selectively cut private forests in northern Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 38(1). 95 s.

Sirén, G. 1961. Skogsgränstallen som indikator för klimatfluktuationerna i norra Fennoskandien under historisk tid. Summary. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 54(2). 66 s.

— 1995. Reforestation experiments at the pine timberline in northernmost Finland. Julkaisussa: Ritari, A., Saarenmaa, H., Saarela, M. & Poikajärvi, H. (toim.). Northern silviculture and management. Proc. IUFRO Working Party S1.05–12 Symposium, Lapland, Finland, 16–22 Aug. 1987. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 567: 249–260.

Skoklefald, S. 1995. Spot scarification in a mountainous Scots pine forest in Norway. Julkaisussa: Ritari, A., Saarenmaa, H., Saarela, M. & Poikajärvi, H. (toim.). Northern silviculture and management. Proc. IUFRO Working Party S1.05–12 Symposium, Lapland, Finland, 16–22 Aug. 1987. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 567: 85–90.

Sundkvist, H. 1993. Forest regeneration potential of Scots pine advance growth in northern Sweden. Sveriges landtbruksuniversitetet, Institutionen för skogsskötsel. Avhandling. 33 s.

— 1994a. Extent and causes of mortality in Pinus sylvestris advance growth in Northern Sweden following overstory removal. Scandinavian Journal of Forest Research 9: 158–164.

— 1994b. Initial growth of Pinus sylvestris advance reproduction following varying degrees of release. Scandinavian Journal of Forest Research 9: 360–366.

Suoheimo, J. 1982. Männyn luontainen uudistaminen siemen- ja suojuspuumenetelmällä Metsä-Lapissa. Laudaturtyö. Helsingin yliopisto. 77 s.

Vaartaja, O. 1951. Alikasvosasemasta vapautettujen männyn taimistojen toipumisesta ja merkityksestä metsänhoidossa. Summary: On the recovery of released pine advance growth and its silvicultural importance. Acta Forestalia Fennica 59(1). 133 s.

Valtanen, J. 1998. Männyn luontainen uudistaminen siemenpuumenetelmällä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 693. 77 s.

Rakenteellinen kypsyys männyn siementen keräysajankohdan määrittäjänä

***Eila Tillman-Sutela*[1] *ja Anneli Kauppi*[2]**

[1]*Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema, 91500 Muhos*
[2]*Oulun yliopisto, Biologian laitos, 90401 Oulu*

eila.tillman@metla.fi, anneli.kauppi@oulu.fi

1 Johdanto

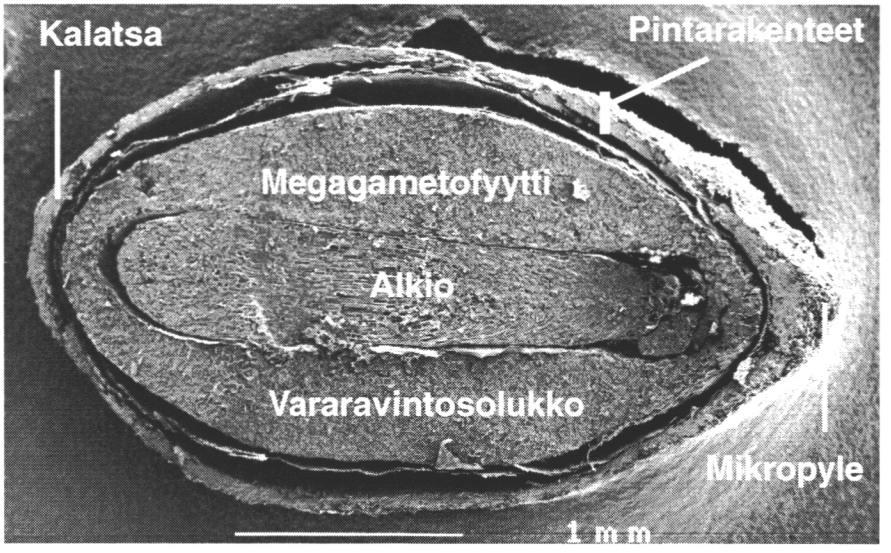
Havupuun siementen keräysajankohdan määrittäminen on pohjoisilla alueilla vaikeaa, ja ongelma on korostunut entisestään viime vuosina, kun käpyjen keruuta on haluttu aikaistaa alkusyksyyn. Keruuta aikaistamalla on pyritty parantamaan kerättävän siemensadon laatua ja välttämään vaikeita talvisia työolosuhteita. Kun lisäksi siementen keräyskypsyyden määritystä on nopeutettu siirtymällä idätyskokeiden sijasta röntgenkuvausluokituksen käyttöön, on virhepäätelmien mahdollisuus kasvanut. Kerättyjen siementen itävyys onkin voinut huonontua varastoinnin aikana tai joidenkin alueiden kävyt ovat saattaneet jäädä keräämättä.

Siementen kypsyyden määrityksessä käytetyn Simakin (1980) kehittämän röntgenkuvausluokituksen tulos ilmaistaan siementen anatomisena potentiaalina, jonka avulla siemenerän itämiskykyä arvioidaan. Anatominen potentiaali ei nimestään huolimatta perustu siementen anatomisiin tutkimuksiin, vaan lähinnä alkion koon makroskooppiseen tarkasteluun. Menetelmä on kehitetty alueilla, joilla männyn siemenen kehitys on melko säännöllistä ja ongelmatonta. Pohjoisilla kasvupaikoilla näin ei kuitenkaan ole, ja sen vuoksi röntgenkuvausluokituksen ja idätyskokeiden tulokset siemenerän itävyydestä poikkeavat useimmiten toisistaan. Tästä syystä asetimme 3-vuotisen hankkeemme ensimmäiseksi tavoitteeksi röntgenkuvausluokituksen ja siementen anatomisen kypsyyden välisen yhteyden selvittämisen.

Varmola, M. & Tapaninen, S. (toim.). 2001. Pohjoisten metsien hoito. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 803: 47–54.

Röntgenkuvauksen tarkkuuteen vaikuttavat ratkaisevasti rakenteiden tiiviys, kovuus ja kosteus. Kypsän siemenen (kuva 1) kosteutta taas säätelevät pintarakenteet, jotka tiivistyvät ja osittain kovettuvatkin siemenen kypsyessä. Kypsyessään siemen myös kuivuu ns. lepokosteuteen. Tämä kaikki on seurausta aktiivisesta solujen aineenvaihdunnasta ja sen aiheuttamista kemiallisista muutoksista siemenen rakenteissa. Röntgenkuvaustulosten tulkinnassa, joka siis perustuu alkion koon tarkasteluun, pintarakenteiden merkitys on kuitenkin jäänyt vaille huomiota, vaikka pintarakenteet ovat olennainen osa kypsän siemenen suojamekanismia sekä varastoinnin että itämisen aikana (Tillman-Sutela ja Kauppi 2000). Hankkeen toisena tavoitteena halusimmekin selvittää siemenen pintasolukoiden kypsymisen aikataulua ja sen yhteyttä alkion kokoon.

Havupuun siemenillä pintarakenteet ovat emikukinnon solukkoa, ja näin ollen pintarakenteet ovat siemenen kypsymiseen saakka kiinteässä yhteydessä emopuuhun ja sen elintoimintoihin. Kukka- samoin kuin kasvusilmujen elintoimintojen vilkastumisen ajankohdan on todettu olevan perinnöllistä ja liittyvän kiinteästi valojaksoon, lähinnä päivänpituuteen. Valojakson vaikutusta männyn siementen pintarakenteiden kypsymiseen (Tillman-Sutela ym. 1998) selvitimmekin esitutkimuksena ruotsalaisella aineistolla, jonka saimme Uumajan yliopistossa käynnissä olleesta



Kuva 1. Anatomisesti kypsän inarilaisen männynsiemenen halkileikkauksessa erottuvat pintarakenteet (siemenkuori ja nukellus), vararavintosolukko (megagametofyytti) ja alkio. Siemenkuori poikkeaa rakenteeltaan paitsi mikropylen (siitereikä) kohdalla myös kalatsan alueella, jossa kehittyvällä siemenellä on ollut solukkoyhteys emopuuhun.

pohjoisten siementen jälkikypsytysmenetelmien kehittämishankkeesta. Samoin tutkimme osatyönä pohjoisamerikkalaisen nootkan sypressin siementen rakenteita (Tillman-Sutela ja Kauppi 1998) Brittiläisessä Kolumbiassa käynnissä olleeseen hankkeeseen, jossa selvitettiin korkeiden alueiden havupuiden siementen käsittelytapoja. Tässä esittelemme ensisijaisesti kotimaisen aineistomme tuloksia.

Hankkeen tavoitteiksi asetimme männyn siementen keräysajankohdan tarkentamisen selvittämällä:

1. yhteyttä Simakin kehittämän röntgenkuvausluokituksen ja siementen anatomisen rakenteen välillä,
2. kehittyvän siemenen pintasolukon kypsymisen aikataulua ja sen yhteyttä alkion kasvuun, ja
3. valojakson vaikutusta pintarakenteiden kypsymiseen.

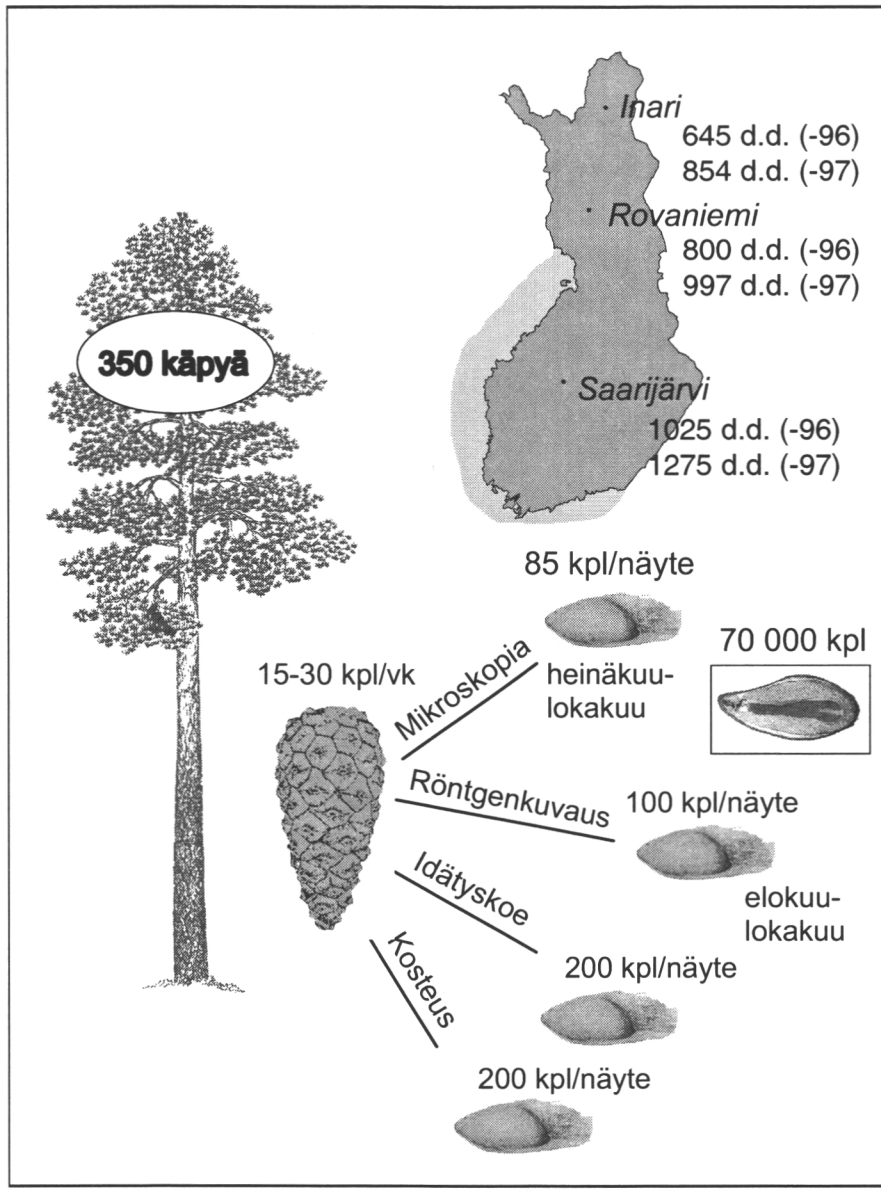
2 Aineisto ja menetelmät

Tutkimushankkeemme aineisto (kuva 2) kerättiin vuonna 1996 ja 1997 heinäkuusta lokakuuhun kerran viikossa männyn kukinnan ja siemensadon arviointikoealoilta Inarista, Rovaniemeltä ja Saarijärveltä. Alkukesällä valittiin näytteiksi puita, joissa oli vähintään 350 pikkukäpyä.

Neljällä ensimmäisellä kerralla näytteeksi otettiin 15 ja sen jälkeen 30 käpyä/puu. Mittauksen ja värin arvioinnin jälkeen kävyt leikattiin halki ja emi-/käpysuomut irrotettiin käsin. Mikroskooppitutkimuksia varten jokaisesta kävystä preparoitiin 5–7 siemenaihetta/siementä säilytysliuokseen. Sekä käpysuomuista että siemenistä määritettiin myös tuorepainokosteus.

Elokuun puolivälistä lähtien kustakin keräyserästä röntgenkuvattiin 100 siementä heti preparoinnin jälkeen ja uudelleen seuraavana päivänä, kun siemenet olivat olleet avoimessa tilassa noin vuorokauden. Lisäksi viidennestä kerrasta alkaen varattiin jokaisesta keräyserästä 200 siementä idätyskokeeseen (ISTA 1985).

Muoviin valamistamme siemenistä valmistettiin valomikroskopiaa varten 1996 noin 30 000 ja 1997–98 noin 40 000 leikettä Oulun yliopiston Biologian laitoksella ja Metlan Rovaniemen tutkimusasemalla. Preparoitujen siementen rakenteita tutkimme eri suunnista myös kenttäemissioelektronimikroskoopilla Oulun yliopiston Elektronioptiikan laitoksella.

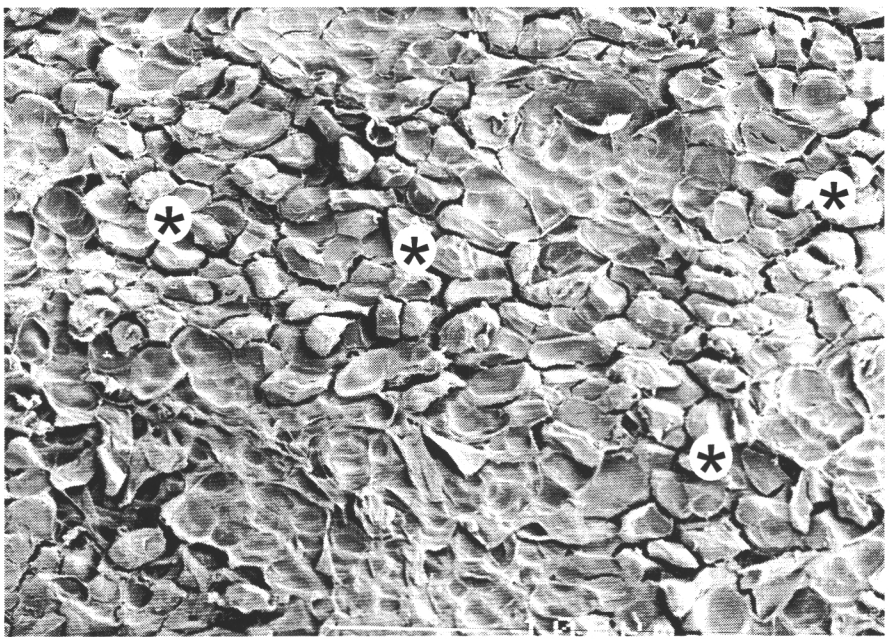


Kuva 2. Käpynäytteiden keräyspaikat 1996-97 sekä kustakin näyte-erästä viikoittain otetut siemenmäärät ja käytetyt tutkimusmenetelmät.

3 Tärkeimmät tulokset ja niiden tulkinta

Kotimaisen, laajan tutkimusaineistomme tulokset osoittivat, että alkion ja pintarakenteiden kehitys ovat osittain erillisiä tapahtumia. Alkion kasvu liittyi selvästi lämpösumman kertymään, kun taas emopuun solukkoa olevien pintarakenteiden kypsymiseen vaikutti lämmön lisäksi myös valojakso. Pintarakenteiden kehitys noudatti lämpösummiltaan erilaisinakin kesinä melko samanlaista aikataulua, ja päivänpituutta muuttamalla niiden kehitystä voitiin häiritä (Tillman-Sutela ym. 1998). Kypsille siemenille tunnusomainen pintakerrosten tiiviys ja fenolipitoisuus lisääntyivät vielä useita viikkoja sen jälkeen, kun alkio oli jo rakenteeltaan täysimittainen (Viippola 1997). Mikroskopialla havaittiin, että elokuun puolivälissä, jolloin käpyjen keräyspäätöksiä pyritään tekemään, erityisesti pohjoisten siementen pintasolukot olivat vielä eläviä (kuva 3).

Perättäisinä päivinä tehty siementen röntgenkuvaus osoitti, että elävät pintasolukot läpäisivät vettä ja kemiallisesti epäkypsät sisärakenteet – alkio ja megagametofyytti – kuivuivat, ja sen vuoksi alkion kokoon perustuva tulkinta johti helposti virheelliseen tulokseen. Siemenerän itävyyttä ennustavassa anatomisessa potentiaalissa saattoi elokuussa olla perättäisten havaintojen välillä yli 20 % ero, kun siemennäytteitä säily-

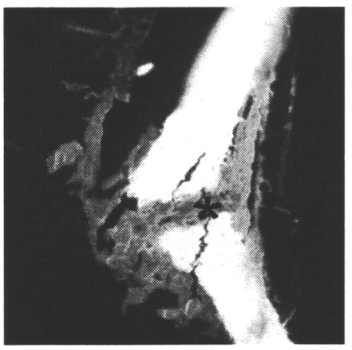


Kuva 3. Siemenkuoren uloimmassa kerroksessa, sarkotestassa on runsaasti eläviä soluja (*) elokuun loppupuolella.

tettiin avoimessa tilassa yön yli kahden kuvauksen välisen ajan. Tällainen ero syntyi, vaikka siemenet irrotettiin kävyistä varovasti käsin. Tavallisesti siemenet joudutaan irrottamaan kuivaamalla käpyjä korkeassakin lämpötilassa, sillä käpysuomut ovat syksyllä vielä hyvin tiukasti kiinni toisissaan. Luonnossa tällaisella rakenteella, käpysuomujen kiinni pysymisellä, on tärkeä suojatehtävä: se estää tuleentumattoman siemenen kuivumisen ja mahdollisesti paleltumisenkin, kunnes pintarakenteet, vararavintosolukko ja alkio ovat kemiallisesti ja fysiologisesti kypsiä.

Röntgenkuvaustulkinta osoittautuikin sitä varmemmaksi, mitä kypsempiä siemenet olivat. Tulkinnan perustana käytetty alkion koko voitiin määrittää luotettavasti vasta, kun pääosa siemenen rakenteista muistutti jo kypsän siemenen rakenteita. Tällöin siementen tuorepainokosteus oli laskenut 30 % alapuolelle. Se siis lähestyi lepokosteutta, johon siemenet kypsyessään luontaisesti kuivuvat ennen talven tuloa. Alkio-ontelo erottui nyt selvästi keskellä megagametofyyttiä (vararavintosolukkoa), joka osoittautui solukkovärjäyksissä lipidipitoiseksi. Ajankohdassa oli keräysvuosien välillä 2–3 viikon ero, ja se sijoittui Saarijärven siemenillä 1000 d.d:n ja Rovaniemen siemenillä 800 d.d:n lähelle. Myös Inarin siementen 30 % kosteus sijoittui 800 d.d:n alueelle v. 1997. Röntgenkuvaustulkinnan mukaan Saarijärven ja Rovaniemen siementen pintakerrosten vedenpidätyskyky vakiintui 1–2 viikon kuluttua 30 % kosteuden saavuttamisesta. Tällöin myös siementä emopuuhun yhdistävä kalatsan (koppisiemenisten napasuonta vastaava rakenne) solukkoyhteys oli sulkeutunut (kuva 4).

Pohjoisille siemenille tyypillinen monialkioisuus vaikeutti aina röntgentulkintaa, sillä 4–7 alkion muodostama rypäs tulkittiin läpivalaisukuvassa helposti yhdeksi kookkaaksi alkioksi. Sitä vastoin eteläisimmillä Saarijärven siemenillä röntgenkuvaustulkinta oli käyttökelpoinen menetelmä jo elo-syyskuun vaihteessa viileämpänäkin kesänä 1996, jolloin lämpösummaa kertyi 1000 d.d. Tällöin röntgenkuvaustulkinnan anatominen potentiaali puolestaan vastasi idätyslukuja syyskuun puolivälissä kerätyissä näytteissä. Tämä osoitti, että sisärakenteet – alkio ja megaga-



Kuva 4. Fenolisten yhdisteiden sulkema kalatsan solukkoyhteys (*) erottuu syyslokakuun vaihteessa tummana kypsässä siemenkuoressa, jonka kivisolukerrokset fluoresoivat valkoisina.

metofyytti – olivat kemiallisesti ja fysiologisesti kypsiä. Myös pintarakenteet olivat niin kypsiä, että ne estivät tehokkaasti haihtumista. Kemialliset muutokset pintarakenteissa jatkuivat kuitenkin lokakuulle saakka. Siementen rakenteelliseen kypsyyteen vaikuttavat siis alkion ja vararavintosolukon lisäksi myös pintarakenteet. Sen vuoksi siementen keräysajankohtaa ei voi määrittää luotettavasti pelkästään alkion koon perusteella.

4 Suositukset

Tulosten perusteella esitämme seuraavat suositukset, jotka olemme ankkuroineet käytössä oleviin tunnuksiin, lämpösummaan ja siementen tuorepainokosteuteen.

1. Siementen anatominen potentiaali voidaan arvioida riittävän tarkasti elokuun puolivälissä, jos lämpösummaa on kertynyt jo noin 800 d.d. Tällöin on kuitenkin varottava käpyjen käsittelyä korkeassa lämpötilassa, sillä elävät solukot kuivuvat helposti ja aiheuttavat virhetulkintoja.
2. Männyn käpyjen keräys voidaan aloittaa syyskuun loppupuolella, jolloin siemenen yhteys emokasviin on katkennut ja suojarakenteet kypsyneet. Sisärakenteet ovat kypsiä, jos tehollinen lämpösumma on noin 1000 d.d. Rovaniemen seudulle saakka. Hyvänkin siemenerän varastosäilyvyys paranee, jos keruu aloitetaan vasta lokakuulla, sillä pintakerrosten kemialliset muutokset parantavat siementen varastosäilyvyyttä.
3. Siementen/käpyjen jälkikypsytys ei näytä käyttökelpoiselta ratkaisulta keräysajankohdan aikaistamiseen, sillä yksinkertaistetut käsittelyt häiritsevät siementen normaalia kehitystä. Erityisesti häiriöitä on haihtumissuojana olevien pintarakenteiden kypsymisessä, joka puolestaan heikentää siementen varastosäilyvyyttä.
4. Syksyllä ja talvella kerätyillä pohjoisilla siemenillä itämistarmon ja itävyyden kohottaminen jo nyt käytössä olevalla menetelmällä (30 % tuorepainokosteus, 5°C) puolustaa edelleen paikkaansa. Tällöin on kyse lähes kypsän siemenen hormonitasapainon muutoksista itämiselle sopivaksi.

Kiitämme Metsähallituksen (Forelia Oy) Rovaniemen Siemenkeskuksen henkilökuntaa näytteiden keruu- ja puhdistusavusta, Leena Seitamäkeä mikroskooppileikkeiden teosta sekä Irene Murtovaaraa julkaisukuvien viimeistelystä. Hanketta ovat rahoittaneet MMM, Metsähallitus, Metla, Oulun yliopisto, Työvoimaministeriö, Metsäliitto, Uumajan yliopisto ja Brittiläisen Kolumbian Metsäministeriö.

Kirjallisuus

International Seed Testing Association (ISTA). 1985. International rules for seed testing 1985. Seed Science and Technology 13: 300–520.

Simak, M. 1980. X-radiography in research and testing of forest tree seeds. SLU. Institutionen för Skogsskötsel. Rapporter 3. 32 s.

Tillman-Sutela, E., Kauppi, A. & Sahlén, K. 1998. Effect of disturbed photoperiod on the surface structures of ripening Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seeds. Trees 12: 499–506.

— & Kauppi, A. 1998. Structures restricting passage of water in the mature seeds of yellow-cedar (*Chamaecyparis nootkatensis*). Canadian Journal of Botany 76: 1458–1466.

— & Kauppi, A. 2000. Structures contributing to the completion of conifer seed germination. Trees 14: 191–197.

Viippola, K. 1997. Pintarakenteiden merkitys eri alkuperää olevien kehittyvien männyn (*Pinus sylvestris* L.) siementen itämiseen. Pro gradu- tutkielma. Oulun yliopisto, Biologian laitos. 44 s.

Puulajikoostumus ja moreenikasvupaikkojen sähköiset ominaisuudet Keski- ja Pohjois-Lapissa

Marja-Liisa Sutinen[1], Ari Teirilä[2], Markku Pänttäjä[3] ja Raimo Sutinen[3]

[1]Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema, PL 16, 96301 Rovaniemi
[2]Oulun yliopisto, Matemaattisten tieteiden laitos, PL 3000, 90014 Oulun yliopisto
[3]Geologian tutkimuskeskus, Pohjois-Suomen aluetoimisto, PL 77, 96101 Rovaniemi

marja-liisa.sutinen@metla.fi, ateirila@paju.oulu.fi, markku.panttaja@gsf.fi, raimo.sutinen@gsf.fi

1 Johdanto

Mäntyä on suosittu kuusta ja koivua paremman tuotoksensa (Ilvessalo 1937) perusteella 50-luvulta lähtien Pohjois-Suomen metsien uudistamisessa. Uudistaminen avohakkuin, maankäsittelyin ja männyn kylvöin tai istutuksin ovat olleet käytännön metsätalouden päätoimenpiteet ja ne on ulotettu kaikille kasvupaikka- ja maaperätyypeille. Uudistaminen on yleensä onnistunut luontaisesti mäntyvaltaisella Keski-Lapin graniittialueella (Rovaniemi-Sodankylä) ja Lapin granuliittikaaren alueella (Saariselkä-Inari). Viljelyongelmia on sen sijaan esiintynyt luontaisesti kuusivaltaisessa Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeessä (Kittilä-Sodankylä-Salla), jossa erityisen vaikeiksi on koettu HM (*Hylocomium-Myrtillus*)-tyypin (Cajander 1949) kuusikot. Entisillä kuusivaltaisilla uudistusaloilla männyn elossaolo eri maankäsittelytavoista huolimatta on niinkin alhai-

Varmola, M. & Tapaninen, S. (toim.). 2001. Pohjoisten metsien hoito. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 803: 55–70.

nen kuin 44–23 % (Mäkitalo 1999). Taimituhojen lopulliseksi syyksi on usein todettu erilaiset sienitaudit (Valtanen ja Tasanen 1996), mutta primaareita fysiologisia tekijöitä ei toistaiseksi tunneta.

Männylle uudistaminen on osaltaan tukeutunut metsätyyppiteoriaan (Cajander 1949), jonka mukaisesti sekä mänty että kuusi voivat kasvaa samoilla metsätyypeillä. Toisaalta, sukkessioteorian mukaan metsikkötason puulajikoostumus muuttuu aikasarjassa (haapa)-koivu-mänty-kuusi (Sirén 1955, Lundmark 1988, Pastor ym. 1999) ja kliimaksivaiheen kuusikot voivat muuttua luontaisten ympäristöhäiriöiden, metsäpalojen ja myrskyjen (Östlund ym. 1997) vaikutuksesta varhaisempaan puuston sukkessiovaiheeseen. Boreaalisessa vyöhykkeessä kuitenkin kiertoajan pituudesta johtuen yksittäisen puun kasvupaikalla tapahtuvasta sukkessiosta on vaikea saada näyttöä. Myöskään puulajien kasvupaikkavaatimuksia ei tunneta riittävästi eivätkä edellä esitetyt teoriat ota huomioon kasvupaikkojen maaperän fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia. Nämä kuitenkin primaaristi säätelevät kunkin kasvukohdan vesi- ja ravinnetaloutta ja siten vaikuttavat puulajiston ja aluskasvillisuuden kehittymisprosesseihin (Larsen 1980, Payette 1992, Timoney ym. 1993). Erityisesti maaperäominaisuuksien spatiaaliseen vaihteluun ei ole kiinnitetty riittävästi huomiota niin alue-, kuvio- kuin puutasollakaan.

Valtaosa (75–80 %) minerogeenisista kasvupaikoista Pohjois-Suomessa on moreeneita, joille tyypilliseen heterogeenisuuteen vaikuttaa ensisijaisesti lähdekivilajien monimuotoisuus. Tämä primaari geodiversiteetti on pohjana moreenien vesi- ja ravinnetalouden spatiaaliseen vaihteluun. On arvioitu, että moreenien ominaisuuksien horisontaalivaihtelu on luokkaa 4–250 m (Hänninen 1997, Ruther 1999). Moreenien hydraulisiin ominaisuuksiin vaikuttavat sekä partikkelijakauma, partikkelien muoto sekä kerrosrakenne. Nämä ovat seurausta lähdekivilajien tekstuurista, tertiääristen rapaumatuotteiden määrästä ja laadusta sekä mannerjäätiköiden liikedynamiikasta (Sutinen 1992). Moreenien mineraloginen koostumus, partikkelien reaktiivinen pinta-ala sekä maannosprosessit säätelevät moreenikasvupaikkojen geokemiallista koostumusta (Reiman ym. 1998) ja puiden käytössä olevaa ravinnepotentiaalia (Urvas ja Erviö 1974, Tamminen 1993). Vaikka saatavilla oleva vesi ja ravinteet ovatkin kasvien kannalta maaperän tärkeimmät ominaisuudet, niiden tutkiminen laboratorioanalyysein on käytännön metsätalouden kannalta epätaloudellista.

Tässä tutkimuksessa moreenikasvupaikat kuvattiin taimi- ja puukohtaisesti *in situ* dielektrisyyden (ε) ja sähkönjohtavuuden (σ) avulla kahden lyhyen mittausjakson aikana kasvukausilla 1997 ja 1999. Dielektrisyyttä käytettiin moreenien vesipitoisuuden (θ_v) indeksinä (Gardner 1986). Tämä perustuu siihen, että vapaan veden dielektrisyys (ε_{vesi}=80, Wobschall 1977) on huomattavasti suurempi kuin moreeniseoksen muiden komponent-

tien kuten mineraaliaineksen, (ε_{kivi}=4–7, Hänninen ja Sutinen, 1994), ilman (ε_{ilma}=1) ja sidotun veden (ε_{svesi}=3,5). Siten pienet dielektrisyysarvot kuvaavat kuivia moreeneita ja suuret märkiä. Seosmallien (Hänninen 1997) perusteella moreenin kyllästyneisyys saavutetaan ε>30:ssä. Toppin ym. (1980) "universaalikalibroinnin" perusteella ε=30 vastaa tilavuusvesipitoisuutta θ_v=0,44 cm^3cm^{-3} ja ε=15 puolestaan θ_v=0,27 cm^3cm^{-3}. Sähkönjohtavuus kuvaa epäsuorasti moreenien ravinnepotentiaalia ja siihen vaikuttavat mineraloginen koostumus, saveksen määrä, kyllästyneisyysaste ja huokosvedessä olevien elektrolyyttien määrä (Shainberg ym. 1980, Pernu 1991). Työn tavoitteena oli selvittää i) ovatko aikuisten (uudistuskypsät metsiköt) puiden moreenikasvupaikat puulajeittain (mänty, kuusi, koivut, raita, haapa) ε:n ja σ:n suhteen erilaisia ja ii) onko viljelymäntyjen elossaolon ja ε:n välillä yhteyttä.

2 Materiaali ja menetelmät

Aikuisten puiden metsiköt (76) valittiin satunnaisesti siten, että luotiin systemaattinen 2 km pisteverkko koko tutkimusalueelle (67°30'N, 26°E ja 68°40'N ja 27°40'E) Ivalo-Sodankylä välille. Verkko leikattiin käyttäen 500 m bufferoitua tieverkkoa, mikä mahdollisti lyhyen mittausjakson aikana leikata tutkimusalueen pääkivilajiblokit. Verkon pisteet, joissa puusto oli nuorta (Metsähallituksen PATI) tai jotka osuivat vesistöön tai soihin, poistettiin. Valittujen metsiköiden korkeus on 145–343 m mpy ja vastaavasti lämpösumma Ojansuun ja Henttosen (1983) mallin mukaisesti +5°C kynnysarvoa käyttäen 599–753 d.d. Kasvukauden (kesä-syyskuu) aikainen sademäärän (ajanjakso 1961–1990, Ilmatieteen laitos) vaihtelu on 233–239 mm. Moreenien maannostyyppi oli podsoli (haplic podsol, FAO 1990).

Kustakin 76 metsiköstä mitattiin ε ja σ linjoina 100 puun kasvupaikalta. Mittauslinjan suunta arvottiin ja edettiin systemaattisesti 50 puuta (mänty, kuusi, koivut, raita, haapa), jonka jälkeen arvotun 50 m linjasiirron jälkeen toiset 50 puuta vastakkaiseen suuntaan. Dielektrisyys mitattiin kapasitanssisondilla (Adek, Viro) moreenin pinnasta. Karkeissa moreeneissa sondin kärjen ympärille saattaa muodostua ilmatila. Näiden anomaalisen pienten ε-arvojen eliminoimiseksi jokaista puuta kohden mitattiin kolme ε-arvoa. Näistä eniten keskiarvosta poikkeava hylättiin ja kahden jäljelle jäävän ε:n keskiarvoa käytettiin. Sähkönjohtavuus mitattiin johtavuustalikolla (Puranen ym. 1999), jonka syvyysulottuvuus on 0–20 cm eli sama kuin juuriston pääasiallinen esiintymissyvyys (Kalela 1949, Majdi ja Persson 1993). Epähomogeenisuuksien, esim. yksittäisten kivien, johtavuusvaikutus eliminoitiin käyttämällä kutakin puuta kohden kahden σ-lukeman keskiarvoa (Barker 1981). Mittaukset (n_ε=22800,

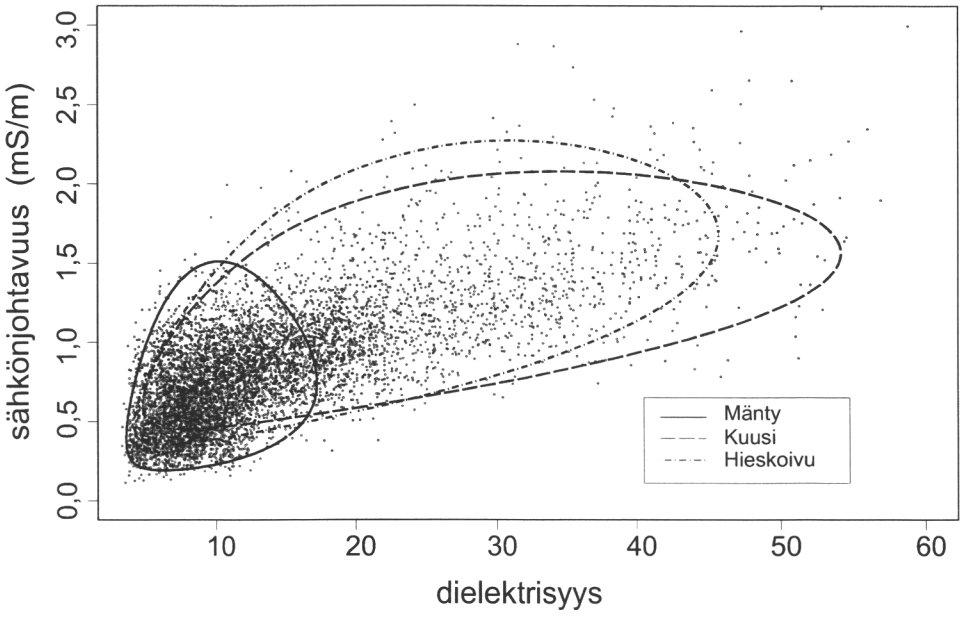
n_σ=15200) suoritettiin aikavälillä 2.8–2.9.1999. Tuolloin sadannalla ei viikoittaisen ε-seurannan perusteella ollut merkittävää vaikutusta moreenien dielektrisyyksiin. Seurannat toteutettiin 10 kohteessa 20 cm syvyyteen vaakasuoraan installoiduin 15-cm teräsanturein ja TDR-mittauksin (Tektronix 1502B, Beaverton OR, USA).

Mäntyjen (n=10500) elossaolon ja ε:n välistä yhteyttä tutkittiin 21 Metsähallituksen uudistusalalla, joiden viljelystä oli kulunut 2–41 vuotta. Kaikki alat olivat entisiä HMT-kuusikoita ja sijoittuivat Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeen (Lehtonen ym. 1985) moreeneille Porttipahdan tekojärvien eteläpuolelle. Kuviot olivat nuorinta (laikutus) ja vanhinta (kulotus) lukuun ottamatta aurattuja, joissa kylvö tai istutus oli tehty systemaattisesti moreenipientareeseen Metsähallituksen standardien mukaisesti. Kuviot ovat 227–293 m mpy ja vastaava lämpösummaväli on 651–711 d.d. Dielektrisyysmittausten aloitusvako arvottiin ilmakuvilta laskettujen vakojen lukumäärän perusteella ja aloituspiste sijoitettiin vaon puoliväliin. Mittaussuunta arvottiin ja jokaista kuvion 500 tainta/kylvöryvästä/puuta kohden mitattiin yksi ε-arvo systemaattisesti kahden puolen vakoa. Mikäli 500 havaintoa ei täyttynyt yhdellä vaolla, arvottiin viereinen vako ja jatkettiin vastakkaiseen suuntaan aina 500 havaintoon. Puuttuvan, tuhoutunut/lahonnut, taimen mittauskohta arvioitiin viljelyn systematiikan perusteella. Näitä tapauksia arvioitiin olleen 0–5 % alle 20-vuotiaissa taimikoissa. Taimen status, elävä-kuollut, tehtiin silmämääräisesti ja eläväksi katsottiin taimi, jos siinä havaittiin vihreitä neulasia. Vakiintuneissa, yli 20-vuotiaissa taimikoissa ε mitattiin elävien puiden juurelta. Olosuhteet pyrittiin vakioimaan siten, että mittausjakso toteutettiin viikon aikana 19.–26.9.1997. Dielektrisyys- ja johtavuusjakaumia tarkasteltiin puulajikohtaisesti sekamallein (Sutinen ym. 2000a) ja männyn elossaolon ja ε:n välistä yhteyttä logistisin regressiomallein (Sutinen ym. 2000b).

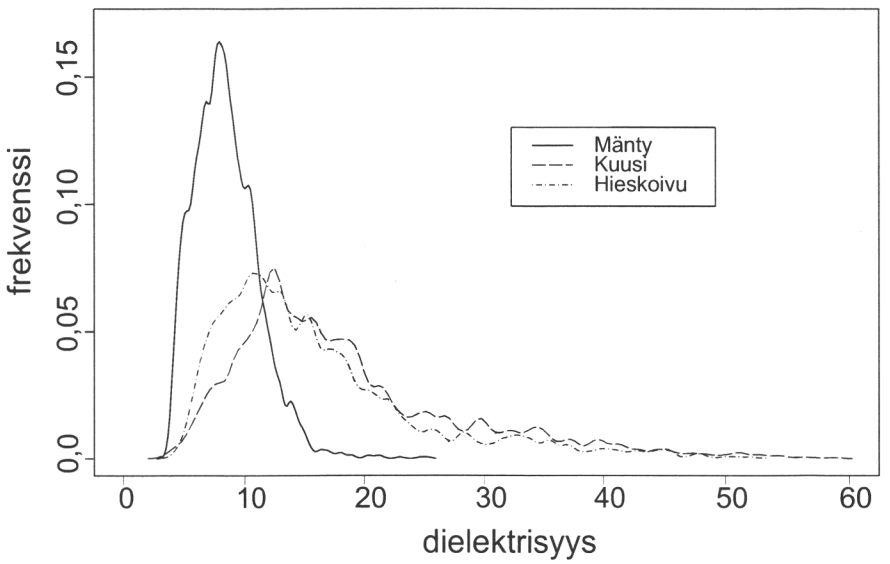
3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

3.1 Aikuisten puiden kasvupaikat

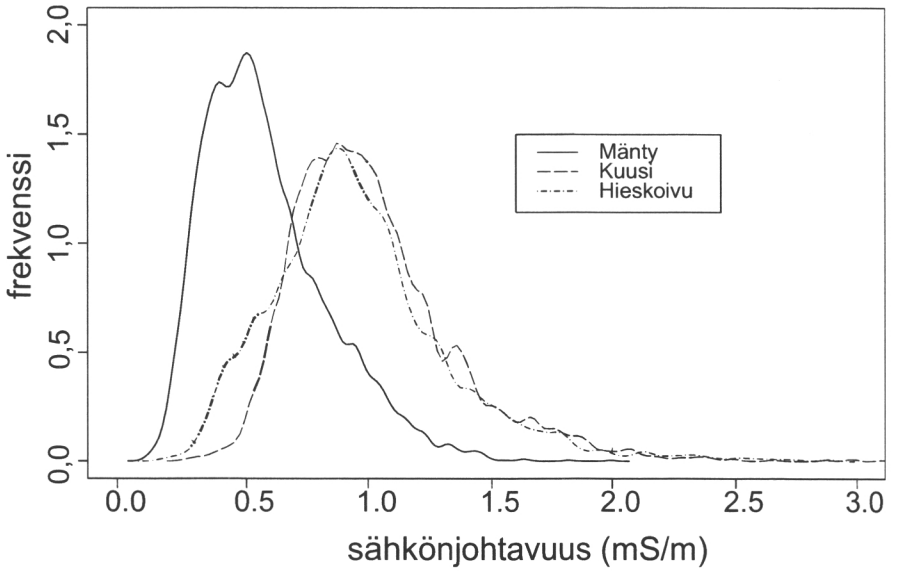
Aikuisten puiden (mänty, kuusi, koivut, haapa ja raita) moreenikasvupaikat Lapissa vaihtelivat kuivista märkiin, dielektrisyysarvoiltaan 3,5–58 ja niukkaravinteisista ravinteikkaisiin $0{,}15<\sigma<3$ mS/m (kuva 1). Puulajeittain moreenikasvupaikoissa havaittiin selkeitä eroja. Mänty ja rauduskoivu esiintyivät ainoastaan kuivilla ($\varepsilon^{(Mänty)}$=8,5±0,3; $\varepsilon^{(Raudus)}$ =8,3±0,5) ja karuilla ($\sigma^{(Mänty)}$=0,64±0,03 mS/m; $\sigma^{(Raudus)}$=0,56±0,03 mS/m) moreeneilla. Lähes kaikki (98,3 %, n=3750) männyt havaittiin moreeneilla joissa $\varepsilon<15$ (kuva 2). Kuusi ja hieskoivu puolestaan havaittiin kasvavan tuoreilla ($\varepsilon^{(Kuusi)}$=17,0±1,0; $\varepsilon^{(Hies)}$=14,7±0,8) ja ravinteikkailla



Kuva 1. Aikuisten puiden (n=7596) moreenikasvupaikkojen dielektrisyys (ε) ja sähkönjohtavuus (σ) Lapissa. 95 %:n luottamusellipsoidit esitetty männylle, kuuselle ja hieskoivulle.



Kuva 2. Dielektrisyyden (vesipitoisuuden) tiheyskuvaajat männyn, kuusen ja hieskoivun moreenikasvupaikoilla. Huomaa männyn puuttuminen märiltä (ε>15) moreeneilta.



Kuva 3. Sähkönjohtavuuden (ravinnepotentiaalin) tiheyskuvaajat männyn, kuusen ja hieskoivun moreenikasvupaikoilla. Huomaa kuusen puuttuminen niukkaravinteisilta (σ<0,5 mS/m) moreeneilta.

($\sigma^{(Kuusi)}$=0,96±0,03 mS/m; $\sigma^{(Hiesi)}$=0,90±0,04 mS/m) moreeneilla. Lähes kaikki kuuset (98,7 %, n=2894) kasvoivat moreeneilla, joiden σ>0,5 mS/m (kuva 3). Haapa ja raita painottuivat niin ikään tuoreille moreeneille ($\varepsilon^{(Haapa)}$=16,7 ±0,8; $\varepsilon^{(Raita)}$=16,7±2,1).

Männyn ja kuusen moreenikasvupaikat olivat ε:n ja s:n suhteen erilaiset (Wilcoxonin Z_ε=-52,57, p=0, Z_σ=-49,31, p=0), samoin männyn ja hieskoivun (Z_ε=-35,85, p=0, Z_σ=-34,39, p=0). Männyn ja rauduskoivun moreenikasvupaikat olivat ε:n suhteen samanlaisia (Z_ε=-0,196, p=0,8). Puulajidiversiteetti (Shannonin *S*), haapa-raita-koivut-mänty-kuusi, oli suurimmillaan moreeneilla 12<ε<15 ja 0,8<σ<1,2 mS/m. *S*:n ja lämpösumman (600–750 d.d.) välillä ei ollut tilastollista yhteyttä (Spearmanin r_s=0,009, p=0,93). Myöskään männyn ja koivun osuudet eivät merkitsevästi korreloineet lämpösumman kanssa (r_s=0,23, p=0,0504; r_s=0,-0,18, p=0,86). Kuusella sen sijaan oli hienoinen tendenssi lisääntyä pienenevän lämpösumman mukaisesti (r_s=-0,27, p=0,0202). Kuitenkin mänty, kuusi ja hieskoivu voivat yhdessä esiintyä moreeneilla, joiden dielektrisyys vaihtelee välillä 7<ε<15 ja joiden σ>0,5 mS/m. Nämä havainnot viittaavat siihen, että mänty voi puuttua sukkessiosarjasta märillä moreeneilla, joissa jatkuva uudistuminen tapahtuu kuusen ja hieskoivun välillä (Hytteborn ym. 1987, Hofgaard 1993).

Tutkittujen metsikköjen valtapuulaji (50–80 %, Kinnunen ym. 1998) seuraa moreenien litologiaa siten, että mänty on valtapuuna happamien ja niukkaravinteisten granitoidikivilajien alueella (σ_{ka}=0,72 mS/m), erityisesti granuliittikaaren alueella (σ_{ka}=0,52 mS/m). Puhtaita monokulttuureja oli vain 1,3 % ja kaikki olivat männiköitä karuilla ganuliittikaaren moreeneilla. Kuusi voi olla valtapuuna erityisesti Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeen metavulkaniitti- ja liuskealueilla (σ_{ka}=1,13 mS/m), mutta puuttuu niukkaravinteisilta granuliittikaaren moreeneilta (ks. Ruther 1999). Niissä metsiköissä, joissa mäntyä oli yli 70 % runkoluvusta, dielektrisyyskeskiarvot vaihtelivat $4{,}9<\varepsilon<11{,}1$ ja vastaavasti kuusivaltaisissa $11{,}9<\varepsilon<36{,}5$.

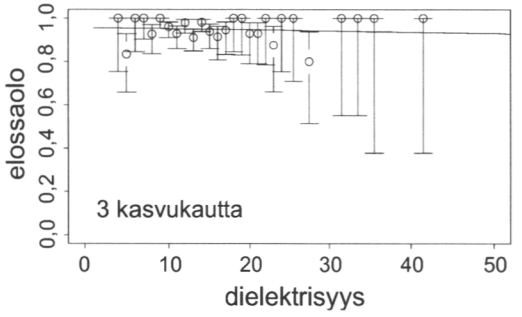
Männyn luontainen moreenikasvupaikka on tunnetusti kuiva (ks. Frödin 1916, Kujala 1929), mutta "kuivuudelle" ($\varepsilon<15$) ei ole esitetty numeerisia, maastossa tunnistettavia kriteereitä. Vaikka yleisesti maaperän vesipitoisuus (esim. Hillel 1998) vaihtelee kasvukauden aikana, muutokset Lapissa toistuvat moreenityypeittäin hyvin samankaltaisina vuodesta toiseen. Merkittävin ilmastollinen tekijä on, että yli 40 % sadannasta tulee lumena (Solantie 1987), ja lumen sulaminen tapahtuu nopeasti toukokuun lopulla. Moreenien läpi suotautuvan (sulamis)veden virtausnopeuksissa (Vukovic ja Soro 1992, ks. Mecke ym. 2000) on merkittäviä eroja johtuen moreenien rakenteesta, raekoostumuksesta ja raemuodosta. Männyn moreenikasvupaikoilla (kenttäkyllästynyt) hydraulisen johtavuuden on todettu olevan $K_{fs}>10^{-5}$ m/s (Penttinen 2000). Tämän seurauksena näillä karkearakeisilla moreenikasvupaikoilla ei lumen sulamisesta aiheutuvaa kyllästymistä havaita esim. viikottaisin seurannoin. Samoin kesäsateiden vaikutus on lyhytaikainen. Sitä vastoin hienorakeisilla kuusen moreenikasvupaikoilla lumen sulamisen jälkeinen kyllästynyt ($\varepsilon>30$) tila saattaa kestää useita viikkoja (Sutinen ym. 1997), joka piirre voi männyn kannalta olla kriittinen tekijä.

Kuusen on todettu välttävän kuivia kasvupaikkoja Lapissa (Kujala 1929). Ravinteiden ottoon saattaa kuusella vaikuttaa paitsi moreenien huokosveden määrä myös sen sisältämä suolojen (ravinteiden) määrä. Tätä voidaan tarkastella mitattujen dielektrisyyden ja sähkönjohtavuuden perusteella lasketun huokosveden johtavuuden (σ_w) suhteen (Puranen ym.1999). Esim. granuliittikaaren moreeneilla Saariselkä-Ivalo-välillä todettiin alhaiset kokonaisjohtavuudet, mutta suhteutettuna alhaisiin vesipitoisuuksiin huokosveden johtavuudet saattavat olla niinkin korkeita kuin σ_w= 18,5–36 mS/m, kun ne tyypillisesti ovat $\sigma_w<10$ mS/m kosteilla ja märillä ($\varepsilon>20$) Pomokairan HMT-kuusikoiden moreeneilla. Kun kuusen sanotaan kärsivän kuivuudesta, saattaa kysymys olla sittenkin huokosveteen ja sitä kautta ravinteiden ottoon liittyvistä ongelmista.

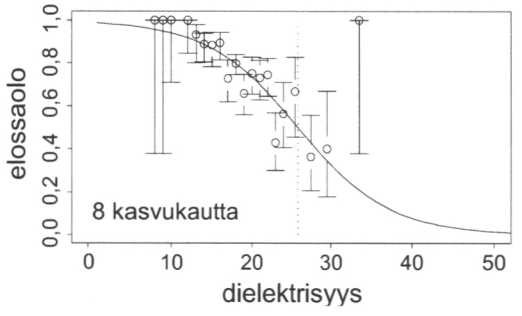
3.2 Männyn elossaolo

Viljellyt moreenikasvupaikat vaihtelivat kuivista kyllästyneisiin (3,6< ε<60). Siten yksittäisten mäntyjen viljelykohtien vesipitoisuusvaihtelu oli samankaltainen kuin aikuisten kuusten kasvupaikkojen (kuva 2). Kaikki tutkitut uudistusalat olivat entisiä HMT-kuusikoita, joten on ilmeistä, että HMT:n indikaattorilajit eivät ole hyviä moreenien vesipitoisuuden kuvaajia (Salmela ym. 2001).

Taimien (n=4000, kahdeksan taimikkoa) elossaolon (97–80 %) ei havaittu olevan riippuvainen vesipitoisuudesta (dielektrisyydestä) 2–7 vuotta vanhoissa taimikoissa (esimerkkinä kuva 4). Eläviä taimia havaittiin sekä kuivissa ε=5 että märissä ε>30 viljelykohdissa. Ikäluokassa 7–11 vuotta sen sijaan havaittiin korrelaatio (p=0) taimien (n=1500, kolme taimikkoa) elossaolon ja dielektrisyyden välillä (esimerkkinä kuva 5).

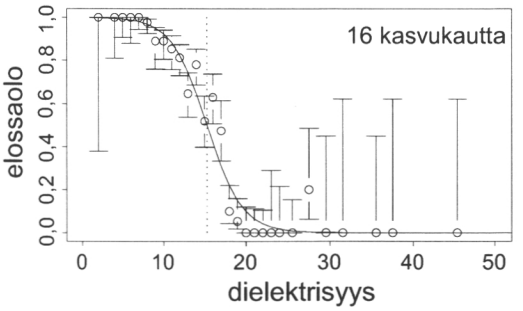


Kuva 4. Esimerkki istutettujen männyn taimien (n=500) elossaolon ja dielektrisyyden (vesipitoisuuden) välisestä riippumattomuudesta (p=0,512) kolmen kasvukauden jälkeen. Moreenin ε_{ka}=13,3, taimista elossa 95 % ja (ε_{50}=312,8).



Kuva 5. Esimerkki istutettujen männyn taimien (n=500) elossaolon ja dielektrisyyden (vesipitoisuuden) riippuvuus (p=0) kahdeksan kasvukauden jälkeen. Moreenin ε_{ka}=25,8, taimista elossa 76 % ja ε_{50}=25,8.

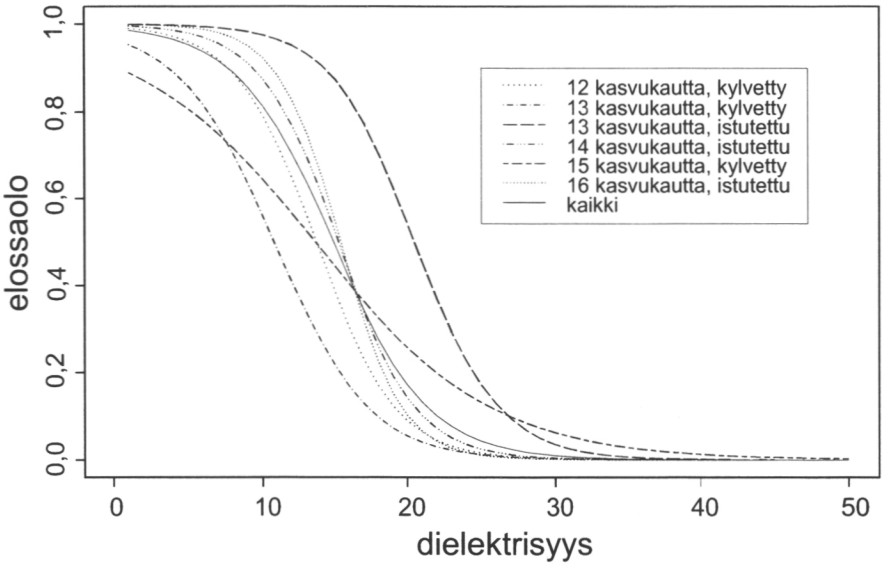
Kuitenkin taimien uudistusalakohtainen elossaolo vaihteli suuresti ja oli 9–76 %. Useissa tapauksissa taimien tuhoutumiseen on vaikuttanut versosurmaepidemia, joka alueella todettiin 1994, mutta joka saattaa liittyä kesän 1992 runsaaseen sadantaan ja/tai viileään kesään 1993. Ei ole kuitenkaan kokeellista näyttöä siitä, että moreenikasvupaikkojen korkealla vesipitoisuudella ja versosurman esiintymisellä olisi yhteyttä.



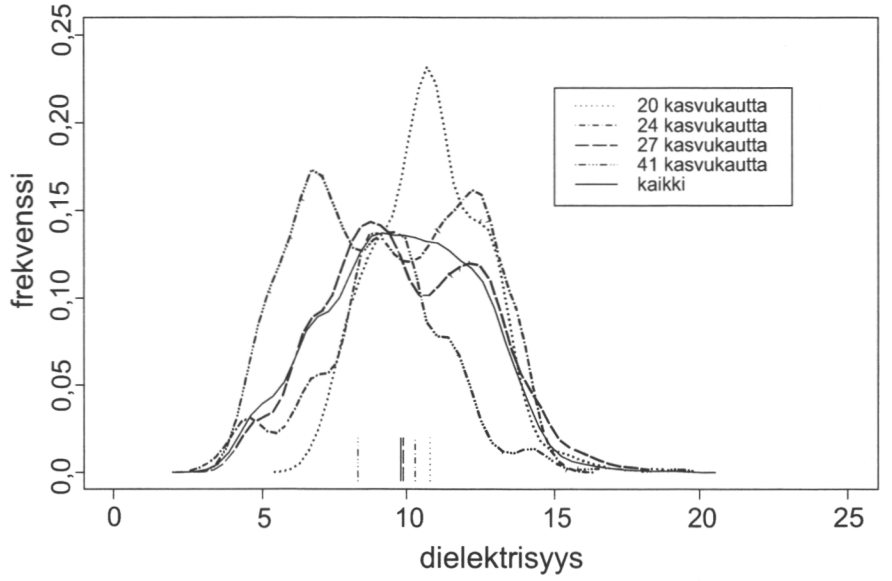
Kuva 6. Esimerkki istutettujen männyn taimien (n=500) elossaolon ja dielektrisyyden (vesipitoisuuden) välinen riippuvuus (p=0) 16 kasvukauden jälkeen. Moreenin ε_{ka}=13,5, taimista elossa 64 %, ja ε_{50}=15,3.

Ikäluokassa 12–16 vuotta havaittiin erittäin merkitsevä korrelaatio (p=0) taimien (n=3000, kuusi taimikkoa) elossaolon ja dielektrisyyden välillä (esimerkkinä kuva 6). Tämän ikäluokan 50 % elossaolo ε_{50} =15,1 (kuva 6), joka vastaa vesipitoisuutta θ_v = 0,27 cm^3cm^{-3} (Topp ym. 1980) tai θ_v = 0,23 cm^3cm^{-3} (Sutinen 1992) kalibroinnista riippuen. Selkeä ero havaittiin istutettujen taimien elossaolossa (64–91 %, ε_{50}=17) verrattuna kylvettyihin (39–61 %, ε_{50}=12,7; kuva 7). Alhaisin elossaolo ja ε_{50}=10,7 havaittiin versosurmaepidemian läpi käyneellä kylvetyllä viljelyalalla. Istutuksen paremmuus on saman suuntainen aiempien havaintojen kanssa (Pohtila 1977, Pohtila ja Pohjola 1983, Valtanen ja Tasanen 1996). On kuitenkin huomattava, että myöskään istutetut taimet eivät näytä menestyvän märällä moreenilla. Lisäksi nyt havaittu elossaolo lienee optimistinen pitemmällä aikavälillä, koska eläväksi katsotun taimen kunto saattoi olla hyvinkin huono. Kasvukausiluokassa 20–41 vuotta lähes kaikki puut (96,5 %, n=2000) kasvoivat moreeneilla, joiden ε<15 (kuva 8).

Nuorissa taimikoissa moreenien vesipitoisuuden ja elossaolon yhteyttä ei havaita, mutta taimikon lähestyessä vakiintumisikää 20 vuotta (Hansson ja Karlman 1997) selkeä yhteys havaitaan siten, että eloon jäävät kuivissa kohdissa kasvavat taimet. Toistaiseksi ei tiedetä, miksi taimet alkavat heiketä ja tuhoutua merkittävästi vasta 7 kasvukauden jälkeen. Osassa tapauksista saattaa olla kyseessä syksyisin ja keväisin rousteen



Kuva 7. Taimien elossaolon todennäköisyysmallit kylvetyille ja istutetuille taimikoille 12–16 kasvukauden jälkeen. Istutettujen taimikoiden e_{50}=17,0, kylvettyjen ε_{50}=12,7 ja kaikkien ε_{50}=15,1.



Kuva 8. Viljeltyjen mäntyjen moreenikasvupaikkojen dielektrisyysjakaumat 20–41 kasvukauden jälkeen.

aiheuttamat mekaaniset vauriot (Goulet 1995, Liwata 1999). Yhtenä tekijänä saattaa olla 5 kasvukauden jälkeen kokeellisesti havaittu epätasapaino männyn juuri-verso suhteessa taimilla, joita on kasvatettu kostealla moreenilla (Sutinen, M.-L. ym. 2000). Sekä männyn että kuusen juuret tarvitsevat ilmaa. Samoin niiden kanssa symbioosissa elävät mykorritsasienet ovat aerobisia. Kuivilla moreeneilla $\varepsilon<15$ ilmatilan määrä on yli 30 %, kun taas märillä moreeneilla ($\varepsilon>30$) ilmatila on alle 10 % (Hänninen 1997, ks. Lähde 1975, Mannerkoski ja Möttönen 1990). Tämä on omiaan vaikeuttamaan hapen saantia ja voi johtaa anaerobiseen tilaan (Kowalik 1985, Renault ja Sierra 1994). Männyn ja kuusen juurten kasvustrategia on tunnetusti erilainen. Kuusi kasvattaa jälkijuuria, ja myös hieskoivun tiedetään pystyvän kuljettamaan ilmaa juuriinsa. Tästä mahdollisesti johtuu, että kuusi selviää märällä kasvualustalla. Toisaalta kuusen ja männyn juurten fysiologia saattaa olla niin erilainen, että havaittu erilaisuus selittyy geneettisesti.

Tämä tutkimus osoitti, että männynviljelyn onnistumiselle parhaat edellytykset on kuivilla moreeneilla ($\varepsilon<15$) ja että vakiintuneissa (yli 20 kasvukautta) taimikoissa mäntyjen moreenikasvupaikat (kuva 8) vastaavat luontaisesti varttuneiden mäntyjen kasvupaikkoja (kuvat 1–2). Moreenien heterogeenisuudesta johtuen käytännön metsätalouden kannalta on oleellisen tärkeää paikantaa uudistusalojen kuivat ($\varepsilon<15$) osat ja keskittää männynviljely niihin.

Yhteenveto

Tässä työssä tutkittiin Keski- ja Pohjois-Lapin luontaisesti varttuneiden metsikköjen (76) puulajikoostumusta puukohtaisesti (n=7596) moreenikasvupaikkojen dielektrisyyden (ε) ja sähkönjohtavuuden (s) suhteen sekä selvitettiin viljeltyjen mäntyjen (2–41 kasvukautta) elossaolon ja moreenien ε:n välistä riippuvuutta taimi/puu-kohtaisesti (n=10500) 21 uudistusalalla. Aikuisten puiden moreenikasvupaikat vaihtelivat kuivista kyllästyneisiin ($3,5<\varepsilon<58$) ja niukkaravinteisista ravinteikkaisiin $0,15<\sigma<3$ mS/m. Mänty ja rauduskoivu esiintyvät ainoastaan kuivilla ja karuilla moreeneilla. Lähes kaikki (98,3 % n=3750) männyt kasvavat moreeneilla joiden $\varepsilon<15$, ja valtapuuna se on granitoidialueilla. Haapa ja raita painottuvat tuoreille moreeneille. Kuusi ja hieskoivu esiintyvät luontaisesti tuoreilla ja ravinteikkailla moreeneilla. Kuusi on usein valtapuuna Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeessä, mutta käytännössä puuttuu (1,3 % n=2894) niukkaravinteisilta ($\sigma<0,5$ mS/m), erityisesti Lapin granuliittikaaren moreeneilta. Männyn ja kuusen, samoin kuin männyn ja hieskoivun, moreenikasvupaikat eroavat ε:n ja σ:n suhteen toisistaan (p=0).

Puulajidiversiteetti (Shannonin *S*), haapa-raita-koivut-mänty-kuusi, on suurimmillaan moreeneilla $12<\varepsilon<15$ ja $0{,}8<\sigma<1{,}2$ mS/m. *S*:n ja lämpösumman (600–750 d.d.) välillä ei ollut tilastollista yhteyttä.

Entisiin HMT-kuusikoihin viljeltyjen mäntyjen moreenikasvupaikkojen dielektrisyysvaihtelu oli yhtä suuri kuin aikuisten kuusten. Taimien elossaolon ja ε:n välillä ei havaittu yhteyttä nuorissa (2–7 kasvukautta) taimikoissa. Sitä vastoin erittäin merkitsevä riippuvuus ($p=0$) havaittiin vanhemmissa taimikoissa. Ikäluokassa 12–16 vuotta kuolleisuus kasvoi jyrkästi suurilla e-arvoilla siten, että istutettujen taimien 50 % elossaolo oli $\varepsilon_{50}=17{,}0$ ja vastaavasti kylvettyjen $\varepsilon_{50}=12{,}7$. Ikäluokassa 20–41 lähes kaikki (96,5 %) männyt kasvoivat moreeneilla, joiden $\varepsilon<15$. Johtopäätös on, että Lapissa moreenien vesi ja ravinteet säätelevät puulajien esiintymistä ja diversiteettiä siten, että pääpuulajit voivat yhdessä esiintyä moreeneilla joissa moreeneilla $7<\varepsilon<15$ ja $\sigma>0{,}5$ mS/m ja että männynviljelyllä on parhaat edellytykset onnistua moreeneilla, joiden ominaisuudet vastaavat männyn luontaisia kasvupaikkavaatimuksia ($\varepsilon<15$).

Kirjallisuus

Barker, R.D. 1981. The offset system of electrical resistivity sounding and its use with a multicore cable. Geophysical Prospecting 29: 128–143.

Cajander, A.K. 1949. Metsätyypit ja niiden merkitys. Forest types and their significance. Acta Forestalia Fennica 56. 69 s.

Food and Agriculture Organization 1990. Soil map of the world. Revised Legend. World Soil Resources Report 60. FAO, Rome, Italy. 119 s.

Frödin, J. 1916. Studier över skogsgränserna in norra delen av Lule Lappmark. Lunds Universitet Årsskrift N.F. Avd. 2., Bd.13., Nr. 2. 73 s.

Gardner, W.H. 1986. Water Content. Julkaisussa: Klute A. (toim.). Methods of soil analysis, Part 1- Physical and mineralogical methods. Monograph No 9. American Society of Agronomy. Madison WI. s. 493–544.

Goulet, F. 1995. Frost heaving of forest trees: a rewiev. New Forests 9: 67–94.

Hansson, P. & Karlman, M. 1997. Survival, height and health status of 20-year-old Pinus sylvestris and Pinus contorta after different scarification treatments in a harsh boreal climate. Scandinavian Journal of Forest Research 12: 340–350.

Hillel, D. 1998. Environmental soil physics. Academic Press, San Diego. 771 s.

Hofgaard, A. 1993. Natural dynamics of old-growth Picea abies forest-spatial and temporal patterns, northern Sweden. Dissertations in forest vegetation ecology 2. Swedish University of Agrcultural Sciences. 19 + 76 + 4 s.

Hytteborn, H., Packham, J.R. & Verwijst, T. 1987. Tree population dynamics, stand structure and species composition in the moraine virgin forest of Vallibäcken, northern Sweden. Vegetatio 72: 3–19.

Hänninen, P. 1997. Dielectric surveying for overburden classification. Geological Survey of Finland. Bulletin 396. 72 s.

— & Sutinen, R. 1994. Dielectric prediction of landslide susceptibility: A model applied to modern flow deposits. 7th Int. IAEG Congress. 137–144.

Ilvessalo, Y. 1937. Perä-Pohjolan luonnon normaalien metsiköiden kasvu ja kehitys. Summary: Growth of natural normal stands in central North-Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 24(2). 168 s.

Kalela, E.K. 1949. Männiköiden ja kuusikoiden juurisuhteista I. Summary: On the horizontal roots in pine and spruce stands I. Acta Forestalia Fennica 57(2). 79 s.

Kinnunen, O., Kokkonen, S., Kokkoniemi, T., Korpivuoma, J., Murtoniemi, S., Sandström, O. & Soinne, H. 1998. Itä-Lapin Luonnonvarasuunnitelma. Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja 16. 161 s.

Kowalik, P.J. 1985. Influence of land improvement on soil oxidation. Swedish University of Agricultural Sciences. Report 42. 145 s.

Kujala, V. 1929. Untersuchungen über Waldtypen in Petsamo und in angrenzenden Teilen von Inari-Lappland. Seloste: Tutkimuksia Petsamon ja siihen rajoittuvien Inarin Lapin osien metsätyypeistä. Communicationes ex Instituto Quaestionum Forestalium Finlandiae 13(9). 125 s.

Larsen, J.A. 1980. The boreal ecosystem. Academic Press, New York. 500 s.

Lehtonen, M., Manninen, T., Rastas, P., Väänänen, J., Roos, S.I. & Pelkonen, R. 1985. Keski-Lapin geologisen kartan selitys. Summary and discussion: Explanation to the geological map of Central Lapland. Geological Survey of Finland. Report of Investigation 71. 56 s.

Liwata, P. 1999. Needle ice formation in forest till soils. Unpublished MSc-thesis. University of Oulu. 62 s.

Lundmark, J.-E. 1988. Skogsmarkens ekologi. Ståndortsanpassat skogsbruk, Del 2- Tillämpning. Skogstyrelsen, Jönköping. 319 s.

Lähde, E. 1975. The effect of grain size distribution on the condition of natural and artificial sapling stands of Scots pine. Selostus: Maan lajitekoostumuksen vaikutus männyn luontaisten ja viljelytaimistojen kuntoon. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 84. 23 s.

Majdi, H. & Persson, H. 1993. Spatial distribution of fine roots, rhizosphere and bulk-soil chemistry in an acidified Picea abies stand. Scandinavian Journal of Forest Research 8: 147–155.

Mannerkoski, H. & Möttönen, V. 1990. Maan vesitalous ja ilmatila metsäaurausalueilla. Silva Fennica 24(3): 279–301.

Mecke, M., Westman, C.J. & Ilvesniemi, H. 2000. Prediction of near-saturated hydraulic conductivity in three podsolic boreal forest soils. Soil Science Society of America Journal 64: 485–492.

Mäkitalo, K. 1999. Effect of site preparation and reforestation method on survival and height growth of Scots pine. Scandinavian Journal of Forest Research 14: 512–525.

Ojansuu, R. & Henttonen, H. 1983. Kuukauden keskilämpötilan, lämpösumman ja sademäärän paikallisten arvojen johtaminen Ilmatieteen laitoksen mittaustiedostoista. Summary: Estimation of local values of monthly mean temperature, effective temperature sum and precipitation sum from the measurements made by the Finnish Meteorological Office. Silva Fennica 17(2): 143–160.

Pastor, J., Cohen, Y. & Moen, R. 1999. Generation of spatial patterns in boreal forest landscapes. Ecosystems 2: 439–450.

Payette, S. 1992. The range limit of boreal tree species in Québec-Labrador: an ecological and palaeoecological interpretation. Review of Palaeobotany and Plynology 79: 7–30.

Penttinen, S. 2000. Electrical and hydraulic classification of forest till soil in Central Lapland. Geological Survey of Finland. Bulletin 398. 88 s.

Pernu, T. 1991. Model and field studies of direct current resistivity measurements with the combined (half-Schlumberger) array AMN, MNB. Acta Universitatis Ouluensis, Serie A, 221. 77 s.

Pohtila, E. 1977. Reforestation of ploughed sites in Finnish Lapland. Seloste: Aurattujen alueiden metsänviljely Lapissa. Communicationes Instituti Forestales Fenniae 91(4). 98 s.

— & Pohjola, T. 1983. Vuosina 1970–1972 Lappiin perustetun aurattujen alueiden viljelykokeiden tulokset. Summary: Results from the reforestation experiment on ploughed sites established in Finnish Lapland during 1970–1972. Silva Fennica 17(3): 201–224.

Puranen, R., Sulkanen, K., Nissinen, R. & Simelius, P. 1999. Ominaisvastuuluotaimet ja vastustalikot. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti Q15/27.4/99/2. 8 s.

Reiman, C., Äyräs, M., Chekuskin, V.A., Bogatyrev, I.V., Boyd, R., de Caritat, R., Dutter, R., Finne, T.E., Halleraker, J.H., Jaeger, O., Kashulina, G., Niskavaara, H., Lehto, O., Pavlov, V.A., Räisänen, M-L., Strand, T. & Volder, T. 1998. Environmental Geochemical Atlas of the Central Barents Region. Geological Survey of Norway. 745 s.

Renault, P. & Sierra, J. 1994. Modelling oxygen diffusion in aggregated soils II. Anaerobiosis in topsoil layers. Soil Science Society of America Journal 58: 1023–1030.

Ruther, A. 1999. Electromagnetic characteristics of forest till soils on Norway spruce timberline in Finnish Lapland. Julkaisematon diplomityö, Wienin yliopisto.

Salmela, S., Sutinen, R. & Sepponen, P. 2001. Understorey vegetation as an indicator of water content in till soils in Finnish Lapland. Scandinavian Journal of Forest Research. Painossa.

Shainberg, I., Rhoades, J.D. & Prather, R.J. 1980. Effect of exchangeable sodium percentage, cation exchange capacity and soil solution concentration on soil electrical conductivity. Soil Science Society of America Journal 44: 469–473.

Sirén, G 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in northern Finland and its ecology. Lyhennelmä: Pohjois-Suomen paksusammalkankaiden kuusimetsien kehityksestä ja sen ekologiasta. Acta Forestalia Fennica 62(4). 408 s.

Solantie, R. 1987. Hallojen loppuminen keväällä ja alkaminen syksyllä. - Last spring frosts and first autumn frosts in Finland. Meteorologisia julkaisuja 6. 60 s.

Sutinen, M.-L., Salmela, S., Sutinen, R. & Vapaavuori, E. 2000. The growth of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Norway spruce (*Picea abies*) seedlings on hydrologically and nutritionally contrasting till soils in Finnish Lapland. Phyton 40(4): 175–178.

Sutinen, R. 1992. Galcial deposits, their electrical properties and surveying by image interpretation and ground-penetrating radar. Geological Survey of Finland. Bulletin 359. 123 s.

— , Hänninen, P., Mäkitalo, K., Penttinen, S. & Sutinen, M.-L. 1997. Snowmelt saturation restricts Scots pine growth on fine-grained tills in Lapland. CRREL Special Report 97-10: 507–512.

— , Teirilä, A., Pänttäjä, M. & Sutinen, M.-L. 2000a. Distribution and diversity of tree species with respect to soil electrical characteristics in Finnish Lapland. Käsikirjoitus.

— , Teirilä, A., Sutinen, M.-L. & Pänttäjä, M. 2000b. Survival of artificially regenerated Scots pine on till soils with respect to varying dielectric properties. Käsikirjoitus.

Tamminen, P. 1993. Pituusboniteetin ennustaminen kasvupaikan ominaisuuksien avulla Etelä-Suomen kangasmetsissä. Summary: Estimation of site index for Scots pine and Norway spruce stands in South Finland using site properties. Folia Forestalia 819. 26 s.

Timoney, K.P., La Roi, G.H., Zoltai, S.C. & Robinson, A.L. 1993. Vegetation communities and plant distributions and their relationships with parent materials in the forest-tundra of north-western Canada. Ecography 16: 174–188.

Topp, G.C., Davis, J.L. & Annan, A.K. 1980. Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. Water Resources Research 16(3): 574–582.

Urvas, L. & Erviö, R. 1974. Metsätyypin määräytyminen maalajin ja maaperän kemiallisten ominaisuuksien perusteella. Abstract: Influence of soil type and the chemical properties of soil on the determining of the forest type. Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland 46(3): 307–319.

Valtanen, J. & Tasanen, T. 1996. Männyn viljelytavan valinta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 608. 77 s.

Vucovic, M. & Soro, A. 1992. Determination of hydraulic conductivity of porous media from grain-size composition. Water Resources Publications, Littleton CO. 83 s.

Wobschhall, D. 1977. A theory of the complex dielectric permittivity of soil containing water, the semidispersive model. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. GE-15: 29–58.

Östlund, L., Zakrisson, O. & Axelsson, A.-L. 1997. The history and transformation of a Scandinavian boreal forest landscape since the 19th century. Canadian Journal of Forest Research 27: 1198–1206.

Männynviljelyn onnistuminen ja siihen vaikuttavat tekijät – tuloksia pitkäaikaisesta metsänviljelykokeesta Lapissa

Kari Mäkitalo[1] ja Juha Heiskanen[2]

[1]Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema, PL 16, 96301 Rovaniemi
[2]Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusasema, 77600 Suonenjoki

kari.makitalo@metla.fi, juha.heiskanen@metla.fi

1 Johdanto

Pohjois-Suomen metsänviljelyaloilla on ajoittain esiintynyt runsaasti taimituhoja. Eri ajankohtien kuten1960-luvun lopun ja 1980-luvun alun tuhoissa on havaittavissa yhteisiä piirteitä. Niitä on tavattu yleensä männyntaimikoissa kylmien ja sateisten kasvukausien jälkeen. Pahimmat tuhot on havaittu entisillä kuusivaltaisilla kasvupaikoilla, jotka sijaitsevat usein korkeilla alueilla ja joiden keskimääräinen lämpösumma on alhainen ja ilmasto humidinen (Pohtila 1977, Mäkitalo 1983, Pohtila ja Pohjola 1983, 1985). Näiden kasvupaikkojen maaperä on yleensä kosteaa ja tiivistä moreenia, joka sisältää runsaasti hienoja maalajitteita. Lopullisen tuhoutumisen on aiheuttanut jokin sienitauti, etenkin männyn versosurma tai lumihome (Valtanen 1970, Norokorpi 1971, Jalkanen 1989). Täydennysviljelylläkään ei ole pystytty kohentamaan uudistamistulosta (Saarenmaa ja Leppälä 1995). Myös viljelykokeissa männynuudistaminen on onnistunut selvästi heikommin luontaisesti kuusivaltaisilla alueilla kuin mäntyä luontaisesti kasvaneilla alueilla (Pohtila ja Pohjola 1985, Mäkitalo 1990, 1999). Tosin kuusivaltaisten metsien männynviljelyissä on saavutettu hyviäkin tuloksia (Heikinheimo 1939, Sirén 1955), mikä on tuonut epävarmuutta puulajivalintaan.

Varmola, M. & Tapaninen, S. (toim.). 2001. Pohjoisten metsien hoito. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 803: 71–103.

1960-luvun tuhojen arveltiin aiheutuneen mm. sopimattomista siemenalkuperistä. Etholénin (1972) inventointitutkimus ei kuitenkaan tukenut väitettä. 1980-luvun tuhoihin siemenalkuperä on todennäköisesti vaikuttanut aikaisempaa vähemmän, sillä Lapin metsänviljelyissä on vuodesta 1972 lähtien pyritty käyttämään paikallisia alkuperiä. Monosen (1987) mukaan viljelytulos paranee paremman elävyyden ansiosta korkeussuuntaisissa ylhäältä alas-siirroissa. Siemensiirrot eivät hänen mukaansa kuitenkaan ratkaise Pohjois-Suomen metsänviljelyn ongelmia, sillä millään alkuperällä ei päästä yhtä korkeisiin elävyysarvoihin kuin Etelä-Suomessa. Pohtila ja Pohjola (1983) totesivat pohjoisuuden ja maaston korkeuden lisääntymisen sekä lämpösumman vähentymisen vaikuttavan heikentävästi männyntaimien elossaoloon. Samansuuntaisia tuloksia ovat esittäneet myös Valkonen (1992) ja Saarenmaa (1991, 1992).

Maan ravinteisuuden on myös esitetty vaikuttavan männyntaimien menestymiseen Lapissa. Fosforilannoituksella tai kalkituksella onkin jonkin verran pystytty parantamaan taimien elossaoloa ja pituuskasvua (Pohtila 1972, Mutka ja Lähde 1977, Välikangas 2000). Toisaalta myös päinvastaisia tuloksia on raportoitu (Niska ja Levula 1987). Tikkanen ja Raitio (1984) esittivät moniosaisessa hypoteesissaan, että syynä männyntaimien huonokuntoisuuteen ja tuhoihin aurausaloilla olisi typen ja fosforin puutos (kts. myös Tikkanen 1988). Vaikka hypoteesin eräitä osia kuten humuksen väheneminen ja sen kemialliset muutokset sekä vaikealiukoisten epäorgaanisten fosforiyhdisteiden lisääntyminen maassa voitiinkin osoittaa todeksi, niiden ei kuitenkaan ole osoitettu aiheuttavan männyntaimien ravinnepuutosta (Tikkanen 1985). Tikkanen (1985) ehdottikin, että hypoteesin tutkimista olisi jatkettava ja lisäksi selvitettävä mm. ankaran ilmaston osuutta oletettuun ravinnepuutokseen. Mäkitalo ja Alenius (2000) eivät löytäneet männyntaimien menestymisen ja maan tai neulasten fosforipitoisuuden välille yhteyttä. Sen sijaan typen ja eräiden kivennäisravinteiden (Ca, K, Mg, P) suhde selitti tilastollisesti merkitsevästi taimien elossapysymistä ja keskipituutta 16 kasvukauden jälkeen.

Maaperän epäedullisia fysikaalisia ominaisuuksia on kuitenkin pidetty 1960-luvun taimituhojen ehkä tärkeimpänä syynä. Maan lajitekoostumuksella on aiemmissa tutkimuksissa havaittu olevan vaikutusta männyntaimien kuntoon ja taimien elossapysymiseen (Lähde ja Siltanen 1973, Lähde 1973, 1974a, 1974b). Lähteen (1974b) mukaan maan hienojen lajitteiden (<0,06 mm) osuuden ylittäessä 25 % männynviljelyn onnistumisedellytykset laikutetuilla aloilla heikkenivät jyrkästi. Siihen asti yleisimmin käytetyn maanpinnan käsittelymenetelmän, laikutuksen, arveltiinkin olevan riittämätön etenkin kosteilla entisillä kuusimailla. Auraus syrjäytti 1960-luvun lopulla laikutuksen ja siitä tuli vähitellen yleis-

menetelmä (Pohtila 1977). Tutkimukset osoittivat myöhemmin arvelut oikeiksi. Aurauksella pystyttiin kuohkeuttamaan maata, kohottamaan maan lämpötilaa sekä vähentämään kosteutta ja lisäämään ilmatilaa (Mälkönen 1972, Leikola 1974, Kauppila ja Lähde 1975, Mutka ja Lähde 1977, Lähde 1978, Ritari ja Lähde 1978, Lähde ym. 1981) sekä lisäämään taimien käytettävissä olevien ravinteiden määrään mikrobitoiminnan tehostumisen kautta (Palmgren 1984). Männyntaimien alkukehitys auratuilla uudistusaloilla osoittautuikin paremmaksi kuin laikutusaloilla (Pohtila 1977, Lähde 1978, Lähde ym. 1981, Pohtila ja Pohjola 1983, 1985).

Maan ominaisuuksien vaikutukseen kiinnitettiin uudelleen huomiota 1990-luvulla, jolloin esitettiin maan korkean dielektrisyyden liittyvän Lapin taimituhoihin. Dielekrisyydelle (K_a) on eri julkaisuissa esitetty ylärajoja, 12–18, joita suuremmilla arvoilla mäntyä ei luontaisesti kasvupaikalla esiinny ja männynviljely epäonnistuu (Mäkitalo ym. 1993, 1995, Sutinen ym. 1994, 1997, 1998a, b, M.-L. Sutinen ym. 1999, Siira 1998, Hänninen 1997, Penttinen 2000). Dielektrisyys on sähköopillinen suure, johon vaikuttaa eniten maassa olevan vapaan veden määrä. Se voidaan tarkasti muuntaa vesipitoisuudeksi (Topp ym. 1980). Esimerkiksi edellä esitetyt ylärajat vastaavat 23–32 til. % vesipitoisuuksia. Metsänuudistamisen suunnittelun apuvälineeksi on kehitelty menetelmää, jossa maastossa mitatun maan dielektrisyyden avulla, yhdistettynä matalalentomittauksiin ja luonnon gamma-säteilyyn perustuvaan maan kosteuskartoitukseen, voitaisiin määritellä sopiva puulaji kullekin kasvupaikalle (Mäkitalo ym. 1993, Sutinen ym. 1994, 1998b). Menetelmään liittyy kuitenkin vielä joitakin ongelmia, kuten mittausajankohdan valinta ja mittaustuloksen edustavuus.

Maan dielektrisyyden (vesipitoisuuden) ja männynviljelyn onnistumisen välistä riippuvuutta ei ole myöskään riittävästi tutkittu. Pitkäaikaiset viljelykokeet soveltuvat parhaiten tämän riippuvuuden tutkimiseen, sillä tarkka viljelymäärä ja tiedot tuhoista ovat niissä käytettävissä aineistoja analysoitaessa toisin kuin inventointityyppisissä tutkimuksissa. Taimikkoinventoinneissa esimerkiksi tuhoutuneiden taimien viljelykohdan tarkka määrittäminen jälkikäteen useiden vuosien kuluttua on lähes mahdotonta, koska käytännön viljelyssä taimet yleensä viljellään parhaisiin viljelykohtiin – joko palteeseen tai pientareeseen – systemaattisen taimivälin sijasta. Saksan (1992) mukaan harvavakoinen aurausjälki ei aina tarjoa riittävästi optimaalisia istutuskohtia, johon viittaavat myös havainnot taimikoiden suuremmasta ryhmittäisyydestä aurausaloilla äestysaloihin verrattuna. Viljelykokeet mahdollistavat inventointitutkimuksia luotettavammin myös eri viljely- tai maankäsittelymenetelmien vertailun, sillä käytännön viljelyaloilla eri menetelmien käyttö on voinut ohjautua erilaisille kasvupaikoille (Saksa 1992). Tuloksia pitkäaikaisis-

ta, yli 15 vuotta kestäneistä viljelykokeista on Skandinavian pohjois-osista julkaistu toistaiseksi melko vähän (Örlander ym. 1990b, 1996, Valtanen ja Tasanen 1996, Hansson ja Karlman 1997, Kubin ym. 1997, Mäkitalo 1999). Vielä vähemmän on käytettävissä tuloksia ilmasto- ja maaperätekijöiden pitkäaikaisesta vaikutuksesta taimien menestymiseen (Mäkitalo ja Alenius 2000).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää

1) kasvupaikan ja maankäsittelyn vaikutusta maan fysikaalisiin ominaisuus- ja olosuhdetekijöihin eli huokostilaan, vedenpidätyskykyyn, ilmatilaan ja vesipitoisuuteen,
2) maankäsittelymenetelmän ja viljelytavan vaikutusta männynviljelyn onnistumiseen mänty- ja kuusivaltaisilla kasvupaikoilla ja
3) siemenen alkuperäsiirron ja eri ilmasto- ja maaperätekijöiden vaikutusta männyntaimien menestymiseen sekä laatia männyn taimien elossaololle ja keskipituudelle selitysmallit.

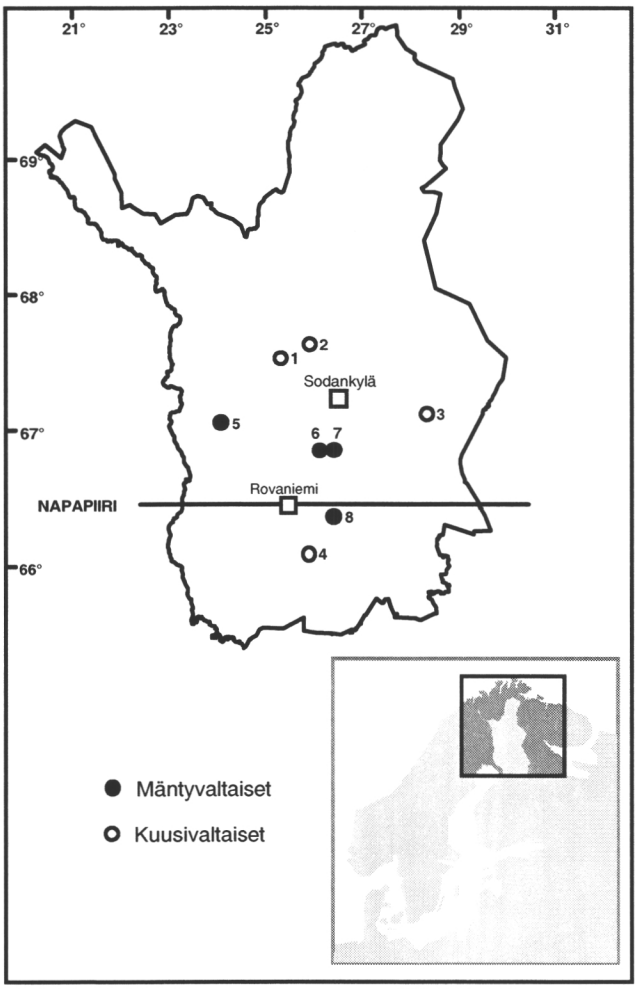
2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Koejärjestely

Metsänviljelyn runkotutkimus 2 on männynviljelykoe, joka perustettiin vuosina 1974–1977 (Pohtila ja Pohjola 1985). Kokeessa on kahdeksan koekenttää (toistoa) (kuva 1), joista neljä sijaitsee kasvupaikoilla, joilla ennen hakkuuta kasvoi luontaisesti mäntyvaltainen puusto ja neljä kasvupaikoilla, joilla kasvoi kuusivaltainen puusto (taulukko 1). Maannokseltaan koekentät ovat podsoleita (haplic podzol, FAO 1990). Koekenttien puusto hakattiin pääasiassa talvella 1974. Koekentät raivattiin ja lehtipuiden kannot käsiteltiin torjunta-aineilla. Maankäsittelyt tehtiin kesinä 1974–1975.

Metsänviljelyn runkotutkimus 2 on split-split-plot-koe, jossa pääruututekijänä on maankäsittely, osaruututekijänä viljelymenetelmä ja osaosaruututekijänä viljelyvuosi. Yhden koekentän pinta-ala on 4,8 ha ja pienimmän havaintoyksikön, viljelyvuosiruudun (osaosaruutu) 1000 m^2. Kokeessa on neljä maankäsittelymenetelmää: kulotus (+kuokkalaikutus), laikutus, äestys ja auraus. Viljelymenetelmiä on myös neljä: suunnattu kylvö, hajakylvö, istutus paperikennotaimilla (Fh-408) ja istutus 2-vuotiailla koulituilla paljasjuuritaimilla (1M+1A). Viljelyt tehtiin kesinä 1975–1977. Viljelytiheys oli 2500 tainta tai kylvölaikkua hehtaarilla. Näin ollen kokeessa on yhteensä 72000 viljelypistettä. Kokeessa käytettiin mahdollisimman paikallisia siemenalkuperiä. Tässä tutkimuksessa raportoidaan tuloksia suunnatun kylvön ja istutuksen onnistumisesta.

Tulokset hajakylvöruuduista julkaistaan myöhemmin. Tarkemmin koekenttiä ja kokeen perustamista on esitelty aiemmissa julkaisuissa (Pohtila ja Pohjola 1985, Mäkitalo 1990, 1999).



Kuva 1. Koekenttien sijainti.

Taulukko 1. Metsänviljelyn runkotutkimus 2 koekenttien sijainti sekä niiden ilmaston, maaperän ja puuston perustiedot. Tehoisa lämpösumma ja kesä-syyskuun sadesumma on laskettu ilmastomallilla (Ojansuu ja Henttonen 1983).

Muuttuja	Kuusivaltaiset				Mäntyvaltaiset			
	1	2	3	4	5	6	7	8
Leveysaste (P°)	67 °37'	67°45'	67°06'	66°10'	67°02'	66°54'	66°54'	66°26'
Pituusaste (°I)	25°30'	25°56'	28°01'	26°04'	24°29'	26°22'	26°22'	26°29'
Korkeus (m, m.p.y.)[a]	240	290	240	195	190	180	180	190
Kaltevuus (%) ja suunta[a]	4E	41	41	4EL	12PI	4SL	4E	2E
Lämpösumma[b] (d.d.)	737	683	742	869	827	826	826	860
Sadesumma[c] (mm)	243	240	249	244	237	244	244	248
Kivilaji	MV	MV	MV	KV	GR	GR	GR	KV
Maalaji	HsMr	HtMr	HtMr	HkMr	HkMr	HkMr	HkMr	HkMr
Kivisyys (%)[a]	53	63	27	47	46	35	33	60
Hienot laj. (<0,06 mm) (%)	55	45	43	17	29	26	34	13
Humuskerros (cm)[a]	3	4	5	4	4	5	4	3
A-horisontti (cm)[a]	6	9	7	15	8	12	10	12
B-horisontti (cm)[b]	17	12	15	9	24	16	13	17
Metsätyyppi[a]	HMT	EMT	HMT	HMT	EMT	EVT	EVT	EMT
Puulajisuhtet (% ppa:sta)								
Mänty	22	4	9	20	46	64	58	90
Kuusi	62	83	59	65	42	26	33	5
Lehtipuut	16	13	32	15	12	10	9	5

Kivilaji: GR graniitti, KV kvartsiitti, MV mafinen vulkaniitti. Maalaji: HkMr hiekkamoreeni, HtMr hietamoreeni, HsMr hiesumoreeni. Metsätyyppi: HMT *Hylocomium-Myrtillus*-tyyppi, EMT *Empetrum-Myrtillus*-tyyppi, EVT *Empetrum-Vaccinium*-tyyppi. [a] = Pohtilan ja Pohjolan (1985) mukaan, [b] = keskimäärin 1961–1990; [c] = keskimäärin kesä-syyskuu 1961–1990.

2.2 Maastomittaukset ja näytteiden otto

Taimien menestymistä, pituuskehitystä ja taimituhoja seurattiin kokeen alkuvaiheessa vuosittain ja myöhemmin kolmen, neljän vuoden välein ympyräkoealoilta, joiden koko on 200 m^2 ja joihin on viljelty 50 tainta tai kylvökohtaa. Viimeksi koe on mitattu syksyllä 1999.

Koekentiltä on ennen maankäsittelyä mitattu mm. rinteen suunta ja kaltevuus, maan horisonttien paksuudet ja kivisyys, puulajisuhteet sekä kerätty ja analysoitu raekoostumusnäytteet (Pohtila ja Pohjola 1985). 1990-luvulla mitattiin ja määritettiin ympyräkoealoittain rinteen kaltevuus (%), topografialuokka (McConkey ym. 1997), humuskerroksen paksuus, eri kerrosten paksuudet palteessa, kasvipeitteen korkeus, kivisyys (Viro 1952) sekä puulajisuhteet kannoista.

Kennotaimiruuduilla otettiin vuosina 1995–96 yksi häiriintymätön lieriönäyte ja yksi häiriintynyt pussinäyte 4,5–10,5 cm (keskimäärin 7,5 cm) syvyydeltä humuskerroksen alta käsittelemättömästä maasta keskeltä koealaa. Jokaiselta koekentältä otettiin näin 12 näytettä. Samoina kesinä otettiin myös kolme kivennäismaanäytettä 0–15 cm syvyydestä raekoostumusanalyysejä varten. Lisäksi jokaisella koekentällä kaivettiin 4 kuoppaa käsittelemättömään maahan. Lieriö- ja pussinäytteet otettiin syvyyksiltä 3 cm (0–6 cm), 20 cm (17–23 cm) ja 50 cm (47–53 cm) humuskerroksen alta. Näiden näytteiden lukumäärä kullakin koekentällä oli myös 12. Lisäksi kerättiin kaksi tilavuusnäytettä humuskerroksesta kultakin koekentältä.

2.3 Dielektrisyysmittaukset

Elokuussa 1993 mitattiin maan dielektrisyys kertamittauksena viidestä pisteestä käsittelemättömästä maasta jokaiselta kennotaimiruudulta kapasitanssimittarilla (Adek Ltd., Viro). Yksi pisteistä oli koealan keskipisteessä ja neljä säteen puolivälissä toisiaan kohtisuorassa olevilla halkaisijoilla. Maahan tehtiin ennen mittausta reikä näytteenottokilkalla. Jokaisesta mittauspisteestä lukemat luettiin 2,5 cm välein aloittaen 2,5 cm syvyydeltä kivennäismaan pinnasta. Tavoitesyvyys oli 30 cm. Aurausruuduilta mittaukset tehtiin myös mittauspisteiden viereisten palteiden kohdalta edellä kuvatulla tavalla.

Syyskuussa 1994 dielekrisyysmittaukset tehtiin kertamittauksena vastaavista mittauspisteistä TDR-laitteella (Tektronix 1502, USA) ja kaksipiikkisellä käsianturilla 0–15 cm syvyydeltä. Kesäkuussa 1995 koealojen mittauspisteisiin asennettiin pysyvät anturiparit 0–15 cm syvyyteen, joiden avulla dielektrisyys mitattiin TDR-laitteella kolme kertaa kesällä 1995 ja viisi kertaa kesällä 1996. Kaiken kaikkiaan anturipareja asennettiin 600 kpl. Dielektrisyysmittaukset tehtiin latvusten ulkopuolelta, taimien väliseltä alueelta, jotta latvuspidäntä ei vaikuttaisi maan dielektrisyyteen (vesipitoisuuteen).

2.4 Laboratoriomittaukset

Vedenpidätyskyky mitattiin kuivumisen suuntaan (desorptio) käyttäen painelevylaitetta (Soilmoisture Corp., USA) ja aina samoja lieriönäytteitä peräkkäisissä paineissa (matriisipotentiaaleilla) -0,3, -1, -5, -10 ja -100 kPa. Vedenpidätyskyky -1500 kPa:ssa mitattiin häiriintyneistä näytteistä ja muunnettiin tilavuuspohjaisiksi käyttäen tiheyttä (Heiskanen ja Tamminen 1992). Tiheys mitattiin lieriönäytteistä kuivamassan (kuivattu 105 °C:ssa) ja tilavuuden -0,3 kPa:ssa suhteena. Ainestiheys mitattiin häiriintyneistä näytteistä käyttäen 50 ml vesipyknometreja ja vesihaudetta.

Kokonaishuokostila laskettiin [(ainestiheys - tiheys) / ainestiheys]. Orgaanisen aineksen pitoisuus estimoitiin hehkutushäviönä 550 °C:ssa.

Ilmalla täyttynyt huokostila -10 kPa:ssa estimoitiin vähentämällä vedenpidätyskyvystä -0,3 kPa:ssa vedenpidätyskyky -10 kPa:ssa, vaikka tämä todennäköisesti tuottaa keskimäärin aliarvioita. Vedenpidätyskykyä -0,3 kPa:ssa käytettiin laskennassa kokonaishuokostilan sijaan, jonka arvioitiin tuottavan keskimäärin yliarvioita seuraavista syistä. Kokonaishuokostilan laskennassa käytetty tiheyden arvo voi olla aliarvio johtuen näytteen häiriintymisestä näytekeruun yhteydessä. Lisäksi laskennallinen huokostila ei perustu täysin samaan näytteeseen kuin vedenpidätyskyky -10 kPa:ssa, vaan häiriintyneeseen rinnakkaisnäytteeseen. Todellinen huokostila on todennäköisesti lasketun huokostilan ja vedenpidätyskyvyn -0,3 kPa:ssa välillä. Tämän tutkimuksen koekentillä keskimääräiset arvot olivat erittäin lähellä toisiaan: laskennallinen huokostilavuus 48,6 til.% ja vedenpidätyskyky -0,3 kPa:ssa 48,0 til.%.

Raekokojakauma mitattiin pipettimenetelmällä (raekoko <0,06 mm = hienot lajitteet) ja mekaanisella kuivaseulonnalla (>0,06 mm) (Elonen 1971).

2.5 Aineiston käsittely

Koska maan vesipitoisuuden katsottiin olevan dielektrisyyttä suoranaisemmin vaikuttava muuttuja taimien menestymisen kannalta, muunnettiin mitatut dielektrisyysarvot tilavuusvesipitoisuuksiksi Topp ym. (1980) esittämällä kaavalla. Muuttujien lineaariset riippuvuudet analysoitiin käyttäen korrelaationalyysejä. Kasvupaikkojen väliset erot eri muuttujien suhteen analysoitiin varianssianalyysillä (ANOVA). Mallit laadittiin käyttäen SAS tilasto-ohjelmiston GLM-proseduuria. Monivertailuissa käytettiin Tukeyn testiä. Erot katsottiin merkitseviksi, kun $p < 0,05$.

Taimien elossaolon ja keskipituuden selitysmallit laadittiin kennotaimille sekamallitekniikalla käyttäen SAS/Mixed-proseduuria, jossa estimointi perustuu maximum likelihood-menetelmään. Malleissa maankäsittely oli kiinteä tekijä ja toisto (koekenttä) ja viljelyvuosi satunnaistekijöitä. Kovariaatteina malleissa käytettiin ilmastomuuttujia (lämpösumma, sadesumma, humidisuus), topografiamuuttujia (topografialuokka, kaltevuus), maaperämuuttujia (hienojen lajitteiden osuus, kivisyys, vedenpidätyskyky, vesipitoisuus, ilmatila, maannoshorisonttien paksuudet) sekä siemenen alkuperäsiirtoa lämpösummayksiköissä, jolloin siirto pienemmästä lämpösummasta suurempaan oli etumerkiltään positiivinen siirto ja päinvastainen negatiivinen.

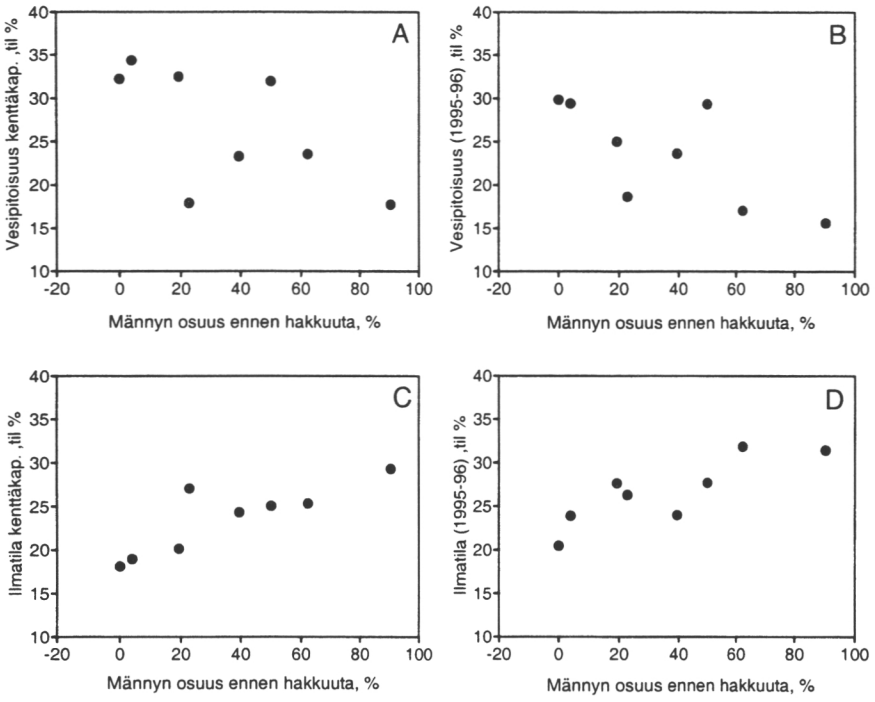
3 Tulokset ja niiden tarkastelu

3.1 Maan vedenpidätyskyky, vesipitoisuus ja ilmatila mänty- ja kuusivaltaisilla kasvupaikoilla

Kuusivaltaisilla alueilla olivat hienojen (<0.06 mm) lajitteiden osuus (26 %) ja vedenpidätyskyky -10 kPa matriisipotentiaalilla eli kenttäkapasiteetissa (29 til.%) kivennäismaan 0–15 cm pintakerroksessa korkeampia kuin mäntyvaltaisilla (19 % ja 23 til.%) (taulukot 1 ja 2, kuva 2a). Kasvupaikkojen välillä löytyi tilastollisesti merkitsevä ero kuitenkin vain maan ilmatilassa kenttäkapasiteetissa (kuusivaltaiset alueet 20 til.% ja mäntyvaltaiset 25 til.%). Ilmatila oli sitä suurempi, mitä enemmän puustossa oli ollut mäntyä ennen hakkuuta (kuva 2c). Kuusivaltaisilla alueilla 77 %:ssa havainnoista ilmatila oli $\leq$ 20 til.%, kun taas mäntyvaltaisilla alueilla 77 %:ssa havainnoista se oli $\geq$ 20 til.% (kts. myös Heiskanen ja Mäkitalo 2000a, 2000b, Heiskanen ym. 2001).

Taulukko 2. Kivennäismaan huokostila, vesipitoisuus -0,3 kPa:ssa, vesipitoisuus kenttäkapasiteetissa (-10 kPa) ja ilmatila kenttäkapasiteetissa (-10 kPa) sekä vesipitoisuus eri vuosina (kertamittaus 1993 ja 1994 ja kasvukautinen keskiarvo 1995 ja 1996) 0–15 cm syvyydellä käsittelemättömässä maassa.

Muuttuja	Kuusivaltaiset				Mäntyvaltaiset			
	1	2	3	4	5	6	7	8
Huokostila til.%	49	48	52	44	48	51	54	43
Vesipitoisuus (-0,3 kPa), til.%	51	49	53	41	47	50	52	42
Vesipitoisuus (-10 kPa), til. %	32	32	35	16	23	24	28	16
Ilmatila (-10 kPa), til. %	19	16	18	25	24	25	24	26
Vesipitoisuus, til. %								
1993	19	20	18	16	18	13	18	13
1994	15	18	18	19	18	16	15	14
1995	28	35	30	19	22	18	28	16
1996	25	31	30	20	25	18	28	17

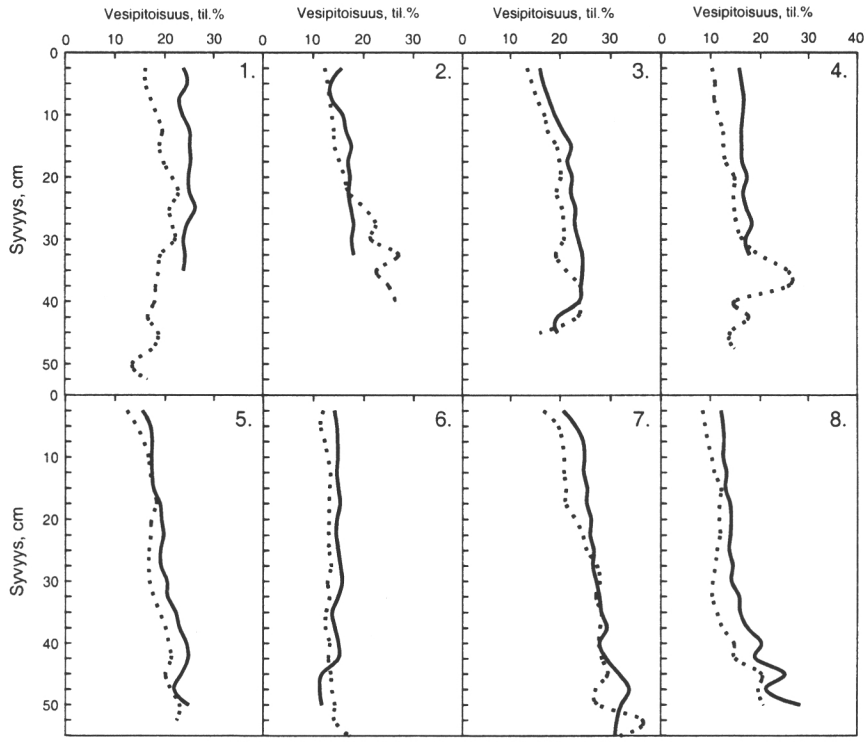


Kuva 2. Männyn hakkuuta edeltäneen osuuden puustosta vaikutus (A) kivennäismaan (0–15 cm kerros) laboratoriossa mitattuun vesipitoisuuteen kenttäkapasiteetissa (-10 kPa), (B) maastossa mitattuun keskimääräiseen vesipitoisuuteen 1995–1996, (C) laboratoriossa mitattuun ilmatilaan kenttäkapasiteetissa ja (D) maastossa mitattuun keskimääräiseen ilmatilaan 1995–1996 (= huokostila – mitattu vesipitoisuus).

Maan keskimääräinen vesipitoisuus kasvukausina 1995–1996 oli kuusivaltaisilla kasvupaikoilla suurempi (27 til.%) kuin mäntyvaltaisilla (21 til.%) (taulukko 2). Vesipitoisuus (kuva 2b) oli sitä pienempi ja vastaavasti ilmatila (kuva 2d) sitä suurempi, mitä suurempi männyn osuus oli ollut puustosta ennen hakkuuta. Kasvupaikat eivät kuitenkaan poikenneet toisistaan yhtä selvästi kuin eräissä aiemmissa selvityksissä (esim. Sutinen ym. 1996, 1997, M.-L. Sutinen ym. 1999, Hänninen 1997, Penttinen 2000), mikä johtunee siitä, että tämän tutkimuksen koealueet muodostavat liukuvan sarjan lähes puhtaista männiköistä lähes puhtaisiin kuusikoihin (EVT–EMT–HMT). Myös Sepponen ym. (1979) löysivät laajassa tutkimuksessaan tilastollisesti merkitsevän eron maan vesipitoisuudessa puhtaiden männiköiden ja kuusikoiden välillä, kun taas sekametsiköiden ja puhtaiden metsiköiden välillä ei merkitseviä eroja havaittu.

3.2 Maaperätekijöiden ja maankäsittelyn vaikutus maan vedenpidätyskykyyn ja vesipitoisuuteen

Maankäsittelyjen välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja käsittelemättömän kivennäismaan pintakerroksessa yhdenkään muuttujan osalla. Aurausruuduissa maan vesipitoisuus kenttäkapasiteetissa oli palteissa (30 til.%) ja välialueessa (28 til.%) samaa tasoa. Maan keskimääräinen vesipitoisuus 1995–96 oli kuitenkin aurauspalteissa (21 til.%) tilastollisesti merkitsevästi alhaisempi kuin muokkaamattomassa välialueessa (26 til. %). Elokuussa 1993 maa oli tilastollisesti merkitsevästi kuivempi kuin välialue (kuva 3) aina 17,5 cm syvyyteen asti (palteiden paksuus keskimäärin 12,5 cm). Tulokset ovat yhdenmukaisia Mannerkosken ja Möttösen (1990) esittämien tulosten kanssa, joiden mukaan auraus voi alentaa palteiden muttei välialueen maan vesipitoisuutta merkitsevästi. Sen sijaan tutkimuksen tulokset eivät tue aiemmin esitettyjä hypoteeseja



Kuva 3. Kivennäismaan vesipitoisuus eri syvyyksillä käsittelemättömässä maassa (yhtenäinen viiva) ja palteiden kohdalla (katkoviiva) eri koekentillä elokuussa 1993.

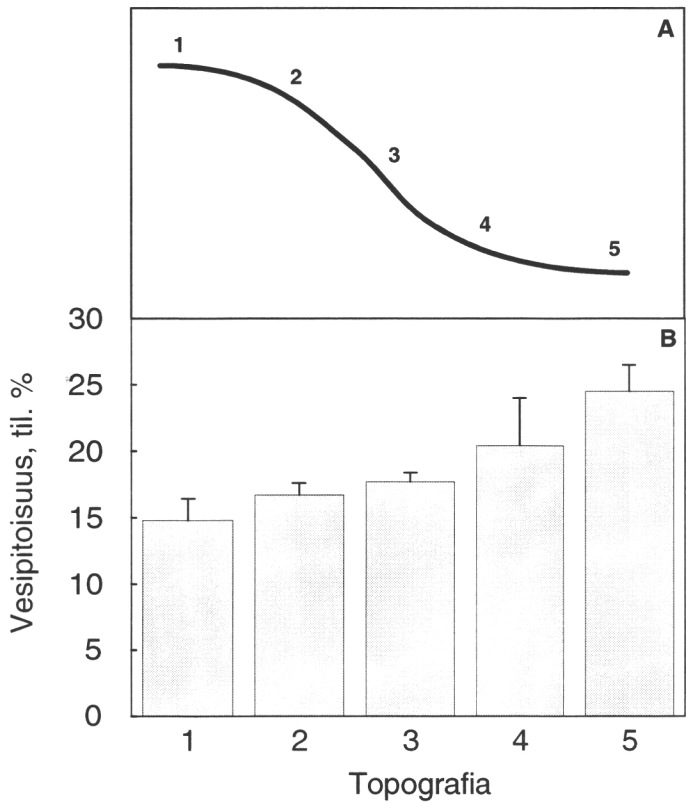
Taulukko 3. Maan vesipitoisuus kivennäismaan pintaosassa käsittelemättömässä maassa, laikuissa ja aurauspalteissa loppukesällä (heinäkuun puoliväli–syyskuun loppu) hienoaineosuudeltaan erilaisilla mailla Lapissa eri tutkimusten mukaan. Taulukon vesipitoisuudet ovat koekenttäkohtaisia mittauskertojen vaihteluvälejä tai ne ovat yksittäisten mittauskertojen koekenttäkohtaisia keskiarvoja. Hienojen lajitteiden (0,06 mm) osuus on laskettu alle 2 mm lajitteista. Mikäli samalla koekentällä on tehty useita tutkimuksia, on uusimmat niistä esitetty ilman numeroa, välittömästi numeroidun vanhimman tutkimuksen jälkeen. Tämän tutkimuksen koekentillä tehdyt tutkimukset (1–8, taulukko 1) on alleviivattu.

Tutkimus	Mittaus-vuodet	Hienot (%)	Syvyys (cm)	Vesipitoisuus (til.%)		
				Ei käsitt.	Laikku	Palle
20. Mäkitalo 2000	1995–1996	6	0–15	9–21		
9. Lähde 1978	1972–1976	7	0–10		10–27	
Sutinen ym. 1998	1995–1996	7	10	10–18		
Mäkitalo 2000	1995–1996	7	0–15	14–16		
8. Mäkitalo ja Hyvönen 2000	1993	13	2,5–15	13		9
Mäkitalo ym. 2000	1994–1996	13	0–15	9–23		6–17
10. Kauppila ja Lähde 1975	1973	14	0–10	9–25	20–26	4–19
4. Mäkitalo ja Hyvönen 2000	1993	17	2,5–15	16		11
Mäkitalo ym. 2000	1994–1996	17	0–15	12–28		9–22
21. Mäkitalo 2000	1995–1996	19	0–15	15–18		9–12
11. Lähde 1978	1972–1976	20	0–10	11–22	11–23	7–18
12. Lähde ja Mutka 1974	1973	22	10–20	20	20	18
6. Mäkitalo ja Hyvönen 2000	1993	26	2,5–15	13		12
Mäkitalo ym. 2000	1994–1996	26	0–15	14–19		10–22
13. Lähde ja Mutka 1974	1973	26	10–20	17		
22. Mäkitalo 2000	1995–1996	26	0–15	23–25		14–24
14. Lähde 1978	1972–1976	28	0–10		7–24	4–23
5. Mäkitalo ja Hyvönen 2000	1993	29	2,5–15	18		14
Mäkitalo ym. 2000	1994–1996	29	0–15	18–27		13–27
15. Mutka ja Lähde 1977	1973	29	5		12–25	6–21
7. Mäkitalo ja Hyvönen 2000	1993	34	2,5–15	17		19
Mäkitalo ym. 2000	1994–1996	34	0–15	16–31		20–43
16. Ritari ja Lähde 1978	1974	39	0–10	29–50	37–44	22–26
Sutinen ym. 1998	1995–1996	39	10	25–49		
Mäkitalo 2000	1995–1996	39	0–15	37–38	36–37	31–33
17. Ritari 1985	1974–1977	39	0–10	27–50	32–50	10–26
18. Lähde ym. 1981	1978	42	0–10	37–48	42–43	24–26[a]
Mäkitalo 2000	1995–1996	42	0–15	22–32		19–28
3. Mäkitalo ja Hyvönen 2000	1993	43	2,5–15	17		14
Mäkitalo ym. 2000	1994–1996	43	0–15	18–34		10–30
2. Mäkitalo ja Hyvönen 2000	1993	45	2,5–15	19		13
Mäkitalo ym. 2000	1994–1996	45	0–15	18–35		10–26
1. Mäkitalo ja Hyvönen 2000	1993	55	2,5–15	19		16
Mäkitalo ym. 2000	1994–1996	55	0–15	15–30		9–28
19. Lähde 1978	1972–1976	72	0–10	22–50	25–46	9–30
Sutinen ym. 1998	1995–1996	72	10	25–49		
Mäkitalo 2000	1995–1996	72	0–15	28–39	25–30	15–25

[a] 31 cm korkeat mättäät

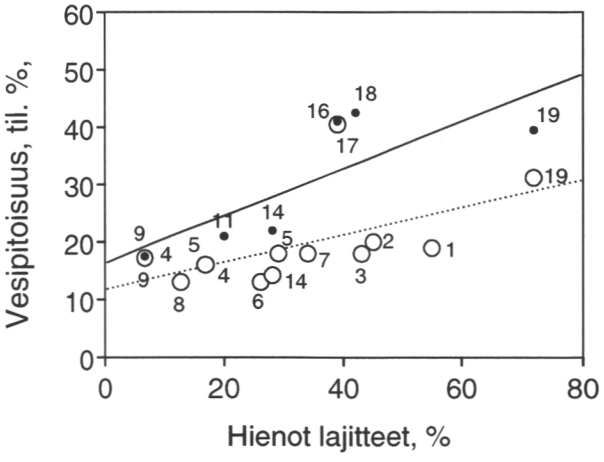
(esim. Mäkitalo ym. 1993, Sutinen ym. 2000) siitä, että aurauspalteiden vesitalous tiivistymisen ja kapillaariyhteyksien palautumisen takia palaisi 10–20 vuoden kuluessa lähes välialueen tasolle, mikä saattaisi johtaa palteisiin viljeltyjen taimien tuhoutumiseen.

Maan vedenpidätyskyky kenttäkapasiteetissa ($p<0,001$) ja topografia ($p<0,001$) (kuva 4) selittivät parhaiten keskimääräisen vesipitoisuuden vaihtelua käsittelemättömässä maassa. Topografian vaikutus on vesipitoisuuteen voikin olla merkittävä ja erilainen eri ajankohtina (Nyberg 1996, Yeakley ym. 1998). Toisaalta maan hienojen lajitteiden osuus selitti parhaiten vedenpidätyskyvyn vaihtelua (kts. myös Sepponen 1981, Hillel 1982) joten se oli lähes yhtä hyvä selittäjä ($p=0,001$) maastossa mitatun vesipitoisuuden vaihtelulle kuin vedenpidätyskykykin. Mitä suurempi hienojen lajitteiden osuus oli, sitä korkeampi oli maan vesipitoisuus. Sama trendi on havaittavissa myös Lapissa eri vuosina tehdyissä tutkimuksissa (taulukko 3).



Kuva 4. a) Topografialuokat: 1 = laki, 2 = ylärinne, 3 = keskirinne, 4 = alarinne ja 5 = notko, b) kivennäismaan vesipitoisuus (2,5–27,5 cm kerros) eri topografialuokissa elokuussa 1993.

Aiemmista tutkimuksista ilmenee selvästi myös se, että maan vesipitoisuus voi loppukesälläkin, jolloin sulamisvesien vaikutus ei enää näy tuloksissa (Hänninen 1997, Sutinen ym. 1997, 1998), vaihdella melkoisesti (taulukko 3). Boreaalisen vyöhykkeen metsissä maan vesipitoisuus vaihtelee kasvukauden aikana ja eri kasvukausien välillä (McLintock 1959, Lähde 1978, Söderström ym. 1978, Heiskanen 1988, Norden 1989, Magnusson 1992, Sutinen ym. 1996, 1997, Hänninen 1977, Penttinen 2000). Vaikka pintakerroksen matriisipotentiaali on yleensä lähellä kenttäkapasiteettia (n. -10 kPa), voi se joskus kuivina kausina saavuttaa lakastumisrajan (n. -1500 kPa) tai olla lähellä kyllästystilaa sulamisvesien tai voimakkaiden sateiden ansiosta (Lähde 1978, Söderström ym. 1978, Ritari ja Lähde 1978, Heiskanen 1988, Nordén 1989, Hänninen 1997, Sutinen ym. 1997). Kesän sateisuuden vaikutus voi lisäksi olla erilainen hienoainesosuudeltaan erilaisilla kasvupaikoilla (kuva 5), mikä selittynee maan vedenpidätyskyvyn ja vedenjohtavuuden eroilla (Hillel 1982, Heiskanen ja Mäkitalo 2000a, 2000b, Heiskanen ym. 2001, Penttinen 2000).



Kuva 5. Hienojen lajitteiden (<0,06 mm) osuuden vaikutus kivennäismaan vesipitoisuuteen loppukesällä kuivina kesinä 1975 ja 1993 (sademäärät Apukassa elokuussa 48 mm ja 44 mm, merkitty avoimilla ympyröillä) ja kosteina kesinä 1974 ja 1978 (90 mm ja 99 mm, merkitty mustilla pisteillä). Numerot kuvassa viittaavat tutkimuksiin taulukossa 3.

Sateiden ohella esimerkikisi ilman ja maan lämpötila, rinteen suunta, maan kerroksellisuus sekä puuston ikä, rakenne ja puulajisuhteet aiheuttavat vaihtelua maan vesipitoisuuteen (Heiskanen 1989). Avohakkuu, kasvipeitteen kehitys ja erityisesti voimakkaiden maankäsittelyjen käyttö vaikuttavat maan vesipitoisuuteen ja ilmatilaan taimien viljelykohdissa ensimmäisinä viljelyä seuraavina vuosina (Adams ym. 1991, Örlander

ym. 1990a, Sutton 1993). Puuston latvuspidäntä ja haihduttaminen voivat alentaa merkittävästi maan vesipitoisuutta aukeaan alaan verrattuna (Ovington 1954, Päivänen 1966, Rutter ym. 1971, Prichett ja Fischer 1987).

3.3 Maaperätekijöiden ja maankäsittelyn vaikutus maan huokos- ja ilmatilaan

Huokostilan on todettu yleensä olevan moreenimaassa 45–67 til.% (Høstmark ym. 1990), eräillä eteläsuomalaisilla kangasmailla 39–62 til.% (Heiskanen 1988), eräillä ruotsalaisilla kangasmailla 35–65 ja 46–77 til.% (vastaavasti Nordén 1989 ja Nyberg 1995) sekä eräillä tanskalaisilla moreeneilla 35–50 til.% (Jacobsen ja Jensen 1990). Lapissa keskimääräisen huokostilan on todettu vaihtelevan käsittelemättömän maan pintaosissa keskimäärin välillä 44–53 til.%, laikuissa välillä 45–55 til.% ja aurauspalteissa välillä 53–61 til.% (Lähde ja Mutka 1974, Mutka ja Lähde 1977, Lähde 1978, Ritari ja Lähde 1978). Heiskasen ym. (2001) tutkimilla Lapin metsämailla huokostila vaihteli käsittelemättömässä maassa välillä 38–74 til.%. Tässä tutkimuksessa vaihteluväli oli 38–70 til.% käsittelemättömässä maassa ja 42–93 til.% palteissa. Vastaavasti koekenttäkohtainen huokostila oli käsittelemättömässä maassa 44–54 til.% (keskim. 49 til.%) ja palteissa 46–77 til.% (60 til.%) (taulukko 2).

Jos keskimääräinen 50 til.% huokostila otetaan vertailukohdaksi, voidaan taulukon 3 perusteella päätellä, että ilmatila voi käsittelemättömässä maassa laskea loppukesällä alle 20 til.%, kun maan hienojen lajitteiden osuus on noin kolmannes tai enemmän. Mitä hienojakoisempaa maa on, sitä todennäköisempää on, että ilmatila laskee ajoittain alle 10–15 til.% rajan, mitä pidetään alarajana kaasujen diffuusiolle sekä puiden juurten kasvulle ja toiminnalle (Wesseling ja Wijk 1957, Vomocil ja Flocker 1961, Mutka ja Lähde 1977, Kauppila ja Lähde 1975, Lähde 1978, Ritari ja Lähde 1978, Lähde ym. 1981, Magnusson 1992, Sutinen ym. 1997, 1998). Maan hienojen lajitteiden (<0,06 mm) ja orgaanisen aineen osuudet selittivät tässä tutkimuksessa parhaiten ilmatilan kenttäkapasiteettissa vaihtelua. Kesinä 1995–1996 maastossa mitattua keskimääräistä ilmatilaa selitti edellisten lisäksi merkitsevästi myös topografia.

Laikuissa vesitilanne on samankaltainen kuin käsittelemättömässä maassa (taulukko 3). Aurauspalteiden ilmatilaa on yleensä pidetty riittävänä (Kauppila ja Lähde 1975, Mutka ja Lähde 1977, Lähde 1978, Ritari ja Lähde 1978, Lähde ym. 1981). Tässä tutkimuksessa ilmatila oli loppukesällä palteissa aina suurempi kuin 20 til.%. Tosin palteiden kerroksellisuus on otettava huomioon maan ilmatilan riittävyyttä arvioitaessa. Kun juurten kasvun on kivennäismaassa esitetty olevan parhaimmillaan 25–30 til. % ilmatilassa (Buckman ja Brady 1969), voi orgaanisessa

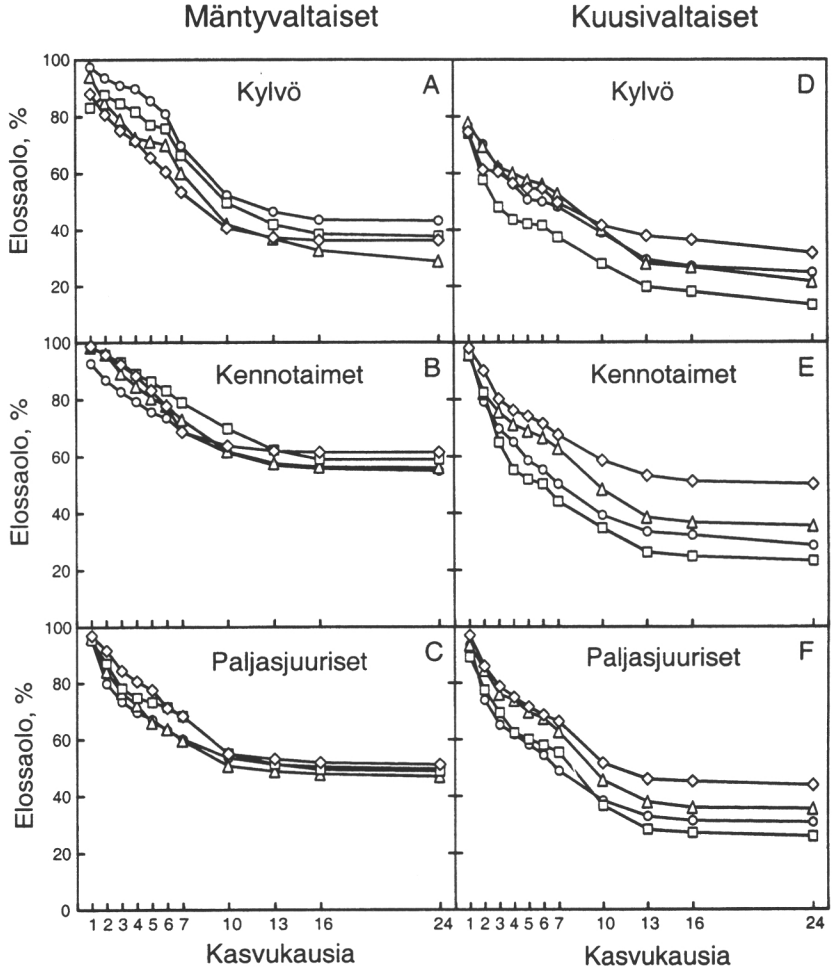
maassa, kuten palteen tuplahumuksessa, optimi-ilmatila olla >40 til. % (Heiskanen 1994, Heiskanen 2001). Tässä tutkimuksessa vuosina 1993–1996 maastossa tehtyjen vesipitoisuusmittausten perusteella laskettu maan ilmatila laski käsittelemättömässä maassa alle 10 til.% rajan 0–17 %:ssa koealoista ja alle 20 til.% rajan 2–48 %:ssa koealoista mittauskerrasta riippuen. Vastaavasti palteissa ilmatila oli kolmea tapausta lukuunottamatta aina yli 20 til.% eikä se painunut yhdelläkään koealalla alle 10 til.%. Laboratoriossa mitattu ilmatila kenttäkapasiteetissa oli palteissa keskimäärin 29 til.%, kun se välialueessa oli 21 til.%. Ero pienmuotojen välillä oli tilastollisesti merkitsevä.

3.4 Taimien elossaolo- ja pituuskehitys

Taimista oli elossa 24 kasvukauden kuluttua viljelystä keskimäärin 39 % eli 975 tainta hehtaarilla. Tulokset ovat samaa tasoa aiempien tutkimusten tulosten kanssa (esim. Pohtila ja Pohjola 1983, Pohtila ja Valkonen 1985, Valtanen ja Tasanen 1996, Mäkitalo 1999). Luontaisesti kuusivaltaisilla kasvupaikoilla elossaolo oli 30 % (750 tainta ha^{-1}) ja mäntyvaltaisilla 48 % (1200 tainta ha^{-1}). Mäntyvaltaisilla kasvupaikoilla maankäsittelyllä ei ollut merkitsevää vaikutusta taimien elossapysymiseen (kuva 6). Kennotaimien elossaolo oli merkitsevästi korkeampi kuin kylvötaimien. Kuusivaltaisilla alueilla viljely auranpalteeseen tuotti tilastollisesti merkitsevästi paremman tuloksen kuin viljely äestysjälkeen. Viljelytapojen välillä ei merkitseviä eroja ollut.

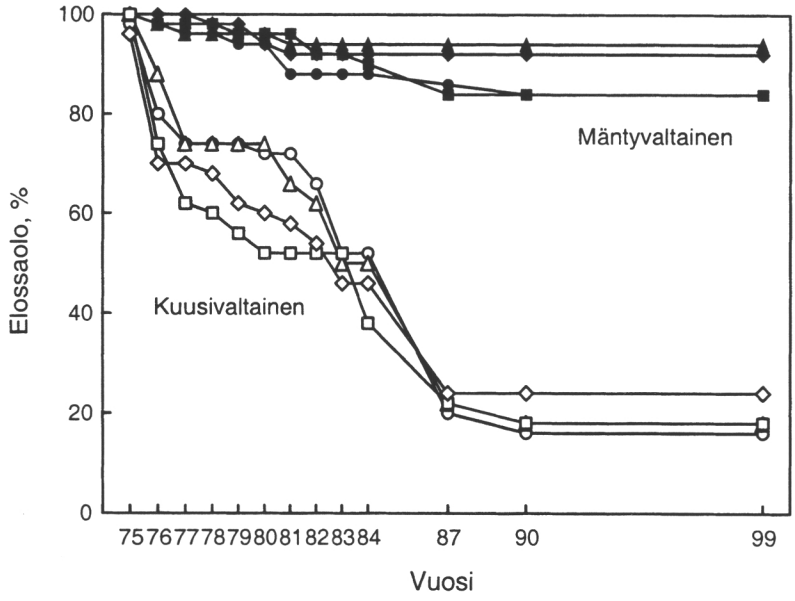
Kylvöruuduissa taimellisten viljelykohtien osuus oli keskimäärin alhaisin (30 %) ja kennotaimilla istutetuissa korkein (46 %). Paras viljelytulos saavutettiin istuttamalla kennotaimia aurauspalteeseen (mäntyvaltaiset 62 %, kuusivaltaiset 50 %). Taimien kuolleisuus oli suurimmillaan 1980-luvulla, jolloin männyn versosurma- ja lumihometuhot olivat yleisiä kylmien ja sateisten kesien seurauksena (Mäkitalo 1999). Etenkin korkeiden alueiden kuusivaltaisilla kasvupaikoilla tuhot olivat suuria. Mäntyvaltaisilla kasvupaikoilla tuhot saattoivat olla vähäiset (kuva 7). 1990–luvulla, jonka alkaessa taimien keskipituus oli keskimäärin vähintäänkin puolentoista metrin tasoa, taimia kuoli vähän.

Abiottisten tekijöiden kuten maan alhaisen lämpötilan, korkean vesipitoisuuden ja pienen ilmatilan laikuissa, taimien kuivumisen palteissa sekä roustetuhojen kaikissa käsittelyissä on havaittu olevan tärkeimmät männyntaimien tuhoutumisen syyt ensimmäisinä viljelyä seuraavina kasvukausina (Pohtila 1977, Heikkilä 1981, Mäkitalo 1983). Roustetuhot ovat yleisimpiä hienojakoisilla mailla (Goulet 1995). Myöhemmin abioottisten tuhonaiheuttajien merkitys vähenee ja erilaisten sienitautien merkitys kasvaa (Heikkilä 1981).

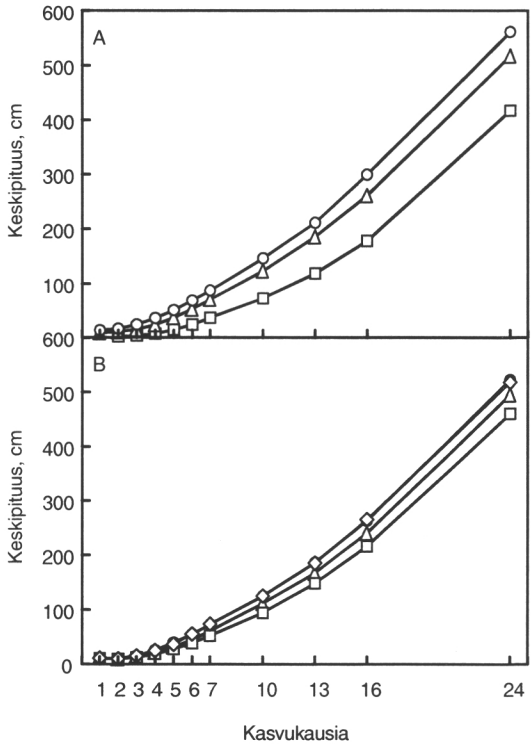


Kuva 6. Eri tavoin viljeltyjen männyntaimien elossaolon kehitys 24 kasvukauden kuluessa kulotetuilla (ympyrät), laikutetuilla (kolmio), äestetyillä (neliö) ja auratuilla (vinoneliö) aloilla mänty- ja kuusivaltaislla kasvupaikoilla.

Taimien keskipituus oli äestetyillä koealoilla pienin (460 cm) ja kulotetuilla (522 cm) sekä auratuilla koealoilla (518 cm) suurin (kuva 8). Kylvötaimien (417 cm) keskipituus oli selvästi pienempi kuin istutustaimien (paljasjuuriset 561 cm ja kennotaimet 517 cm). Kulotusaloille ja auratuille aloille paljasjuuritaimilla istutetuilla koealoilla keskipituus oli suurin (601 cm ja 582 cm) ja äestyksen muokkausjälkeen kylvetyillä koealoilla (376 cm) pienin. Tulokset ovat samansuuntaisia aiempien tutkimusten kanssa (Valtanen ja Tasanen 1996, Mäkitalo 1999).



Kuva 7. Männyn paljasjuuritaimien elossaolon kehitys mäntyvaltaisella (koekenttä 8) ja kuusivaltaisella kasvupaikalla (koekenttä 2) vuosina 1975–1999. Maankäsittelyjen symbolit, kts. kuva 6.



Kuva 8. a) Männyn kylvettyjen (neliö), kennotaimien (kolmio) ja paljasjuuritaimien (ympyrä) keskipituuden kehitys sekä b) männyn keskipituuden kehitys eri maankäsittelymenetelmillä käsitellyillä aloilla (symbolit, kts. kuva 6).

3.3 Elossaolon selitysmallit

Männyn kennotaimien elossaoloa 23–25 vuotta viljelystä vuonna 1999 selitti sekamallissa parhaiten lämpösumma (p=0,02). Elossaolo oli sitä parempi, mitä korkeampi koekentän pitkäaikainen keskimääräinen lämpösumma (1961–1990) oli. Tulokset tukevat aiemmin esitettyjä tuloksia (Pohtila 1977, Pohtila ja Pohjola 1983, Saarenmaa 1991, 1992, Valkonen 1992). Lähteen (1978) mukaan voimakkaimmin männyn istutustaimien elossolon kanssa korreloi maan lämpösumma alkukesällä (touko–heinäkuu). Sen kohoaminen noin 300 d.d. lähtötasolta muokkauksen vaikutuksesta noin sadalla yksiköllä merkitsi taimien elossaolon pysymistä 60–70 % tienoilla, kun se lähtötasolla oli vain 10–50 % 5–6 kasvukauden jälkeen viljelystä. Tässä tutkimuksessa maankäsittelyn vaikutus oli melkein merkitsevä (p=0,057). Maan ominaisuus- ja olosuhdetekijät käsittelemättömässä maassa kuten esimerkiksi hienojen lajitteiden osuus, vedenpidätyskyky, vesipitoisuus tai ilmatila, eivät sen sijaan olleet merkitseviä selittäjiä. Aiemmissa tutkimuksissa on todettu männyn istutustuloksen heikkenevän maan hienojen lajitteiden osuuden kasvaessa (Lähde 1974b, Pohtila 1977, Saksa ym. 1990). Lähde (1978) ei tutkimuksessaan löytänyt merkitsevää korrelaatiota elossaolon ja taimien viljelykohdan vesipitoisuuden tai ilmatilan välille. Ritarin (1995) mukaan maan vesipitoisuus oli merkitsevästi suurempi elossaololtaan parhaimmissa koeruuduissa kuin heikoimmissa ruuduissa, kun männyntaimien viljelystä luontaisesti kuusta kasvaneelle kasvupaikalle oli kulunut kahdeksan kasvukautta.

Koska tässä tutkimuksessa aurauksen todettiin vaikuttavan taimien istutuskohdan (palteen) vesipitoisuuteen tilastollisesti merkitsevästi vielä yli 20 vuoden jälkeen muokkauksesta, on luonnollista, että käsittelemättömästä maasta mitattu vesipitoisuus saattaa selittää huonosti palteisiin viljeltyjen taimien elossapysymistä. Kevyille maankäsittelyille (kulotus, laikutus ja äestys) erikseen laaditut selitysmallit, joissa käsittelemättömän maan ominaisuuksien vaikutus taimien menestymiseen oletettiin suuremmaksi kuin koko aineistossa, osoittivat, että alhaisen ilman lämpösumman ohella maan korkea vesipitoisuus voi heikentää männyntaimien elossaoloa. Tosin vain vuosien 1993 ja 1994 kertamittausten vesipitoisuudet vaikuttivat merkitsevästi. Sen sijaan pysyvistä antureista vuosina 1995–1996 mitatut vesipitoisuudet eivät selittäneet elossaolon vaihtelua. Maan vesipitoisuus, ilmatila kenttäkapasiteetissa ja hienojen lajitteiden osuus eivät myöskään olleet merkitseviä selittäjiä.

Aiemmin tämän tutkimuksen koekentillä tehty selvitys (Mäkitalo ja Alenius 2000) osoitti, että neulasten ravinnesuhteet (esim. typpi ja magnesium) selittävät merkitsevästi männyntaimien elossaoloa ja keskipituutta. Toisaalta vastaavien neulasten ravinnesuhteiden on laboratoriotutkimuksissa todettu liittyvän kiinteästi surmakan ekologiaan

(Ylimartimo 1993). Mäkitalon (1999) mukaan lumihome- ja versosurmatuhot olivatkin pääasiallinen syy suureen taimikuolleisuuteen 1980-luvulla tämän tutkimuksen koekentillä (kuvat 6 ja 7) (kts. myös Kaitera 1997).

Kesä 1981 oli kylmä ja yksi sateisimmasta 70 vuoteen. Kesä 1982 oli vieläkin kylmempi ja se kuului viiden kylmimmän kesän joukkoon 70 vuoteen. Kylmiä kesiä seuranneet kesät 1983–1986 olivat lämpöoloiltaan keskimääräisiä, mutta normaalia sateisempia. Tällaisten olosuhteiden on todettu edistävän sekä surmakan tuhoja männyntaimissa että sen leviämistä uusiin taimiin (Uotila 1988, Hansson ja Karlman 1997). Taimien korkeusasemalla ja pituudella sienitautiepidemioiden puhjetessa saattoi olla vaikutusta taimien menestymiseen 1980-luvulla (Mäkitalo 1999). Kuolleisuus oli pienin auratuissa ruuduissa, joissa taimet olivat pisimpiä ja joissa ne kasvoivat muita käsittelyjä korkeammalla. Kuolleisuus oli suurin kylvöruuduissa, joissa taimet olivat 1980-luvun alussa pienimpiä. Myös lumen paksuudella saattoi olla negatiivinen vaikutus, sillä tuhot olivat pahimmat korkeilla, runsaslumisilla kuusivaltaisilla kasvupaikoilla. Niillä lumipeite myös viipyy keväisin pisimpään (Ritari 1987). Paksun lumipeitteen on havaittu edistävän surmakan kasvua (Marosy ym. 1989), ja toisaalta lumihomeen heikentämät taimet voivat myöhemmin tuhoutua versosurmatuhon takia (Karlman 1986, Roll-Hansen ym. 1992).

3.4 Vuosien 1982–1999 suhteellisen kuolleisuuden selitysmallit

1980-luvun tuhojen syiden selvittämiseksi laadittiin myös selitysmallit, joissa vastemuuttujana oli kesän 1982 jälkeinen suhteellinen kuolleisuus. Tarkastelun pohjana olivat siten kesän 1982 lopulla elossa olleet taimet eikä alkuperäinen viljelymäärä. Koska kuolleisuus oli 1990-luvulla vähäistä, ulotettiin tarkastelujakso aina vuoteen 1999 saakka. Taimien valtapituus (taulukko 4) tai vaihtoehtoisesti esim. yli 50 cm pituisten taimien osuus ruudussa syksyllä 1982 ennen tuhoja olivat erittäin hyviä suhteellisen kuolleisuuden (1982–1999) selittäjiä, mikä tukee aiemmin esitettyjä päätelmiä (Mäkitalo 1999, Välikangas 2000). Samansuuntaisia tuloksia on Pohjois-Ruotsista esittänyt Fries (1991). Hänen tutkimuksessaan kuolleisuus oli suurin alle puolen metrin pituisten taimien joukossa, kun taas yli kahden metrin pituisia taimia ei kuollut lainkaan (ks. myös Persson 1994).

Siemenen alkuperäsiirto pienemmän lämpösumman alueelta suuremman alueelle alensi kuolleisuutta (taulukko 4), mikä tukee aiempien tutkimusten tuloksia (Persson 1994). Myös koekentän lämpösumma oli tilastollisesti merkitsevä selittäjä. Maaston kaltevuus oli merkitsevä kuol-

Taulukko 4. Selitysmalli männyn kennotaimien suhteelliselle kuolleisuudelle (%) 1982–1999. Satterwaiten approksimaatiota käytettiin vapausasteiden laskennassa.

Vastemuuttuja
Taimien kuolleisuus 1982–1999

Muuttuja	Estimaatti	Keskivirhe	p-arvo
Vakio	51,97	10,47	0,0001
Siemenen alkuperäsiirto	-0,77	0,17	0,0040
Taimien valtapituus 1982	-0,31	0,08	0,0001
Maankäsittely			
Laikutus	5,32	6,45	0,4244
Auraus	-5,38	6,72	0,4357
Kulotus	11,66	6,72	0,1032
Äestys	0	.	.

Varianssikomponentit	Estimaatti	Keskivirhe	p-arvo
σ_{toisto}	55,73	55,65	0,32
$\sigma_{toisto} \times \sigma_{maankäsittely}$	88,15	46,60	0,0697
$\sigma_{viljelyvuosi}$	54,85	62,53	0,3804
$\sigma_{viljelyvuosi} \times \sigma_{maankäsittely}$	5,10	17,08	0,7652
σ_{ε}	187,74	35,65	0,0001

Vaihtelun lähde	Tekijän v.a.	Virheen v.a.	F-arvo	p-arvo
Siemenen alkuperäsiirto	1	5,94	20,77	0,0040
Taimien valtapituus 1982	1	66	16,89	0,0001
Maankäsittely	3	13,6	2,58	0,0960

leisuuteen vaikuttava tekijä sekä koko aineistossa (p=0,01) että kevyiden maankäsittelyjen aineistossa (p = 0,002). Topografia oli merkitsevä selittäjä (p=0,002) kevyissä käsittelyissä. Taimien kuolleisuus oli sitä suurempi, mitä pienempi maaston kaltevuus oli. Topografiamuuttujien merkitsevyys todennäköisesti liittyy vesipitoisuuden (kuva 3) lisäksi kylmän ilman kerääntymiseen notkelmiin, mikä saattaa edistää versosurmatuhojen esiintymistä (Kaitera 1997).

Eri vuosina mitattu maan vesipitoisuus selitti merkitsevästi suhteellista kuolleisuutta vuosina 1982–1999 kevyissä maankäsittelyissä (p=0,04–0,004). Maan keskimääräinen ilmatila kesinä 1995–1996 oli vastaaavasti melkein merkitsevä kuolleisuuden selittäjä (p=0,07). Toisaalta maan vesipitoisuus, ilmatila kenttäkapasiteetissa ja ilmatila kesinä 1995–1996 selittivät merkitsevästi valtapituuden vaihtelua kesällä 1982. Korkean vesipitoisuuden ja alhaisen ilmatilan kasvupaikoilla taimet saattoivat olla lyhyempiä ja ehkä myös huonokuntoisempia kuin kuivemmilla kasvupaikoilla tuhoepidemian alkaessa, jolloin ne olivat myös tuhoalttiimpia jatkossa.

3.5 Keskipituuden selitysmallit

Maan vesipitoisuus loppukesällä 1993 ($p<0,001$) ja kesinä 1995–1996 ($p=0,04$) sekä ilmatila kesinä 1995–1996 ($p = 0,03$) selittivät parhaiten taimien keskipituuden vaihtelua 23 kasvukauden jälkeen viljelystä. Kevyiden maankäsittelyjen aineistossa myös ilmatila kenttäkapasiteetissa oli merkitsevä selittäjä. Keskipituus oli sitä suurempi, mitä pienempi oli vesipitoisuus tai mitä suurempi oli ilmatila. Maankäsittelyn vaikutus oli merkitsevä ($p=0,03$) mallissa, jossa kovariaattina oli vesipitoisuus loppukesällä 1993. Lähteen (1978) mukaan viljelykohdan vesitila ja kuivatilavuuspaino korreloivat negatiivisesti ja vastaavasti ilmatila ja alkukesän lämpösumma maassa positiivisesti männyntaimien pituuden ja pituuskasvun kanssa (ks. myös Ritari 1995). Lähteen ym. (1981) tutkimuksessa vesitila ei sen sijaan korreloinut merkitsevästi pituuden tai pituuskasvun kanssa. Ainoastaan huokostilalla oli merkitsevä negatiivinen korrelaatio pituuskasvun kanssa. Koekentän lämpösumma ei tässä tutkimuksessa vaikuttanut pituuteen merkitsevästi (vrt. Valkonen 1992). Myöskään maan hienojen lajitteiden osuudella tai topografiamuuttujilla ei ollut merkitsevää vaikutusta pituuskehitykseen. Mäkitalon ja Aleniuksen (2000) mukaan typen ja kivennäisravinteiden suhde neulasissa selitti merkitsevästi keskipituuden vaihtelua. Jatkossa olisikin tutkittava maan vesipitoisuuden ja neulasten ravinnesuhteiden välistä riippuvuutta.

4 Päätelmät

Taimien kuolleisuus Lapissa näyttää liittyvän epäedullisten kasvukausien esiintymiseen ja niitä seuraaviin sienitautiepidemioihin. Taimien hidas alkukehitys lisäsi tässä tutkimuksessa kuolleisuusriskiä: mitä pienempi taimien pituus oli ennen 1980-luvun sienitautiepidemiaa, sitä suurempi oli suhteellinen kuolleisuus jatkossa. Kylvötaimet saavuttivat lumirajan 3–4 vuotta istutustaimia myöhemmin, jolloin ne olivat pidempään alttiina lumenpinnan alla esiintyville lumihome- ja versosurmatuhoille. Kuusivaltaisten alueiden paksumpi ja pidempään viipyvä lumipeite saattaa olla yksi syy heikkoon viljelytulokseen.

Uudistettaessa kuusivaltaisia kasvupaikkoja viljellen männylle, on maa muokattava riittävän voimakkaasti. Äestys soveltuu erityisen huonosti näille alueille. Aurauksella todettiin olevan pitkäaikainen kasvualustaa kuivattava vaikutus. Mäntyvaltaisilla kasvupaikoilla maankäsittely vaikutti vain taimien pituuskehitykseen. Tämän tutkimuksen tulokset 23–25 kasvukauden ajalta eivät tue aiemmin esitettyjä hypoteeseja aurauksen

vahingollisista vaikutuksista männyntaimien kehitykselle. Paperikennotaimien juuristo-ongelmien aiheuttamista tuhoista ei myöskään löydetty viitteitä.

Maan vesipitoisuuden tai dielektrisyyden käyttöä on esitetty puulajivalinnan apuvälineeksi. Vaikka tässä tutkimuksessa maan vesipitoisuudella pystyttiinkin selittämään taimien pituuskehitystä ja myös elossaoloa kevyillä maankäsittelymenetelmillä käsitellyissä ruuduissa, ei tulosten perusteella voida vielä suositella sen laajamittaista käyttöönottoa metsänuudistamisen suunnittelussa. Eri mittauskerroilla samoilta koealoilta mitatut vesipitoisuudet selittivät vaihtelevasti männyntaimien menestymistä. Vesipitoisuudessa esiintyy myös vaihtelua kasvukauden aikana ja eri kasvukausien välillä. Vaihtelu on pienimmillään kuivilla ja kuivahkoilla männylle tyypillisillä kasvupaikoilla, jotka on helppo tunnistaa ilman vesipitoisuusmittauksiakin. Sen sijaan vaihtelu voi olla huomattavan suuri tuoreemmilla kasvupaikoilla, joilla männylle sopivat kasvupaikat on perusteltua etsiä erilaisten mittausten avulla.

Myös maan huokostila vaihtelee eri kasvupaikkojen välillä. Korkea vesipitoisuus maassa ei sinänsä yleensä ole ongelma taimien juuriston kasvun ja toiminnan kannalta, vaan pikemminkin alhainen ilmatila ja pieni happipitoisuus. Saman vesipitoisuuden, esimerkiksi 25 til.%, merkitys on erilainen ilmatilan ja taimien juuriston kasvun kannalta, jos se mitataan huokostilaltaan 35 til.%, 50 til.% tai 75 til.% maasta. Esimerkiksi turvemailla, joilla huokostila voi olla yli 90 til.%, maan vesipitoisuus voi olla kaksi kertaa niin suuri kuin kivennäismaalle esitetyt ylärajat. Silti ilmatila voi olla lähellä optimia, ja mänty saattaa menestyä hyvin.

Edellä esitetyn perusteella voidaan todeta, että maastossa eri ajankohtina ja eri paikoissa mitatut vesipitoisuudet (dielektrisyydet) eivät ole välttämättä keskenään vertailukelpoisia. Lisäksi puiden juurelta eri aikoina ja eri kasvupaikoilta maastossa mitatut vesipitoisuudet voivat vaihdella latvuspidännän ja puiden haihduttamisen vuoksi. Myös metsäpaloilla, puulajien uudistumisekologialla ja puulajien välisellä kilpailulla on oma merkityksensä metsikön sukkessiossa samoin kuin maankäsittelyllä männynviljelyn onnistumiseen. Taimien menestymiseen vaikuttavat maan vesipitoisuuden ohella, joko suoraan tai sienituhojen välityksellä, monet tekijät, kuten esimerkiksi siemenen alkuperä, viljelymateriaalin laatu, maaston korkeus ja rinteen suunta, ilmaston vaihtelu ja kasvupaikan ravinteisuus. Siten pelkästään mitattuun vesipitoisuuteen (dielektrisyyteen) pohjautuvat raja-arvot puulajivalinnan perustana ovat vain suuntaa-antavia.

Kirjallisuus

Adams, P.W., Flint, A.L. & Fredriksen, R.L. 1991. Long-term patterns in soil moisture and revegetation after a clearcut of a Douglas-fir forest in Oregon. Forest Ecology and Management 41: 249–263.

Buckman, H.O. & Brady, N.C. 1969. The nature and properties of soils. 7. p. The Mavmillan Company, New York. 653 s.

Elonen, P. 1971. Particle-size analysis. Selostus: Maan raekoostumuksen määrittäminen. Acta Agralia Fennica 122. 122 s.

Etholén, K. 1972. Männyn viljelyn tulos Pohjois-Suomessa ja siemenen alkuperä. Summary: The success of artificial regeneration of Scots pine in Northern Finland and origin of seed. Folia Forestalia 160. 27 s.

FAO 1990. Soil map of the world. Revised legend. World soil resources report 60. FAO, Rome, Italy. 119 s.

Fries, C. 1991. Aspects of forest regeneration in a harsh boreal climate. Dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture, Umeå. 40 s. + 4 alkuperäistä julkaisua.

Goulet, F. 1995. Frost heaving of forest trees: a review. New Forests 9: 67 94.

Hansson, P. & Karlman, M. 1997. Survival, height and health status of 20-year-old *Pinus sylvestris* and *Pinus contorta* after different scarification treatments in a harsh boreal climate. Scandinavian Journal of Forest Research 12: 340–350.

Heikinheimo, O. 1939. Kokemuksia paksusammaltyypin metsien käsittelystä. Referat: Erfahrungen betreffend die Behandlung der Wälder vom Dickmoostyp. Silva Fennica 52: 121–139.

Heikkilä, R. 1981. Männyn istutustaimien tuhot Pohjois-Suomessa. Summary: Damage in Scots pine plantations in northern Finland. Folia Forestalia 497. 22 s.

Heiskanen, J. 1988. Metsämaan vedenpidätyskyvystä ja sen suhteista eräisiin kasvupaikasta mitattuihin tunnuksiin. Lisensiaattityö, Helsingin yliopisto, metsänhoitotieteen laitos, Helsinki. 92 s.

— 1989. Kangasmaiden vesitalous. Kirjallisuustarkastelu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 339. 53 s.

— 1994. Hydrological properties of peat-based growth media. Dissertation. University of Helsinki, Faculty of Agriculture and Forestry, Helsinki. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 524. 41 s. + 5 alkuperäistä julkaisua.

— 2001. Mitä tiedämme metsänuudistamisesta kuusen paakkutaimilla? Käsikirjoitus.

— & Tamminen, P. 1992. Maan fysikaalisten ominaisuuksien määrittäminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 424. 32 s.

Heiskanen, J. & Mäkitalo, K. 2000a. Soil water-retention characteristics differ between Scots pine and Norway spruce dominated sites in Lapland. Julkaisussa: Pietola, L. (toim.). Maaperätieteet ihmiskunnan palveluksessa. Maaperätieteiden päivien laajennetut abstraktit. Pro Terra 4/2000. 103–105.

— & Mäkitalo, K. 2000b. Soil water-retention characteristics of natural Scots pine and Norway spruce sites in Finnish Lapland. Julkaisussa: Jandl, R., Devall, M., Khorchidi, M., Schimpf, E., Wolfrum, G. & Krishnapillay, B. (toim.). Forest and Society: The Role of Research. XXI IUFRO World Congress, 7–12 August 2000, Kuala Lumpur, Malaysia. Volume 3. Poster abstracts. IUFRO and Forest Research Institute Malaysia. s. 455–456.

— Mäkitalo, K. & Sutinen, R. 2001. Maan vedenpidätyskyky Lapin mänty- ja kuusivaltaisilla metsämailla. Metsätieteen aikakauskirja. Painossa.

Hillel, D. 1982. Introduction to soil physics. Academic Press, Inc., San Diego. 364 s.

Høstmark, A.-K., Breuning-Madsen, H. Lundin, L. & Riley, H. 1990. Water retention curves on Nordic till soils. Nordic hydrological programme, NHP Report 25. Julkaisussa: Haldorsen, S. (toim.). Hydrogeological properties of Nordic tills. The coordinating committee for hydrology in Norden. Oslo. s. 147–167.

Hänninen, P. 1997. Dielectric coefficient surveying for overburden classification. Geological Survey of Finland. Bulletin 396. 72 s.

Jacobsen, O.H. & Jensen, H.E. 1990. Unsaturated hydraulic conductivity determined by the hot air method for some Danish till soils. Nordic Hydrology 21: 133–140.

Jalkanen, R. 1989. Lapin metsäpatologiset ongelmat. Forest pathological problems in Finnish Lapland. Julkaisussa: Saastamoinen, O. & Varmola, M. (toim.). Lapin metsäkirja. Acta Lapponiae Fennica 15: 32–47.

Kaitera, J. 1997. Timing of Scots pine branch damage caused by large-tree type of *Gremmeniella abietina* var. *abietina* and the structure of epidemics in northern Finland. Finnish Forest Research Institute. Research Papers 652. 35 s. + 5 alkuperäistä julkaisua.

Karlman, M. 1986. Damage to *Pinus contorta* in northern Sweden special emphasis on pathogens. Studia Forestalia Suecica 176. 42 s.

Kauppila, A. & Lähde, E. 1975. Koetuloksia maankäsittelyn vaikutuksesta metsämaan ominaisuuksiin Pohjois-Suomessa. Summary: On the effects of soil treatment on forest soil properties in North-Finland. Folia Forestalia 230. 29 s.

Kubin, E., Pasanen, J. & Savilampi, P. 1997. Korkeiden alueiden metsien uudistaminen Kainuussa ja Koillismaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 666. 36 s.

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

Lähde, E. 1973. Metsämaan ominaisuudet ja männyntaimistojen kunto pohjois-Suomessa. Summary: The qualities of forest soil and the condition of pine plantations in northern Finland. Julkaisussa: Väyrynen, M. (toim.). Lapin tutkimusseura, vuosikirja XIV, s. 5–10.

— 1974a. Männyntaimistojen kunto ja maan lajitekoostumus Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 7. 19 s.

— 1974b. The effect of grain size distribution on the condition of natural and artificial sapling stands of Scots pine. Selostus: Maan lajitekoostumuksen vaikutus männyn luontaisten ja viljelytaimistojen kuntoon. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 84(3). 23 s.

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

— & Siltanen, S. 1973. Männyn taimien kunto ja juuriston rakenne Pohjois-Suomessa. Summary: The structure of root system and the condition of the pine (*Pinus silvestris* L.) seedlings in northern Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 78(7). 31 s.

— & Mutka, K. 1974. Luontaisesti syntyneiden ja istutettujen kuusentaimien kehitys ja juuriston rakenne Pohjois-Suomessa. Summary: The structure of root system and development of volunteer and planted Norway spruce transplants in northern Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 83(3). 43 s.

— , Manninen S. & Tervonen, M. 1981. Ojituksen ja muokkauksen vaikutus maan fysikaalisiin ominaisuuksiin sekä havupuiden taimien kehitykseen. Summary: The effect of drainage and cultivation on soil physical properties and the development of conifer seedlings. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 98(7). 43 s.

Magnusson, T. 1992. Temporal and spatial variation of the soil atmosphere in forest soils of northern Sweden. Dissertation, Swedish University of Acricultural Sciences, Department of Forest Site Research. Stencil No. 22. 25 s. + 5 alkuperäistä julkaisua.

Mannerkoski, H. & Möttönen, V. 1990. Maan vesitalous ja ilmatila metsäaurausalueilla. Summary: Soil water conditions and air-filled porosity on ploughed reforestation areas. Silva Fennica 24(3): 279–301.

Marosy, M., Patton, R.F. & Upper, C.D. 1989. A conducive day concept to explain the effect of low temperature on the development of Scheloderris shoot blight. Phytopathology 11: 1293–1301.

McConkey, B.G., Ulrich, D.J. & Dyck, F.B. 1997. Slope position and subsoiling effects on soil water and spring wheat yield. Canadian Journal of Soil Science 77: 83–90.

McLintock, T. F. 1959. Soil moisture patterns in a northern coniferous forest. USDA Forest Service, Norteastern Forest Experiment Station, Station Paper No. 128. Upper Darby. PA. 5 s.

Mononen, S. 1987. Männyn siemenen siirrot Pohjois-Suomessa. Julkaisussa: Saarenmaa, H. & Poikajärvi, H. (toim.). Korkeiden maiden metsien uudistaminen. Ajankohtaista tutkimuksesta. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1987. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 278: 80–91.

Mutka, K. & Lähde, E. 1977. Effect of soil treatment, liming, and phosphate fertilization on initial development of bare-rooted Scots pine transplants. Seloste: Maan käsittelyn, kalkituksen ja fosforilannoituksen vaikutus paljasjuuristen männyn taimien alkukehitykseen. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 91(3). 57 s..

Mäkitalo, K. 1983. Koetuloksia männyn viljelyn onnistumisesta eri tavoin käsitellyllä paksusammaltyypin maalla Lapissa. Julkaisussa: Metsäntutkimuspäivä Rovaniemellä 1983. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 105: 98–110.

— 1990. Maankäsittely- ja viljelymenetelmän vaikutus männyn viljelyn onnistumiseen Lapissa. Julkaisussa: Varmola, M. & Katermaa, T. (toim.). Metsänparannus. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1990. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 362:109–120.

— 1999. Effect of site preparation and reforestation method on survival and height growth of Scots pine. Scandinavian Journal of Forest Research 14: 512–525.

— 2000. Maan vesipitoisuuden mittaustuloksia Lapista. Käsikirjoitus.

— , Sutinen, R., Sutinen M.-L. & Pänttäjä, M. 1993. Metsämaan vesipitoisuuden luokitus dielektrisyyden ja gammasäteilyn avulla: Potentiaalinen apuvälinen metsänuudistamisen suunnittelussa. Julkaisussa: Nikula, A., Ritari, A. & Lahti M.-L. (toim.) 1993. Paikkatiedon ja satelliittikuvauksen käyttö metsäntutkimuksessa. Tutkimuspäivä Rovaniemellä 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479: 62–78.

— , Sutinen, R., Hyvönen, E., Pulkkinen, E., Pänttäjä, M. & Sutinen, M.-L. 1995. Määrääkö maaperä kuusen metsärajan Pohjois-Lapissa? Julkaisussa: Tasanen T., Varmola M. & Niemi M. (toim.). Metsänraja tutkimuksen kohteena. Tutkimuspäivä Yllaksellä, Kolarin ja Rovaniemen tutkimusasemien tutkimuspäivillä 16.2. 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 539: 35–48.

Mäkitalo, K. & Alenius, V. 2000. Needle nutrient ratios affect Scots pine seedling survival and height growth in Finnish Lapland. Julkaisussa: Jandl, R., Devall, M., Khorchidi, M., Schimpf, E., Wolfrum, G. & Krishnapillay, B. (toim.). Forest and Society: The Role of Research. XXI IUFRO World Congress, 7–12 August 2000, Kuala Lumpur, Malaysia. Volume 3. Poster abstracts. IUFRO and Forest Research Institute Malaysia. s. 132–133.

— , Heiskanen, J. & Alenius, V. 2000. Effect of soil physical characteristics and site preparation on soil water content and air-filled porosity. Käsikirjoitus.

— & Hyvönen, J. 2000. Soil water content on clear-cut reforestation areas two decades after site preparation in Finnish Lapland. Käsikirjoitus.

Mälkönen, E. 1972. Näkökohtia metsämaan muokkauksesta. Summary: Some aspects concerning cultivation of forest soil. Folia Forestalia 137. 11 s.

Niska, K. & Levula, T. 1987. Muokkauksen ja lannoituksen vaikutus männyn taimien alkukehitykseen. Julkaisussa: Poikajärvi, H. (toim.). Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1986. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 253: 99–108.

Nordén, L.-G., 1989. Water use by Norway spruce – A study of two stands using field measurements and soil water modelling. Doctoral dissertation. Swedish University of Agricultural Sciences. Umeå. 43 s. + 4 alkuperäistä julkaisua.

Norokorpi, Y. 1971. Männyn viljelytaimistojen tuhot Pohjois-Suomessa. Metsä ja Puu 88(4): 23–26.

Nyberg, L. 1995. Water flow path interactions with sol hydraulic properties in till soil at Gårdsjön, Sweden. Journal of Hydrology 170: 255–275.

— 1996. Spatial variability of soil water content in the covered catchment at Gårdsjön, Sweden. Hydrological Processes 10: 89–103.

Ojansuu, R. & Henttonen, H. 1983. Kuukauden keskilämpötilan, lämpösumman ja sademäärän paikallisten arvojen johtaminen Ilmatieteen laitoksen mittaustiedoista. Summary: Estimation of the local values of monthly mean temperature, effective temperature sum and precipitation sum from the measurements made by the Finnish Meteorological Office. Silva Fennica 17(2): 143–160.

Ovington, J. D. 1954. A comparison of rainfall in different woodlands. Forestry 27: 41–53.

Palmgren, K. 1984. Muokkauksen ja kalkituksen aiheuttamia mikrobiologisia muutoksia metsämaassa. Summary: Microbiological changes in forest soil preparation and liming. Folia Forestalia 603. 27 s.

Penttinen, S. 2000. Electrical and hydraulic classification of forest till soils in Central Lapland, Finland. Geological Survey of Finland. Bulletin 398. 88 s.

Persson, B. 1994. Effects of climate and provenance transfer on survival, production and stem quality of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in northern Sweden. Dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Yield Research. Umeå. Report No. 37. 38 s. + 4 alkuperäistä julkaisua.

Pohtila, E. 1972. Istutuskuoppaan annetun kuparihienofosfaatin vaikutus männyn ja kuusen taimien elossapysymiseen ja pituuskasvuun eräällä kulotetulla ja auratulla uudistusalalla Koillis-Suomessa. Summary: Effect of fine-ground copper rock phosphate placed in the planting hole on the survival and height growth of Scots pine and Norway spruce in a burnt and furrowed reforestation area in north-east Finland. Silva Fennica 6(1): 14–24.

— 1977. Reforestation of ploughed sites in Finnish Lapland. Seloste: Aurattujen alueiden viljely Lapissa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 91(4). 98 s.

— & Pohjola, T. 1983. Vuosina 1970–72 Lappiin perustetun aurattujen alueiden viljelykokeen tulokset. Summary: Results from the reforestation experiment on ploughed sites established in Finnish Lapland during 1970–72. Silva Fennica 17(3): 201–224.

— & Pohjola, T. 1985. Maan kunnostus männyn viljelyssä Lapissa. Summary: Soil preparation in reforestation of Scots pine in Lapland. Silva Fennica 19(3): 245–270.

— & Valkonen, S. 1985. Varttuneiden viljelytaimikoiden tila Lapin piirimetsälautakunnan alueen yksityismetsissä. Summary: Development and condition of artificially regenerated pine and spruce sapling stands in the privately owned forests of Finnish Lapland. Folia Forestalia 631. 19 s.

Prichett, W.L. & Fischer, R.F. 1987. Properties and management of forest soils. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York, NY. 494 s.

Päivänen, J. 1966. Sateen jakautuminen erilaisissa metsiköissä. Summary: The distribution of rainfall in different types of forest stands. Silva Fennica 119(3): 1–37.

Ritari, A. 1985. Muokkauksen vaikutus paksusammalkuusikon maan ominaisuuksiin. Lisensiaattityö. Helsingin yliopisto, metsänhoitotieteen laitos. Helsinki. 100 s.

— 1987. Lumipeitteen sulamisen riippuvuus eräistä metsikkö- ja kasvupaikkatunnuksista Kivalon tutkimusalueella. Summary: Ablation of late snowcover in relation to some stand and site characteristics in Kivalo, northern Finland. Folia Forestalia 691. 16 s.

— 1995. Effect of site preparation on seedling performance in a *Hylocomium Myrtillus*-stand. Julkaisussa: Ritari, A., Saarenmaa, H. & Poikajärvi, H. (toim.). Northern Silviculture and Management. Proc. IUFRO Working Party S1.05–12 Symposium, Lapland, Finland, 16–22 August 1987. The Finnish Research Institute. Research Papers 567. 290 s.

Ritari, A. & Lähde, E. 1978. Effect of site preparation on physical properties of the soil in a thick-humus spruce stand. Seloste: Muokkauksen vaikutus paksusammalkuusikon maan fysikaalisiin ominaisuuksiin. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 92(7). 37 s.

Roll-Hansen, F., Roll-Hansen, H. & Skroppa, T. 1992. *Gremmeniella abietina, Phacidium infestans*, and other causes of damage in alpine, young pine plantations in Norway. European Journal of Forest Pathology 22: 77–94.

Rutter, A. J., Kershaw, K. A., Robins, P. C. & Morton, A. J. 1971. A predictive model of rainfall interception in forests, I. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. Agricultural Meteorology 9: 367–384.

Saarenmaa, L. 1991. Viljelyketjun valinta asiantuntijajärjestelmän avulla Pohjois-Suomessa. Summary: Choice of reforestation method based on an expert system in Finnish Lapland. Folia Forestalia 762. 49 s.

— 1992. Induktiivinen oppiminen metsänviljelyn tietokannan tulkinnassa. Metsähallituksen metsänhoitotöiden kirjanpitoaineistoon perustuva tutkimus. Summary: Inductive learning in knowledge acquisition from the forest regeneration database. A study based on the data collected by the National Board of Forestry. Helsingin yliopiston metsäekologian laitoksen julkaisuja 3. 173 s.

— & Leppälä, T. 1995. Fill-in seedlings in constituting the stocking of Scots pine stands in northern Finland. Silva Fennica 29(2): 141–150.

Saksa, T. 1992. Männyn istutustaimikoiden kehitys muokatuilla uudistusaloilla. Abstract: Development of Scots pine plantations in prepared reforestation areas. Väitöskirja, Helsingin yliopisto, maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. Helsinki. 48 s. + 4 alkuperäistä julkaisua.

— , Nerg, J. & Tuovinen, J. 1990. Havupuutaimikoiden tila 3–8 vuoden kuluttua istutuksesta tuoreilla kankailla Pohjois-Savossa. Summary: State of 3–8 years old Scots pine and Norway spruce plantations. Folia Forestalia 753. 30 s.

Sepponen, P. 1981. Kivennäismaan raekoon tunnuksista ja niiden käyttökelpoisuudesta eräiden maan ominaisuuksien kuvaamiseen. Summary: Particle size distribution characteristics of mineral soil and their applicability for describing some soil properties. Silva Fennica 15(2): 228–236.

— , Lähde, E. & Roiko-Jokela, P. 1979. Metsäkasvillisuuden ja maan fysikaalisten ominaisuuksien välisestä suhteesta Lapissa. Summary: On the relationship of the forest vegetation and the soil physical properties in Finnish Lapland. Folia Forestalia 402. 31 s.

Siira M. 1998. Keski-Lapin moreenikasvupaikkojen hydraulinen ja optinen (350–2500 nm) luokittelu. Pro gradu, Oulun yliopisto. 106 s.

Sirén, G. 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in northern Finland. Lyhennelmä: Pohjois-Suomen paksusammalkankaiden kuusimetsien kehityksestä ja sen ekologiasta. Acta Forestalia Fennica 62(4). 408 s.

Sutinen, M.-L., Hyvönen, E., Hänninen, P., Mäkitalo, K., Penttinen, S., Siira, M. & Sutinen, R. 1999. Soil properties as determinants of tree species distribution in Finnish Lapland. Julkaisussa: Kankaanpää, S., Tasanen, T. & Sutinen, M.-L. (toim.). Sustainable development in northern timberline forests. Proceedings of the Timberline workshop, May 10–11, 1998 in Whitehorse, Canada. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 734: 83–94.

Sutinen, R., Hyvönen, E., Mäkitalo, K. & Sutinen, M.-L. 1994. Soil classification using dielectric and gamma-ray moisture detection: potential aid for forest regeration. 1st International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, Strasbourg, France, 11–15 September 1994. Part III. s. 529–538.

— , Heiskanen, J., Hyvönen, E., Hänninen, P., Mäkitalo, K., Pulkkinen, E., Pänttäjä, M., & Sutinen, M.-L. 1996. Pine-spruce composition follows till moisture and geochemistry patterns in Lapland. Julkaisussa: Bachmann, P., Kuusela, K., & Uuttera, J. (toim.). Assessment of biodiversity for improved forest management. EFI Proceedings 6. s. 29–40.

— , Hänninen, P., Mäkitalo, K., Penttinen, S. & Sutinen, M.-L. 1997. Snowmelt saturation restricts Scots pine growth on fine-grained tills in Lapland. Julkaisussa: Iskandar, I.K., Wright, E.A., Radke, J.K., Sharratt, B.S., Groenevelt, P.H. & Hinzman, L.D. (toim.). Proceedings of the International Symposium on Physics, Chemistry, and Ecology of Seasonally Frozen Soils, Fairbanks, Alaska, June 10–12, 1997. CRREL Special Report 10: 507–512.

— , Mäkitalo, K., Sutinen M-L. & Sandström, O. 1998a. Soil water content in relation to artificial regeneration of Scots pine. Scandinavian Journal of Forest Research. Painossa.

— , Hyvönen, E., Hänninen, P., Mäkitalo, K., Penttinen, S. & Sutinen, M.-L. 1998b. Classification of forest soils using dielectric and gamma-ray moisture detection. Julkaisussa: Saarikko, J. (toim.). Resource Technology '98 Nordic. International Symposium on Advanced Technology in Environmental and Natural Resources, June 8–12 1998, Rovaniemi, Finland. Abstracts. 31 s.

— , Hyvönen, E., Hänninen, P., Penttinen, S. Siira, M. & Sutinen, M.-L. 2000. Classification of forest soils using dielectric and gamma-ray moisture detection. Julkaisussa: Salminen, H., Saarikko, J. & Virtanen, E. (toim.). Resource Technology '98 Nordic. International Symposium on Advanced Technology in Environmental and Natural Resources, June 8–12 1998, Rovaniemi, Finland. Proceedings. Finnish Forest Research Institute. Research papers 791: 1–10. (cd-rom).

Sutton, R. F. 1993. Mounding site preparation: A review of European and North American experience. New Forests 7: 151–192.

Söderström, V., Bäcke, J., Byfalk, R. & Jonsson, K. 1978. Comparison between planting in mineral soil heaps and after some other soil treatment methods. Royal College of Forestry, Department of Silviculture. Research Notes 11. 177 s.

Tikkanen, E. 1985. Aurausalueen heikkokuntoisten männyntaimien ravinnetaloudesta Pohjois-Suomessa. Summary: Nutrient metabolism of weakened Scots pine saplings on a ploughed site in northern Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 186. 23 s.

— 1988. Fosfori – metsämaan aurauksen aiheuttamien ravinnetalouden häiriöiden indikaattori? Summary: Effect of forest soil ploughing on phosphorus. Luonnon Tutkija 92: 32–38.

— & Raitio, H. 1984. Pohjois-Suomen aurausalueiden männyntaimien epänormaali kehitys ja olettamus sen syystä. Summary: A hypothesis on the cause of abnormal development of Scots pine saplings on ploughed areas in northern Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 165. 27 s.

Topp, G.C., Davis, J.L. & Annan, A.P. 1980. Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. Water Resource Research 16(3). 574–582.

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

Valkonen, S. 1992. Metsien uudistaminen korkeilla alueilla Pohjois-Suomessa. Summary: Forest regeneration at high altitudes in Northern Finland. Folia Forestalia 791. 84 s.

Valtanen, J. 1970. Versosyöpä Lapin taimistojen kimpussa. Metsä ja Puu 4: 7–10.

— & Tasanen, T. 1996. Männyn viljelytavan valinta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 608. 88 s.

Viro, P. J. 1952. Kivisyyden määrittämisestä. Summary: On the determination of stoniness. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 40(3). 23 s.

Vomocil, J.A. & Flocker, W.J. 1961. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. Trans. American Society of Agricultural Engineering 4: 242–246.

Välikangas, P. 2000. Maanparannusaineiden vaikutus männyn, kuusen ja koivun alkukehitykseen Itä-Lapissa. Julkaisussa: Hyppönen, M., Varmola, M. & Poikajärvi, H. (toim.). Paksusammalkuusikot ja niiden uudistaminen. Tutkijoiden ja metsäammattilaisten retkeily Itä-Lapissa 25.–26.8.1999. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 793: 55–76.

Wesseling, J. & Wijk, W.R. 1957. Land drainage in relation to soils and crops I. Soil physical conditions in relation to drain depth. Julkaisussa: Luthin, J.N. (toim.). Drainage of agricultural lands. American Society of Agronomy. Madison WI. s. 461–504.

Yeakley, J.A., Swank, W.T., Swift, L.W., Hornberger, G.M. & Shugart, H.H. 1998. Soil moisture gradients and controls on a southern Appalachian hillslope from drought through recharge. Hydrology and Earth System Sciences 2(1): 41–49.

Ylimartimo, A. 1993. Effect of nutrient imbalance on the interaction of between *Pinus sylvestris* and *Gremmeniella abietina.* Dissertation. University of Helsinki, Department of Forest Ecology. Publications 6: 1–74. + 5 alkuperäistä julkaisua.

Örlander, G., Gemmel, P. & Hunt, J. 1990a. Site preparation – A Swedish overview. FRDA Report 105. Forest Engineering Research Institute of Canada. 57 s.

— , Hallsby, G. & Sundqvist, H. 1990b. Survival, growth and nutrient status of a 23 year old Scots pine (*Pinus sylvestris* (L.)) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) plantation on a ploughed versus burnt lichen site. Swedish University of Agricultural Science, Department of Silviculture, Umeå. Report No. 26. 48 s.

— , Egnell, G. & Albrektson, A. 1996. Long-term effects of site preparation on growth in Scots pine. Forest Ecology and Management 86: 27–37.

Taimikonharvennuksen ajankohdan ja voimakkuuden vaikutus männikön kehitykseen

Martti Varmola ja Merja Arola

Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema,
PL 16, 96301 Rovaniemi

martti.varmola@metla.fi, merja.arola@metla.fi

1 Johdanto

Luontaisesti uudistetut tai kylvetyt männyn taimikot vaativat tavallisesti taimikonharvennuksen, jolla säädellään kasvatettavan puulajin tiheyttä. Taimikonharvennus lisää ensiharvennuksen kannattavuutta ja edistää metsikön rakennetta ja puulajisuhteita haluttuun suuntaan. Kasvupaikan tuotoskyky ohjataan arvokkaimpiin, nopeakasvuisimpiin tai laadukkaimpiin puuyksilöihin.

Taimikonharvennuksen voimakkuuden lisäksi harvennusajankohdalla on merkittävä vaikutus metsikön kehitykseen. Aikainen harvennus nopeuttaa puiden läpimitan kasvua. Samalla oksien läpimitan kasvu kiihtyy, jolla taas on negatiivinen vaikutus sekä puun ulkoiseen että sisäiseen laatuun.

Vuokilan (1972) mukaan luontaisesti syntyneissä männiköissä ensiharvennukseen asti kasvatettavien käyttörunkojen maksimilukumäärä vaihteli välillä 2000–3000 puuta ha^{-1} eri kasvupaikoilla. Tulos saatiin luontaisesti syntyneistä metsiköistä kerätystä aineistosta. Varmola (1996) osoitti, että jo puolukkatyypillä voidaan kasvattaa yli 3500 puuta ha^{-1} kylvömäntyä käyttöpuun mittoihin, koska puusto on niissä luontaisia metsiköitä tasaikäisempi ja -kokoisempi.

Varmola, M. & Tapaninen, S. (toim.). 2001. Pohjoisten metsien hoito. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 803: 105–118.

Nykyinen suositus taimikonharvennuksen jälkeen jääväksi runkolukuvuksi on yleensä 1800–2000 puuta ha^{-1}. Tätä voidaan pitää tuotoksen ja laadun kompromissina. Jos pyritään korkeaan laatuun, on tiheyssuositus noin 2500 puuta ha^{-1}, mutta jos tavoitteena on nopea kasvu, lyhyt kiertoaika ja kannattava ensiharvennus, suositellaan 1600 puuta ha^{-1} kasvatustiheyttä.

Vain muutamissa tutkimuksissa on tähän mennessä tutkittu taimikonhoidon ajankohdan vaikutusta puuston kehitykseen. Thernström (1982) esitteli alustavia tuloksia neljän eri harvennusajankohdan (valtapituudet 1,5, 3, 5 ja 6,5 metriä) ja kolmen harvennusvoimakkuuden (600, 1000 ja 1800 puuta ha^{-1}) vaikutuksesta männyntaimikon tilavuuteen ja laatutunnuksiin, mutta vain noin 10 vuoden kasvujakson jälkeen eli 6–7 metrin valtapituudella. Varmolan (1996) simulointien mukaan varhainen taimikonharvennus kolmen metrin valtapituudella vaikutti vain vähän rinnankorkeusläpimittaan tai tyvitukin alueella olevan paksuimman oksan läpimittaan 10 metrin valtapituudella verrattuna myöhäisempään taimikonharvennukseen (kuuden metrin valtapituudella). Varmola ym. (1998) osoittivat, että kylvömänniköt tulisi harventaa aikaisintaan viiden metrin valtapituudella, jotta saavutettaisiin samanaikaisesti hyvä laatu ja korkea tuotos.

Tässä tutkimuksessa esitetään tulokset kolmelta Etelä-Suomessa sijaitsevalta kokeelta, joissa tutkittiin samanaikaisesti sekä taimikonhoidon ajankohdan että voimakkuuden vaikutusta männikön kehitykseen. Pääkysymykset olivat:

1) Mikä on sopiva ajankohta (valtapituus) taimikonharvennukselle?
2) Mikä on sopiva voimakkuus taimikonharvennukselle?

2 Aineisto

2.1 Koealueet

Aineisto koostuu kolmesta koemetsiköstä, joihin kokeet perustettiin 1972–73. Metsikkö 1 (Multia, poh. 62°29', it. 24°56', 200 m mpy, lämpösumma 1060 d.d.) avohakattiin 1959, kulotettiin ja laikutettiin 1960 sekä ruutukylvettiin 1961. Metsikössä 2 (Padasjoki, poh. 61°21', it. 25°07', 130 m mpy, lämpösumma 1220 d.d.) oli myrsky 1961 ja alue avohakattiin ja istutettiin 2-vuotisilla avojuuritaimilla 1963. Alue heinättiin 1965 ja vesakko perattiin 1972. Metsikkö 3 (Heinola, poh. 61°10', it. 26°02', 120 m mpy, lämpösumma 1260 d.d.) avohakattiin 1962 ja ruutukylvettiin 1963.

Taulukko 1. Ikä (a) ja valtapituus (H_{dom}, m) koemetsiköittäin eri mittauskerroilla.

	Metsikkö 1		Metsikkö 2		Metsikkö 3	
Mittaus	Ikä	H_{dom}	Ikä	H_{dom}	Ikä	H_{dom}
1	13	3,5	11	2,5[1)]	11	3,3
2	18	5,4	18	5,5	17	5,6
3	25	8,8	25	9,3	23	9,0
4	36	13,5	36	15,1	34	14,6

1) Estimoitu Varmolan (1996) pituusboniteettikäyrällä

Kaikki koemetsiköt sijaitsevat Etelä-Suomessa puolukkatyypin kuivahkolla kankaalla. Metsiköiden ikä kokeiden perustamishetkellä oli 11–13 vuotta ja valtapituus 2,5–3,5 m (taulukko 1).

Pituusboniteetit (H_{100}) laskettiin jokaiselle koealalle Hägglundin (1976) mallilla, jossa perusteena käytetään valtapuiden viiden vuoden pituuskasvua alkaen ensimmäisestä 2,5 metrin yläpuolella olevasta oksankiehkurasta. Hägglundin mallin antamat pituusboniteettien keskiarvot metsiköille 1, 2 ja 3 olivat 24,0, 25,7 ja 24,6 m (taulukko 2). Koemetsiköt ovat täten varsin homogeenisia pituusboniteetin suhteen. Puolukkatyypin tyypillinen pituusboniteetti on Vuokilan ja Väliahon (1980) mukaan 21–24.

Taulukko 2. Hägglundin (1976) mallilla lasketut pituusboniteetit (H_{100}) metsiköittäin ja käsittelyittäin.

Ajankohta, m	3 m			6 m			9 m			Keski-
Voimakkuus, puuta ha^{-1}	1000	1600	2200	1000	1600	2200	1000	1600	2200	arvo
Metsikkö	Pituusboniteetti, m									
1	24,9	24,6	24,1	22,4	23,8	24,6	23,8	24,4	23,8	24,0
2	26,9	26,9	25,1	24,6	26,7	24,3	24,9	25,7	26,5	25,7
3	27,3	25,9	26,7	22,3	24,4	24,1	22,6	24,9	23,2	24,6
Keskiarvo	26,4	25,8	25,3	23,1	25,0	24,3	23,8	25,0	24,5	24,8

2.2 Koejärjestely

Jokaisessa metsikössä oli yhdeksän eri käsittelyä, kolme harvennusajankohtaa ja kussakin kolme harvennusvoimakkuutta. Ajankohdat vastasivat aikaista, normaalia ja myöhäistä taimikonharvennusta seuraavasti:

- harvennus kolmen metrin valtapituudella
- harvennus kuuden metrin valtapituudella
- harvennus yhdeksän metrin valtapituudella

Harvennuksen voimakkuudet suunniteltiin vastaamaan hyvin voimakasta, voimakasta ja normaalia taimikonharvennusta seuraavasti:

- harvennus tiheyteen 1000 puuta ha^{-1}
- harvennus tiheyteen 1600 puuta ha^{-1}
- harvennus tiheyteen 2200 puuta ha^{-1}

Käytännön järjestelyistä johtuen harvennusajankohta vaihteli kokeittain jonkin verran (taulukko 1). Myös harvennuksen jälkeisessä tiheydessä oli vaihtelua yksittäisten koealojen välillä. Kokonaisuudessaan koejärjestelyä voidaan kuitenkin pitää hyvin yhtenäisenä. Kuhunkin metsikköön mahtui vain yksi koeala/käsittely ilman toistoja. Koesarjaa varten ei saatu tarpeeksi suuria metsiköitä toistojen perustamista varten.

2.3 Mittaukset

Ruutukylvetyissä metsiköissä 1 ja 3 kylvötuppaat perattiin ennen kokeen perustamista ja tuppaan paras taimi jätettiin kasvamaan. Metsikössä 1 alkuperäinen tiheys vaihteli välillä 6000–9300 puuta ha^{-1} ja oli perkauksen jälkeen 2300–3000 puuta ha^{-1}. Metsikössä 2 ei perustamisvaiheessa tehty mittauksia. Seuraavan mittauksen tiedoista voidaan arvioida, että metsikössä oli istutustaimien lisäksi runsaasti luontaisesti syntyneitä männyntaimia, koska runkoluku vaihteli tuolloin välillä 3700–8200 puuta ha^{-1}. Metsikössä 3 mitattiin perustamisvaiheessa vain harvennetut kolme koealaa. Voidaan arvioida, että metsikössä 3 runkoluku oli kylvötuppaiden perkauksen jälkeen noin 2500–3000 puuta ha^{-1}.

Koealojen koko oli 0,10–0,15 ha ja niitä ympäröi viiden metrin vaippaalue. Ensimmäisessä mittauksessa (1972–73) kaikista puista mitattiin rinnankorkeusläpimitta. Noin 40 koepuusta koealaa kohden mitattiin pituus.

Toisessa mittauksessa (1978–80) kaikkien kolmen metsikön kaikki koealat mitattiin. Koealoille sijoitettiin systemaattisesti yksi tai kaksi ympyräkoealaa, joiden säde vaihteli siten, että mitattavia puita oli yhteensä 100–150 koealaa kohden. Kolmasosa lukupuista valittiin koepuiksi. Koealan kaikki puut mitattiin, jos koealalla oli vähemmän kuin 200 puuta. Lukupuut kartoitettiin ja rinnankorkeusläpimitta mitattiin. Koepuut valittiin ympyräkoealan keskipisteeseen sijoitetulta pienemmältä ympyrältä, ja niistä mitattiin läpimitta 3,5 metristä, pituus, viiden vuoden pituuskasvu, rinnankorkeusikä, paksuimman elävän ja kuolleen oksan läpimitta sekä laatutunnuksia.

Kolmannessa mittauksessa 1986 käytettiin samaa mittausmenetelmää. Harvennuksen jälkeen ympyräkoealoja suurennettiin niin, että mitattavia puita saatiin 100–150. Usein se merkitsi sitä, että koko koealan kaikki puut mitattiin. Jos puun pituus oli yli 7 metriä, yläläpimitta mitattiin 6 metristä.

Neljännessä mittauksessa 1996 mitattiin koealojen kaikki puut. Aikaisempiin mittauksiin verrattuna koepuista mitattiin myös elävän latvuksen alaraja.

3 Tulokset

3.1 Valtapituuden kehitys

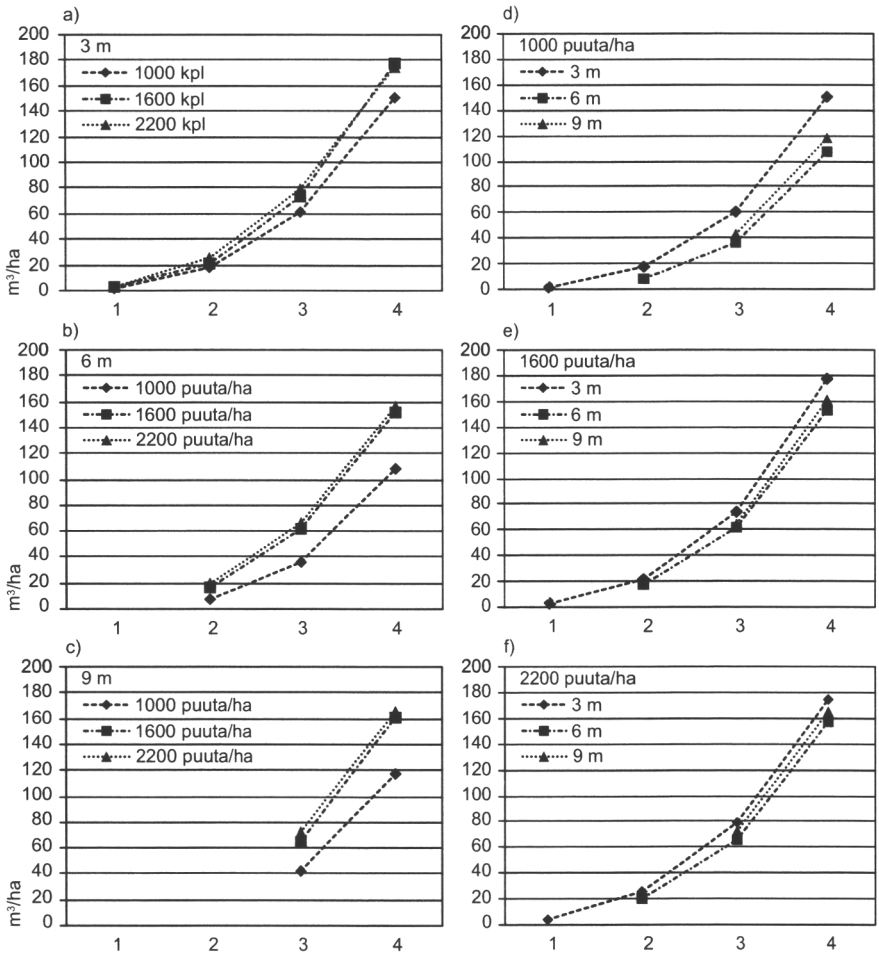
Kokeen perustamisvaiheessa valtapituus vaihteli eri harvennusvoimakkuuksien välillä hyvin vähän, eivätkä erot suurentuneet seurantajakson aikana. Harvennusajankohdalla 6 metriä valtapituuden ero eri harvennusvoimakkuuksien välillä oli suurin, 1,3 metriä, mutta ero kutistui neljännessä mittauksessa 0,9 metriin (taulukko 3). Valtapituuden kehitys oli jokseenkin riippumaton taimikonharvennuksen ajankohdasta. Aikaisin harvennettujen koealojen valtapituuden keskiarvo neljännessä mittauksessa, 14,7 metriä, oli tosin 0,3-0,6 metriä suurempi kuin valtapituudella 6 tai 9 metriä harvennetuilla koealoilla.

Mitään selvää suuntaa harvennusvoimakkuuden vaikutuksesta valtapituuden kehitykseen ei havaittu. Ainoastaan myöhään harvennetuilla koealoilla saatiin tulos, että valtapituuden kasvu oli nopeinta normaalisti harvennetuilla koealoilla ja hitainta hyvin voimakkaasti harvennetuilla. Tämä lienee kuitenkin vain satunnaisvaihtelua.

3.2 Pohjapinta-alan ja tilavuuden kehitys

Puuston pohjapinta-alalla ja tilavuudella oli samantapainen kehitys harvennuksen ajankohdan ja voimakkuuden suhteen (taulukko 3). Korkein keskimääräinen pohjapinta-ala (26,6 m^2 ha^{-1}) ja tilavuus (175 m^3 ha^{-1}) neljännessä mittauksessa oli aikaisin ja lievästi harvennetuilla koealoilla (kuva 1a). Ero aikaisen ja normaalin harvennuksen välillä oli selvä, mutta normaalin ja myöhäisen harvennuksen välillä ei ollut eroa (kuva 1d-f). Harvennus 6 metrin valtapituudella antoi alhaisimman pohjapinta-alan ja tilavuuden, mikä saattoi johtua jonkin verran alhaisemmista valtapituuksista verrattuna aikaisin tai myöhään käsittelyihin.

Harvennuksen voimakkuuden vaikutus pohjapinta-alan ja tilavuuden kehitykseen oli odotusten mukainen (taulukko 3, kuva 1a–c). Mitä suurempi runkoluku oli harvennuksen jälkeen, sitä suurempi pohjapinta-ala ja tilavuus olivat myös neljännessä mittauksessa. Hyvin voimakas harvennus, 1000 puuta ha^{-1}, aiheutti selvän kasvutappion. Voimakkaan ja normaalin harvennuksen (1600 tai 2200 puuta ha^{-1}) välillä ei ollut selvää eroa (kuva 1a–c).

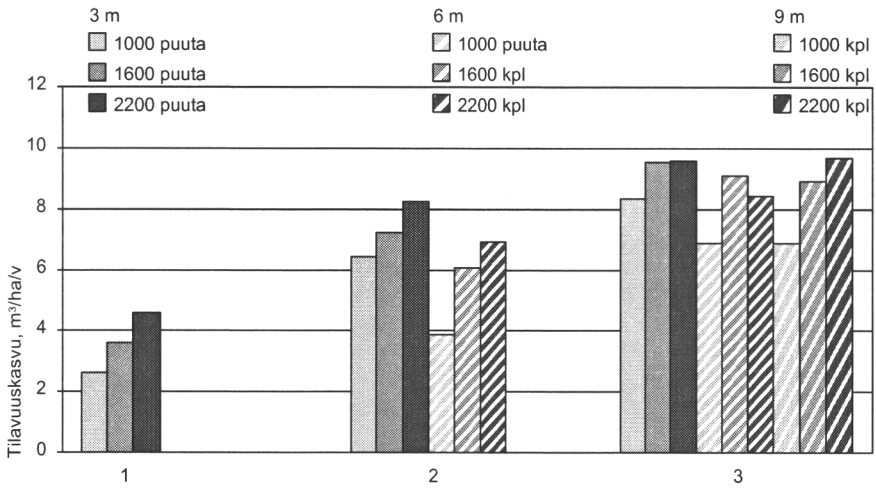


Kuva 1. Puuston tilavuus eri mittausajankohtina. a = taimikonharvennus kolmen metrin valtapituudella, b = taimikonharvennus kuuden metrin valtapituudella, ja c = taimikonharvennus yhdeksän metrin valtapituudella, d = taimikonharvennus tiheyteen 1000 puuta ha^{-1}, e = taimikon harvennus tiheyteen 1600 puuta ha^{-1}, f = taimikonharvennus tiheyteen 2200 puuta ha^{-1}.

Korkein keskimääräinen vuotuinen tilavuuskasvu (5,0 $m^3 ha^{-1} a^{-1}$) saavutettiin aikaisin ja normaalivoimakkuudelle harvennetuilla koealoilla, kun taas niillä käsittelyllä, joilla oli alhaisin kasvatettava puumäärä, keskimääräinen vuotuinen tilavuuskasvu tähän mennessä oli ainoastaan 3,1 $m^3 ha^{-1} a^{-1}$.

Kasvujakson vuotuinen tilavuuskasvu lisääntyi metsikön iän mukaan 23–25 vuoden seurantajakson aikana (kuva 2). Aikainen harvennus lisäsi tilavuuskasvua siten, että jokaisella kasvujaksolla ja kaikilla harvennusvoimakkuuksilla vuotuinen tilavuuskasvu oli sitä suurempi, mitä aikai-

semmin taimikko oli harvennettu. Poikkeuksen muodostivat lievimmin harvennetut koealat, joiden kasvun taso viimeisellä kasvujaksolla oli riippumaton käsittelyajankohdasta. Viimeisellä 11 vuoden kasvujaksolla tilavuuden vuotuinen kasvu oli aikaisin harvennetuilla koealoilla 2,5 m^3 ha^{-1} a^{-1} korkeampi kuin valtapituudella 6 tai 9 metriä harvennetuilla koealoilla (kuva 2).



Kuva 2. Kasvujakson keskimääräinen vuotuinen tilavuuskasvu, m^3 ha^{-1} a^{-1}. 1. kasvujakso = 5–7 vuotta, 2. kasvujakso = 6–7 vuotta, 3. kasvujakso = 11 vuotta.

Hyvin voimakas harvennus vähensi tilavuuskasvua merkittävästi, erityisesti ensimmäisen harvennusta seuraavan kasvujakson aikana. Erot olivat huomattavasti pienemmät seuraavien kasvujaksojen aikana. Hyvin voimakas harvennus vähensi tilavuuskasvua koko tarkastelujakson (23–25 vuotta) ajan. Sen sijaan harvennusvoimakkuudet 1600 ja 2200 puuta ha^{-1} eivät tilavuuskasvun suhteen juurikaan eronneet toisistaan (kuva 2).

3.3 Järeyden kehitys

Sekä harvennuksen voimakkuudella että ajankohdalla oli selvä vaikutus puuston keskiläpimittaan. Suurin pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta, 17,8 cm, oli neljännessä mittauksessa aikaisin ja hyvin voimakkaasti harvennetuilla koealoilla (taulukko 3). Osan keskiläpimitan eroista selitti harvennuksen aiheuttama puuston keskikoon suureneminen metsikkötasolla, mikä ei kerro paljoakaan yksittäisten puiden kasvu-

Taulukko 3. Metsikkötunnukset käsittelyittäin neljässä mittauksessa.

Ajankohta, m	3 m			6 m			9 m		
Voimakkuus, puuta ha^{-1}	1000	1600	2200	1000	1600	2200	1000	1600	2200
Mittaus	Valtapituus, m								
1	3,38[1)]	3,46[1)]	3,29[1)]						
2	5,54	5,63	5,46	4,71	5,52	6,02			
3	9,24	9,36	9,12	8,69	9,16	9,42	9,06	9,26	8,82
4	14,83	14,91	14,40	13,72	14,27	14,37	14,13	14,57	14,51
	Pohjapinta-ala, $m^2\ ha^{-1}$								
1	0,8[1)]	1,2[1)]	1,4[1)]						
2	5,5	6,6	8,2	2,7	5,5	6,4			
3	13,7	16,1	17,5	8,6	13,9	15,0	9,5	14,4	16,8
4	22,1	25,8	26,2	17,3	23,1	24,4	17,6	23,8	24.8
	Tilavuus, $m^3\ ha^{-1}$								
1	2,0[1)]	3,3[1)]	3,6[1)]						
2	17,5	21,3	26,0	7,7	17,0	20,0			
3	60,7	73,2	79,3	35,8	62,4	66,4	42,3	64,6	72,9
4	150,8	177,3	174,9	107,8	152,6	157,0	117,6	160,9	165,0
	Pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta, cm								
1	3,6[1)]	3,5[1)]	3,4[1)]						
2	8,9	8,0	7,4	6,5	7,3	7,5			
3	13,8	12,1	10,8	11,4	11,0	10,8	11,4	11,4	10,4
4	17,8	15,6	14,0	16,0	14,9	13,8	15,6	14,9	13,5
	Valtaläpimitta, cm								
1	4,8[1)]	4,1[1)]	4,8[1)]						
2	11,0	10,6	10,0	8,4	10,3	11,0			
3	17,0	15,7	14,1	14,5	15,1	15,0	14,1	15,2	14,7
4	21,8	20,4	18,5	19,9	19,8	18,7	19,4	19,9	18,9

1) Perustuu metsiköiden 1 ja 3 mittauksiin

reaktiosta. Valtaläpimitta kuvastaa keskiläpimittaa paremmin yksittäisten puiden harvennusreaktiota. Suurin valtaläpimitta, 21,8 cm, oli aikaisin ja hyvin voimakkaasti harvennetuilla koealoilla, jotka erosivat selvimmin muista. Muiden käsittelyjen välillä erot jäivät pienemmiksi, mutta lievimmin harvennetuilla koealoilla valtaläpimitta jäi kaikissa tapauksissa ainakin yhden senttimetrin muita käsittelyitä pienemmäksi.

3.4 Harvennuksen voimakkuuden ja ajankohdan vaikutus ulkoiseen laatuun

Ulkoisen laadun kuvaajana käytettiin paksuimman kuolleen oksan läpimittaa tyvitukin alueella neljän metrin matkalla puun tyvestä. Kaikissa käsittelyissä keskimääräinen elävän latvuksen alaraja ylitti neljännessä mittauksessa jo tyvitukin rajan. Oksat olivat keskimäärin paksuimpia

Taulukko 4. Ulkoisen laadun tunnukset käsittelyittäin neljännessä mittauksessa. Paksuin kuollut oksa mitattiin tyvitukin alueelta eli tyveltä neljän metrin korkeuteen.

Ajankohta, m		3 m			6 m			9 m	
Voimakkuus, puuta ha^{-1}	1000	1600	2200	1000	1600	2200	1000	1600	2200
Mittaus				Paksuin kuollut oksa, mm					
4	29,6	27,3	24,7	26,6	24,4	21,8	24,3	25,3	21,6
				Elävän latvuksen alaraja, m					
4	6,67	6,98	7,19	5,06	6,43	6,58	5,79	6,49	6,90
				Latvussuhde					
4	0,52	0,48	0,46	0,59	0,50	0,46	0,56	0,51	0,45
				Paksuin kuollut oksa 500 paksuimmalle puulle ha^{-1}, mm					
4	31,8	31,9	29,2	28,8	29,0	26,9	26,6	29,7	28,3
				Elävän latvuksen alaraja 500 paksuimmalle puulle ha^{-1}, m					
4	6,73	7,04	7,15	5,10	6,48	6,90	5,85	6,67	7,09
				Latvussuhde 500 paksuimmalle puulle ha^{-1}					
4	0,53	0,52	0,49	0,61	0,54	0,50	0,57	0,53	0,49

aikaisin harvennetuilla koealoilla (taulukko 4). Ero aikaisin ja normaalivaiheessa harvennettujen koealojen välillä oli noin kolme millimetriä ja aikaisin ja myöhään harvennettujen välillä 2–5 mm. Koska puun koko vaikuttaa suoraan oksan paksuuteen, vertailtiin paksuimpien oksien läpimittoja myös hehtaaria kohden 500 paksuimman puun joukolle, joka tulee muodostamaan päätehakkuupuuston. Myös näillä puilla aikainen harvennus tuotti paksuimmat oksat, keskimäärin 31 mm eli kolme millimetriä enemmän kuin normaali tai myöhäinen harvennus. Hyvin voimakas ja voimakas harvennus eivät eronneet toisistaan käytännöllisesti katsoen lainkaan, ja ohuimmiksi oksat jäivät lievimmän harvennuksen jälkeen.

Elävän latvuksen alaraja neljännessä mittauksessa, jolloin valtapituus oli 14–15 m, asettui 5–7 metrin korkeuteen,. Yllättäen ei löytynyt merkkiäkään siitä, että varhain harvennetuilla koealoilla olisi pitempi elävä latvus (taulukko 4). Päin vastoin aikaisin harvennetuilla koealoilla elävän latvuksen alaraja oli 0,6–0,9 m korkeammalla kuin myöhemmin harvennetuilla. Vaikka aikaisin harvennetuilla koealoilla puut olivat hieman pitempiä, oli latvussuhdekin niillä keskimäärin pienempi (0,49) kuin muilla (0,50–0,51).

Harvennuksen voimakkuudella oli selvä vaikutus elävän latvuksen alarajaan. Voimakkaimmin harvennetuilla koealoilla raja oli 0,3–1,5 m alempana kuin muilla koealoilla. Myös latvussuhde oli sitä suurempi, mitä voimakkaampi harvennus oli. Elävän latvuksen alaraja asettui korkeammalle, jos tarkasteltiin vain 500 paksuinta puuta ha^{-1}, mutta latvussuhde oli keskimäärin noin kolme prosenttiyksikköä suurempi, koska puut olivat keskimäärin pitempiä.

3.5 Poistuma, kuolleisuus ja kokonaistuotos

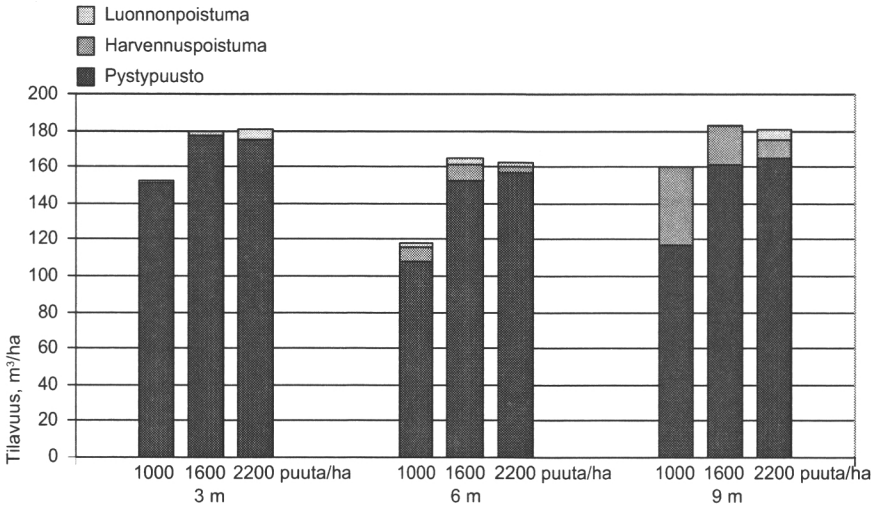
Aikaisin tehdyssä taimikonharvennuksessa, jolloin jäävän puuston tilavuus oli vain 2–4 $m^3 ha^{-1}$, harvennuspoistuman määrä oli merkityksetön. Toisessa mittauksessa eli valtapituudella 6 metriä poistuma vaihteli välillä 3–9 $m^3 ha^{-1}$, joka on vähemmän kuin nuoren metsän kunnostuksessa vaadittava tilavuus (taulukko 5). Kolmannessa mittauksessa, kun valtapituus oli noin 9 metriä, poistuma oli yli 40 $m^3 ha^{-1}$ hyvin voimakkaassa, yli 20 $m^3 ha^{-1}$ voimakkaassa ja yli 10 $m^3 ha^{-1}$ normaalissa harvennuksessa. Tällaisessa myöhästyneessä taimikonharvennuksessa saadaan siten jo kaupalliset mitat täyttävää puuta tai energiapuuta.

Luonnonpoistuman määrä vaihteli 0,3–3,0 $m^3 ha^{-1}$ (taulukko 5) viimeisen 11 vuoden mittausjakson aikana. Poikkeuksen muodostivat kaksi lievästi harvennettua koealaa, joista sekä aikaisin että myöhään harvennetuilla luonnonpoistuman määräksi mitattiin 5–6 $m^3 ha^{-1}$. Tämä voi johtua joko ylitiheydestä tai siitä, että puusto oli jo riukuuntunut.

Taulukko 5. Harvennuspoistuma valtapituudella 6 m ja 9 m harvennetuilla koealoilla. Luonnonpoistuma on laskettu 3. ja 4. mittauksen välillä kuolleiden puiden määränä.

Ajankohta, m		3 m			6 m			9 m	
Voimakkuus, puuta ha^{-1}	1000	1600	2200	1000	1600	2200	1000	1600	2200
Mittaus				Harvennuspoistuma, $m^3 ha^{-1}$					
2				8,04	8,83	2,94			
3							42,69	21,66	10,48
				Luonnonpoistuma, $m^3 ha^{-1}$					
3–4	1,55	2,07	6,16	2,32	2,91	2,07	0,29	0,85	4,82

Kun tarkasteltiin männiköiden kokonaistuotosta ensiharvennukseen mennessä, suurimman tilavuuden, 180 $m^3 ha^{-1}$, olivat tuottaneet sekä 3 että 9 metrin valtapituudella tiheyteen 1600 ja 2200 puuta ha^{-1} harvennetut koealat (kuva 3). Kuuden metrin valtapituudella harvennetut koealat jäivät kokonaistuotoksessa alimmalle tasolle.



Kuva 3. Kokonaistuotos käsittelyittäin neljännessä mittauksessa valtapituudella 14–15 m.

4 Tarkastelu

Tutkimuksen aineiston muodostavat kolme metsikköä edustivat tyypillisiä kylvettyjä ja istutettuja nuoria männiköitä Etelä-Suomessa. Ne muodostivat kasvupaikaltaan ja puuston tiheydeltään yhtenäisen ja homogeenisen koesarjan. Ruutukylvettyjen metsiköiden tiheys säädeltiin ennen kokeiden perustamista harventamalla kylvötuppaat 1970-luvun harvennusohjeiden mukaisesti. Kylvötuppaiden oikea-aikaista harvennusta ei tässä tutkimuksessa siten voitu perusteellisesti tutkia. Varmola ym. (1998) ovat suositelleet kylvötuppaiden harvennusajankohdaksi aikaisintaan viiden metrin keskipituutta. Jos kylvötuppaiden viimeiset harvennukset tässä tutkimuksessa olisi tehty vasta 9 metrin valtapituudella, käsittelyjen väliset erot olisivat olleet paljon suuremmat ja selvemmät.

Aikaisin harvennetuilla koealoilla välipituusmenetelmällä (Hägglund 1976) lasketut pituusboniteetit olivat jonkin verran korkeampia kuin muilla koealoilla (taulukko 2). Tämä viittaisi siihen, että pituuskasvu olisi saattanut kiihtyä aikaisen noin kolmen metrin valtapituudella tehdyn harvennuksen seurauksena. Vestjordet (1977) ja Varmola (1982) ovat puolestaan esittäneet tuloksia siitä, että männyn pituuskasvu vähenee 2–3 vuotta taimikonharvennuksen jälkeen. Pituuskasvun väheneminen kompensoituu heidän mukaansa kuitenkin lisääntyneenä pituuskasvuna muutamaa vuotta myöhemmin.

Pituusboniteettiestimaattien perusteella voidaan arvioida, että valtapuiden pituuskasvu ei ole aikaisen harvennuksen jälkeen ainakaan taantunut. Saman tuloksen vahvistavat valtapituusarvot neljännessä mittauksessa. Koemetsikössä 1 valtapuiden pituuskehitys oli kuitenkin jonkin verran hitaampi kuin muissa metsiköissä. Melko voimakas versosurmaepidemia vaivasi metsikköä 1 ensimmäisellä kasvujaksolla, joka lienee vaikuttanut puiden pituuskasvuun.

Tulokset taimikonharvennuksen vaikutuksesta männikön pohjapinta-alan ja tilavuuden kehitykseen olivat samanlaisia kuin monissa muissakin pohjoismaisissa tutkimuksissa (esim. Vestjordet 1977, Parviainen 1978, Pettersson 1993, Nilsson ja Albrektsson 1994). Huomattavaa on kuitenkin varhaisen taimikonharvennuksen merkitys tilavuuden kehitykselle ja se, että valtapituudella 6 ja 9 m harvennetut koealat eivät ensiharvennusvaiheessa poikenneet toisistaan pohjapinta-alan tai tilavuuden suhteen. Erittäin voimakas harvennus, 1000 puuta ha^{-1}, aiheutti selvän tilavuuden ja tilavuuskasvun vähenemisen, kun taas kaksi lievempää käsittelyä, 1600 ja 2200 puuta ha^{-1}, antoivat tulokseksi hyvin samanlaisen tilavuuden kehityksen. Vuotuinen tilavuuskasvu näytti olevan suoraan riippuvainen kasvatettavan puuston määrästä harvennuksen jälkeen, mutta myöhemmin harvennusvoimakkuuksien väliset erot hävisivät suurimmaksi osaksi (kuva 2).

Aikainen harvennus tuotti puihin paksuimpia oksia, mutta ero keskimääräisissä oksanpaksuuksissa oli vain kolme millimetriä verrattuna myöhempiin harvennuksiin. Päin vastoin kuin tilavuuskehityksessä harvennusvoimakkuuksien 1000 puuta ha^{-1} ja 1600 puuta ha^{-1} välillä ei ollut eroa. Varmolan (1996) päätelmät kylvötaimikoiden harvennusajankohdan vaikutuksesta oksanpaksuuksiin olivat samanlaiset kuin tämän tutkimuksen tulokset.

Elävän latvuksen alaraja oli yllättäen korkeammalla aikaisen harvennuksen jälkeen. Syytä tähän ei kyetty löytämään. Kellomäen ym. (1992) mukaan männyn oksat karsiutuvat hyvin säännönmukaisesti ja oksien kuoleminen riippuu pääasiassa oksankiehkuran sijainnista. Edelleen Kellomäki ym. (1992) toteavat, että puuston tiheydellä on vain hyvin

lievä vaikutus elävien oksakiehkuroiden määrään. Tämä tutkimus osoitti, että harvassa kasvaneilla puilla vihreä latvus oli selvästi pitempi kuin tiheämmässä kasvaneilla puilla.

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että aikainen harvennus lisäsi männikön pystypuuston tuotosta ensiharvennukseen mennessä. Jos otettiin huomioon myös taimikonharvennuksessa poistettu puusto, niin myös myöhäinen harvennus osoittautui kilpailukykyiseksi vaihtoehdoksi. Heikoimmaksi vaihtoehdoksi osoittautui harvennus kuuden metrin valtapituudella. Syynä saattoi olla toisaalta se, että kolmen metrin valtapituudella harvennetut koealat olivat hyötyneet tarpeeksi paljon ja pitkään kasvutilan lisääntymisestä ja toisaalta se, että yhdeksän metrin valtapituudella harvennetut koealat olivat kyenneet pitkään hyödyntämään tiheää kasvatusasentoa kokonaistuotoksen hyväksi. Nuorissa metsissähän tilavuuskasvu lisääntyy melko selvästi runkoluvun lisääntyessä aina 4000 puun hehtaaritiheydelle saakka (Varmola 1996).

Vuokilan ja Väliahon (1980) mukaan runkoluvulla 2000 puuta ha^{-1} yhden metrin ero valtapituudessa merkitsee 32 m^3 eroa puuston hehtaaritilavuudessa männikön lähestyessä ensiharvennusvaihetta. Näin ollen pienetkin erot valtapituudessa vaikuttavat suuresti puuston tilavuuteen ja käsittelyajankohtien erot voivat enimmäkseen selittyäkin valtapituuseroilla.

Voimakas harvennus 1000 puun hehtaaritiheyteen merkitsee aina selvää tuotostappiota ja mäntyjen heikompaa teknistä laatua lievempiin käsittelyihin verrattuna. Sen sijaan 1600 ja 2200 puun hehtaaritiheyksillä ei ole eroa tuotoksessa ja laatuerotkin ovat hyvin vähäiset. 1600 puun hehtaaritiheys antaa mahdollisuuden normaalia myöhäisempään ensiharvennukseen.

Kirjallisuus

Cajander, A.K. 1949. Metsätyypit ja niiden merkitys. Forest types and their significance. Acta Forestalia Fennica 56. 69 s.

Hägglund, B. 1976. Skattning av höjdboniteten i unga tall- och granbestånd. Summary: Estimating site index in young stands of Scots pine and Norway spruce in Sweden. Skogshögsskolan, Institutionen för Skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser 39. 66 s.

Kellomäki, S., Lämsä, P., Oker-Blom, P. & Uusvaara, O. 1992. Männyn laatukasvatus. Silva Carelica 23. 133 s.

Nilsson, U. & Albrektsson, A. 1994. Growth and self-thinning in two young Scots pine stands planted at different initial densities. Forest Ecology and Management 68: 209–215.

Parviainen, J. 1978. Taimisto- ja riukuvaiheen männikön harvennus. Referat: Durchforstung im Kiefernbestand in der Jungwuchs- und Stangenholzphase. Folia Forestalia 346. 40 s.

Pettersson, N. 1993. The effect of density after precommercial thinning on volume and structure in Pinus sylvestris and Picea abies stands. Scandinavian Journal of Forest Research 8: 528–539.

Thernström, P.-O. 1982. Några resultat från sex röjningsförsök med röjning i tallungskog vid olika beståndsålder. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogsproduktion. Examenarbete 3. 69 s.

Varmola, M. 1982. Taimikko- ja riukuvaiheen männikön kehitys harvennuksen jälkeen. Summary: Development of Scots pine stands at the sapling and pole stages after thinning. Folia Forestalia 524. 31 s.

— 1996. Nuorten viljelymänniköiden tuotos ja laatu. Abstract: Yield and quality of young Scots pine plantations. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja. 585. 70 s. + 6 liitettä.

— , Kolström, T. & Mehtätalo, E. 1998. The effect of release cutting on the growth and external quality of the dominant trees in a *Pinus sylvestris* stand established by spot sowing. Scandinavian Journal of Forest Research 13: 151–159.

Vestjordet, E. 1977. Avstandsregulering av unge furu- og granbestand: I: Materiale, stabilitet, dimensjonfordeling m.v. Summary: Precommercial thinning of young stands of Scots pine and Norway spruce: I: Data stability, dimension distribution, etc. Norsk Institutt for Skogforskning 33: 314–436.

Vuokila, Y. 1972. Taimiston käsittely puuntuotannolliselta kannalta. Summary: Treatment of seedling stands from the viewpoint of production. Folia Forestalia 141. 36 s.

— & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. Communicationes Instituti Forestales Fenniae 99(2). 271 s.

Puuston valtapituuskehitys rämekasvupaikkojen kuvauksessa

Hannu Hökkä

Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema,
PL 16, 96301 Rovaniemi

hannu.hokka@metla.fi

1 Johdanto

Luonnontilaisten soiden kasvupaikkoja on perinteisesti Suomessa luokiteltu pintakasvillisuuden koostumuksen perusteella (Cajander 1913, Tuomikoski 1950, Heikurainen 1968, Laine ja Vasander 1990). Soilla kasvillisuuden koostumukseen vaikuttaa ravinteisuuden lisäksi kasvupaikan kosteus. Suotyypeiksi on määritetty näiden kahden ulottuvuuden suhteen yhtenäisiä, toisistaan poikkeavia kasviyhdyskuntia (ks. esim. Heikurainen ja Pakarinen 1982, Reinikainen 1988). Tästä syystä luonnontilaiset suotyypit eivät muodosta selkeää yksiulotteista jatkumoa karusta ravinteiseen, joka voidaan todeta metsätyypeillä. Ravinteisuuseroista johtuvia tuotoseroja suotyyppien välillä voidaan toki osoittaa (Gustavsen ja Päivänen 1986).

Luonnontilaisten soiden puuntuotoskyvyn vaihtelua enemmän mielenkiinnon kohteena on ollut soiden tuotoskyky ojitettuina (esim. Lukkala 1929, Huikari 1952, Heikurainen 1959). Kun suo ojitetaan, kosteusvaihtelun merkitys luonnollisesti vähenee. Ojitettujen soiden kasvillisuuden vaihtelun on todettu supistuvan kuvastamaan kasvupaikkojen eroja viljavuudessa (Reinikainen 1988). Puuntuotoskyvyn kannalta esimerkiksi kuivatusasteen kuljettaminen mukana alkuperäisen suotyypin tarkenteena (vrt. Sarasto 1957) on tarpeettoman yksityiskohtaista luokittelua. Laine (1989) kuvasi seitsemän ojitettujen soiden kasvupaikkaa eli turvekangastyyppiä. Niiden määrittelyssä käytettiin hyväksi kasvupaikkojen ravinteisuuserojen lisäksi alkuperäisten suotyyppien toiminnallisia eroja (Eurola ja Huttunen 1990) eli erotettiin toisistaan ojittamattomina vähäpuustoiset sekatyypit ja aidot metsäiset suot (Laine 1989).

Varmola, M. & Tapaninen, S. (toim.). 2001. Pohjoisten metsien hoito. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 803: 119–132.

Puuntuotoskyvyn ilmentämisessä kasviyhdyskuntiin perustuvan luokituksen ongelmana on luokkien määrityksen subjektiivisuus ja informaation käyttö tuotosennusteissa. Luokkaväli voi vaihdella, ja luokkien sisällä on runsaasti vaihtelua (ks. Hökkä ja Penttilä 1999). Puulajisuhteet ja metsänkäsittelymenetelmät vaikuttavat määritykseen. Näistä syistä kasvupaikan tuotoskyvyn arviointiin on maailmalla yleisimmin käytetty pituusbonitontimentelmää (nk. site index -menetelmä). Pituusbonitointi perustuu oletukseen, että samanlainen valtapituuden kehitys ilmentää samanlaista tuotoskykyä. Pituusboniteetin määrittäminen mitatun valtapituuden ja iän avulla on objektiivista ja tarjoaa jatkuvalla asteikolla mitatun ennusteen kasvupaikan puuntuotoskyvystä (Clutter ym. 1983, Ojansuu 1996a). Pituusboniteetteja on laadittu Suomessa kivennäismaiden männylle, kuuselle ja koivulle (Gustavsen 1980, Gustavsen ja Mielikäinen 1984). Luonnontilaisten suokasvupaikkojen pituusbonitointia ei ole tutkittu Suomessa, sen sijaan Kanadassa on laadittu site index -käyriä myös soille (esim. Payandeh 1978, 1991). Gustavsenin (1994) tutkimus on toistaiseksi ainoa, jossa ojitusalueiden kasvupaikoilla on sovellettu perinteistä valtapituusbonitointia. Siinä kasvupaikat luokiteltiin niiden ojituksen jälkeisen pituuskehityksen perusteella.

Myös pituusboniteetilla on puutteita (Ojansuu 1996a). Jos puustoa ei ole, ei bonitointia voi tehdä. Se ei myöskään käytä hyväksi kasvupaikkamuuttujien sisältämää informaatiota. Ilmeistä on, että tarkempaan arvioon tuotoskyvystä päästään käyttämällä kaikkea saatavilla olevaa tietoa kasvupaikan ominaisuuksista puustosta mitatun valtapituuspituusboniteetin lisänä (Tamminen 1994).

Ojitettujen soiden bonitointia – tapahtuipa se sitten kasvillisuuden tai valtapituuden perusteella – vaikeuttavat kasvupaikan vähittäinen kuivuminen ja myöhempi vesitalouden sekä mahdollinen ravinnetalouden vaihtelu (Hökkä ja Penttilä 1999). Kasvillisuusluokkia on vaikea määritellä, jos kasviyhdyskuntien koostumus muuttuu kuivumissukkession edetessä. Kasvupaikan ominaisuuksien pysyvyys taas on edellytys sille, että puiden pituuskehitys edes kohtuullisesti seuraa jotain ennustettavaa trendiä eikä vaihtele suuresti kiertoaikana.

Tässä artikkelissa kuvataan se lähestymistapa ja menetelmä, jolla ojitusalueiden kasvupaikkaluokittelua ollaan kehittämässä ensi vaiheessa rämemänniköille. Menetelmä noudattaa Ojansuun (1996a, 1996b) esittämiä kasvupaikan kuvauksen periaatteita.

2 Pituusbonitoinnin soveltuvuus suometsiköihin

2.1 Pituusbonitointi kasvupaikkaluokittelussa

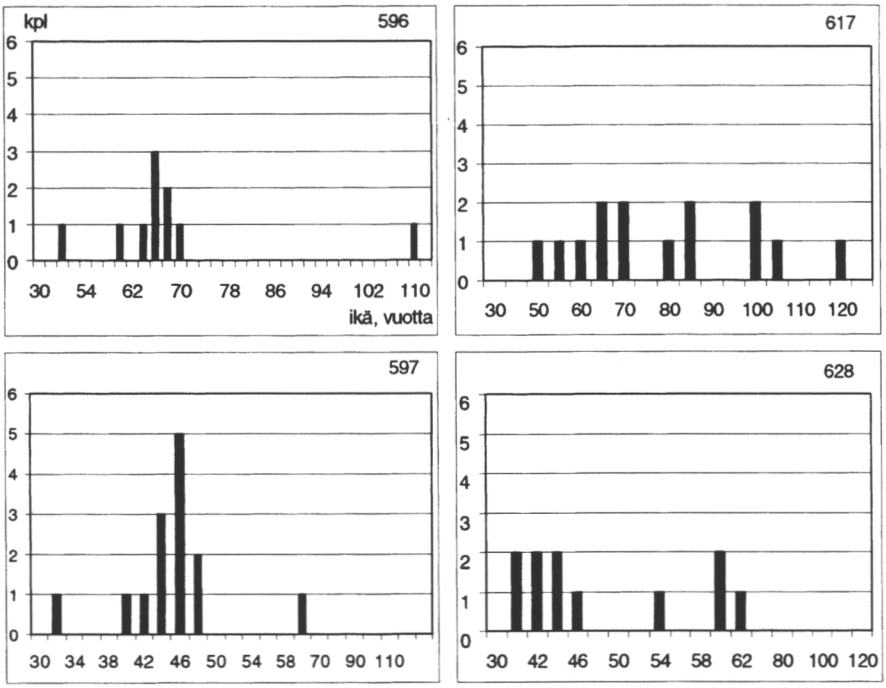
Valtapituusboniteetin käyttö kasvupaikan puuntuotoskyvyn kuvaajana perustuu havaintoon, että metsikön valtapituuskehitys ja tilavuustuotos ovat kiinteässä korrelaatiossa keskenään. Yleisesti pituusbonitoinnin sovellusalueeksi rajataan tasaikäiset, alaharvennetut ja häiriöttömästi kehittyneet metsiköt (esim. Clutter ym. 1983). Näissä metsiköissä valtapuiden pituuskehitys kuvaa kasvupaikan tuotoskykyä, koska niiden kasvua ei ole rajoittanut muiden puiden kilpailu, ja alaharvennusperiaatteella tehdyissä kasvatushakkuissa jäävä puusto on aina valtapuustoa. Seuraavassa näiden oletusten pitävyyttä on käyty läpi ojittamattomien ja ojitettujen rämeiden osalta.

2.2 Puuston rakenne ja hakkuiden vaikutus pituuskehitykseen

Luonnontilaisten suometsiköiden puustot ovat tunnetusti erikokoisrakenteisia (Heikurainen 1971, Gustavsen ja Päivänen 1986). Tämän perusteella suometsien voi olettaa olevan myös ikänsä puolesta erirakenteisia (Paavilainen ja Päivänen 1995), joskaan puiden ikävaihtelua ei ole Suomessa tutkittu. Kanadan mustakuusisoilta löytyi eri-ikäisten metsiköiden ohella runsaasti metsiköitä, jotka olivat melkein tasaikäisiä katastrofaalista tuhoa seuranneen uudistumisen tuloksena (Groot ja Horton 1994).

Soilla valtapuiden ikävaihtelu ei välttämättä ole kovin suuri. Tässä valtapuilla ymmärretään Ojansuun (1996b) määritelmän mukaisia valtapuita eli kaikkia niitä puita, jotka ovat yhtä paksuja tai paksumpia kuin pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta. Iällä tarkoitetaan rinnankorkeusikää. Kuvassa 1 on SINKA-aineistoon (Penttilä ja Honkanen 1986) perustuvia esimerkkejä luonnontilaisilta rämeiltä, joilla valtapuuston mäntyjen ikävaihtelu on osassa varsin suppea (20–30 v.). Joissakin metsiköissä voi olla yksittäisiä vanhempia puita, tai sitten joissakin puiden ikäjakauma voi olla hyvin laaja (yli 60 v).

Yhteensä 49 luonnontilaisen rämemetsikön otoksesta laskettu iän keskihajonta metsikön sisällä selvästi kasvaa metsikön keski-iän kasvaessa, ts. keski-iältään vanhoissa metsiköissä valtapuustoon kuuluu enemmän sekä nuorempia että erityisen vanhoja puita kuin nuoremmissa (kuva 2a). Pituuden keskihajonnan ja metsikön keskipituuden välillä ei kuitenkaan ole yhtä selvää riippuvuutta (kuva 2b). Koska luonnontilaisilla soilla pituusboniteetit jäävät hyvin alhaiseksi hitaan pituuskasvun vuoksi, voi valtapuuston ikävaihtelu vanhemmiten olla laajakin mutta pituus-

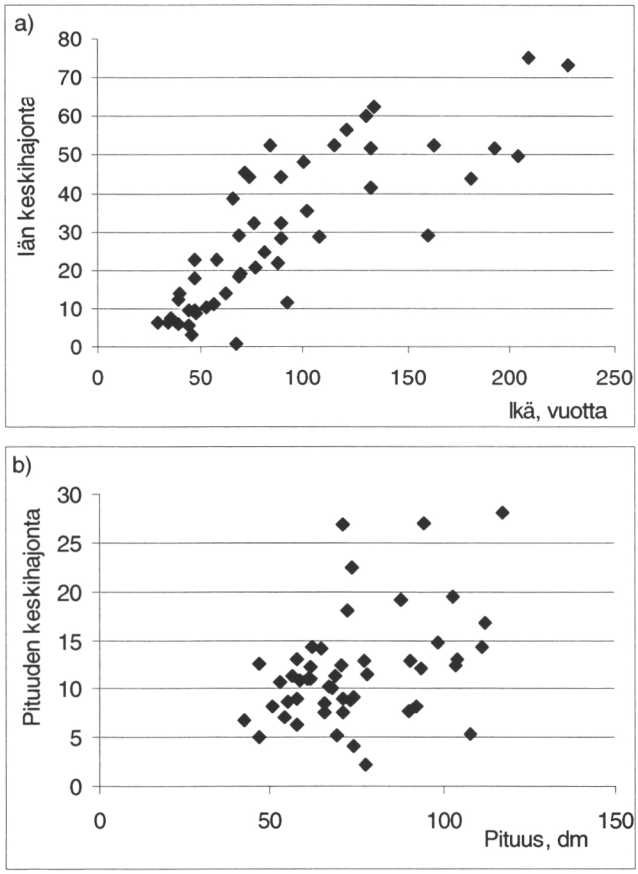


Kuva 1. Koepuiden jakautuminen iän suhteen neljässä esimerkkimetsikössä (596, 597, 617 ja 628) SINKA-aineiston luonnontilaisilla rämeillä.

vaihtelu silti varsin vähäinen. Voidaan siis päätellä, että suuresta ikävaihtelusta huolimatta em. tavalla määritetty valtapuusto sisältää metsikön pisimmät puut.

Luonnontilaisten rämeiden metsiköt ovat harvoja ja niiden hakkuutarve vähäinen (Gustavsen ja Päivänen 1986). Mahdollisissa poiminnanluonteisissa hakkuissa poistetaan suurimpia puita, jotka yleensä ovat iäkkäimpiä. Laajan ikävaihtelun ja valtapuiden pienen pituusvaihtelun vuoksi on todennäköistä, että myös hakkuun jälkeen on valtapuita jäljellä. Koska metsiköt ovat luontaisesti harvoja, ei jäävän puuston pituuskehitys myöskään ole kärsinyt suurempien puiden kilpailusta.

Puiden ikävaihtelu ojitetuilla rämeillä periytyy ojitusta edeltävästä tilanteesta eli valtapuiden ikävaihtelu on suuri mutta pituusvaihtelu selvästi vähäisempi. Ojitus todennäköisesti lisää koko metsikön ikävaihtelua, koska nuoret puut regoivat paremmin ojitukseen (Seppälä 1968). Vajaapuustoisissa metsiköissä tapahtuu kynnyskasvua ja uusien puiden syntymistä (Hökkä ja Laine 1988). Uudistuminen ja kynnyskasvu eivät



Kuva 2. Koepuiden iän keskihajonta iän suhteen (a) ja valtapituuden keskihajonta valtapituuden suhteen (b) SINKA-aineiston luonnontilaisilla rämeillä.

kuitenkaan vaikuta valtapuustoon, mutta on odotettavaa, että valtapuiden joukko vaihtelee kiertoaikana enemmän kuin keskimäärin kivennäismailla (ks. Zeide ja Zakrzewski 1992).

Ojitettujen soiden kasvatushakkuut ovat pääasiassa alaharvennuksia, tosin ojituksen yhteydessä on voitu tehdä nk. kunnostushakkuita, joissa on poistettu elpymiskyvyttömäksi arvioitua yli-ikäistä puustoa. Näiden hakkuiden yleisyydestä ei ole tietoa. Voitaneen kuitenkin olettaa, ettei kaikkea valtapuustoa ole ojitettaessa säännönmukaisesti poistettu, pikemminkin hakkuut lienevät poikkeuksellisia tapahtumia.

Edellä todetun perusteella suometsien erikokoisrakenteella ja tehdyillä metsänhoidollisilla hakkuilla ei pitäisi olla paljon merkitystä ikä-valtapituus-riippuvuuden määrittämisessä.

2.3 Ojituksen vaikutus pituuskehitykseen

Ojitusalueilla merkittävin pituusbonitoinnin soveltamisen rajoite liittyy häiriöttömään pituuskehitykseen metsikön kehityksen aikana. Kivennäismailla häiriöllä useimmiten tarkoitetaan mahdollista poikkeavan hidasta alkukehitystä, joka voi myöhemmin boniteettia määritettäessä johtaa liian heikkoon boniteettiluokkaan. Kiertoaikana tapahtuvat muutokset kasvupaikan ominaisuuksissa johtavat samalla tavalla virheeseen boniteettia ennustettaessa. Luonnontilaisella suolla ei ole todennäköistä, että kasvupaikka olennaisesti muuttuisi 100–150 vuoden jaksolla, joten valtapuiden pituuden tulisi siis noudattaa iänmukaista ennustettavaa trendiä.

Ojitus aiheuttaa muutoksen suopuiden pituuden ja läpimitan kasvussa. Läpimitan kasvu elpyy männyllä välittömästi, kuusella muutaman vuoden sisällä (Seppälä 1969). Pituuskasvun elpyminen vie hieman kauemmin (Heikurainen 1973). Kun suo ojitetaan, pohjavesi alenee hyvin nopeasti, jopa ensimmäisen kesän aikana, ojitustehon määräämälle alemmalle tasolle. Puiden kasvussa elpymisvaihe kestää kuitenkin useita vuosia, koska puiden on läpikäytävä tiettyjä fysiologisia muutoksia, ennen kuin ne voivat täysipainoisesti käyttää lisääntyneitä kasvuresursseja runkopuun tuotantoon.

Voidaan ajatella, että ojitetulla suolla puiden pituuskehitys koostuu kahdesta osasta: kehitysjaksosta ojittamattomana ja kehitysjaksosta ojituksen jälkeen. Perusedellytys soiden pituuskehityksen kuvaukselle on, että sekä kehitys ojittamattomana että ojituksen aiheuttamaa kasvupaikan ominaisuuksien muutosta seuraava pituuskasvun lisääntyminen sisältyvät kuvaukseen loogisesti.

3 Aineisto

Tutkimuksessa käytettiin nk. SINKA-aineistoa (Penttilä ja Honkanen 1986), joka koostuu VMI7:n otantakehikkoon perustuvista pysyvistä, toistuvasti mitatuista turvemaiden kasvukoealoista. Jokaiseen SINKA-metsikköön on sijoitettu kolme ympyräkoealaa 40 metrin välein. Koealalta on mitattu noin 30 lukupuuta ja samakeskiseltä pienemmältä ympyrältä noin 10 koepuuta. Tämän tutkimuksen kannalta oleellisia mittauksia ovat puiden ikä- ja pituusmittaukset. Koepuista on kairattu rinnankorkeudelta lusto ytimeen, jonka avulla on laskettu koepuun ikä.

Jokaisen ojitetun metsikön ojitusvuosi on selvitetty ojitusasiakirjoista. Metsiköistä on lisäksi mitattu ja mittauksista edelleen johdettu lukuisa joukko kasvupaikka- ja puustotunnuksia.

Kaikkiaan rämeiden aineistoon kuului 49 luonnontilaista ja noin 200 ojitettua metsikköä, joissa oli yhteensä lähes 2500 valtapuuta. Ojittamattomat metsiköt sijaitsivat kaikki Lapin läänin alueella, ojitettuja taas oli Lapin ja Oulun läänin alueelta. Metsiköt edustivat Huikarin (1952) ravinteisuusluokkia 1–4.

4 Männyn pituuskehityksen kuvaaminen rämeillä

4.1 Periaate

Luonnontilaisilla soilla voidaan olettaa metsikön valtapituuden (H) olevan ensi sijassa metsikön iän (T) funktio:

$$H = a*T, \quad (1)$$

missä a on iän kerroin, ja pituuden ja iän välinen riippuvuus on oletettu lineaariseksi (linearisoiduksi). Kun alunperin puustoinen suo ojitetaan, muuttuvat kasvupaikan ominaisuudet ja sen seurauksena myös myöhempi pituuskehitys. Olettamalla ojitusvaikutuksen olevan yhteenlaskettavissa, ojituksen jälkeen havaittu pituus saadaan summana ojitushetkeen (T0) mennessä saavutetusta pituudesta ja ojituksen jälkeen tapahtuneesta pituuden lisäyksestä, jonka puolestaan voi olettaa olevan ensisijaisesti ojituksesta kuluneen ajan (T-T0) funktio. Ojitetun suon valtapuiden pituus voidaan siis esittää seuraavasti:

$$H = a*(T0) + b*(T-T0), \quad (2)$$

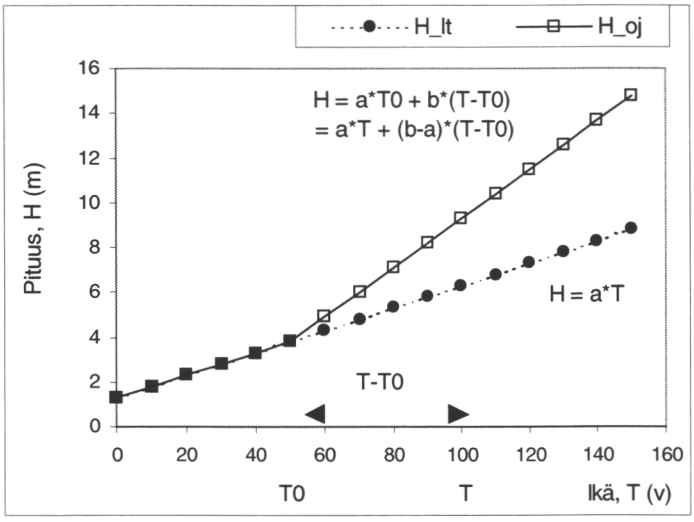
missä b on ojituksesta kuluneen ajan kerroin (kuva 3). Yhtälö (2) voidaan kirjoittaa muotoon:

$$H = a*(T) + (b-a)*(T-T0) \quad (3)$$

missä (b-a) on ojitusvaikutusta kuvaava kerroin. Kun merkitään ojittamattomille T-T0 = 0, voidaan yhtälöllä 3 kuvata sekä ojitettujen että ojittamattomien soiden valtapuuston pituuden kehitys iän ja ojituksesta kuluneen ajan funktiona (kuva 3). Lisäksi edellisessä oletetaan, että kasvupaikka muuttuu paremmaksi välittömästi ojituksen jälkeen ja muutos kasvussa on riippumaton iästä.

4.2 Malli

Seuraavassa pituuskehityksen kuvauksen periaate on esitetty mallina, johon perinteisen ikä-pituus-riippuvuuden ohella on otettu mukaan muiden kasvupaikkamuuttujien sekä kilpailumuuttujien sisältämä informaatio (Ojansuu 1996b).



Kuva 3. Periaatekuva ojittamattoman (lt) ja ojitetun (oj) suon valtapuiden pituuskehityksestä iän ja ojituksesta kuluneen ajan funktiona (ks. yhtälöt 2 ja 3).

Luonnontilaisilla soilla valtapuiden pituuskehityksen oletettiin noudattavan samaa logaritmista muotoa kuin Ojansuun (1996b) kuvaamassa kivennäismaiden pituuskehitysmallissa:

$$\ln(h_{ik} - 1{,}3) = A_{ik} + B \cdot T_k^C + V_k + e_{ik} \qquad (4)$$

missä

h_{ik} = puun i pituus metsikössä k
T_k = metsikön k valtapuiden rinnakorkeuden keski-ikä
A_{ik} = pituuskehityksen tasoparametri
B, C = pituuskehityksen muotoparametreja
V_k = metsikön k satunnaisvaikutus
e_{ik} = puun i satunnaisvaikutus metsikössä k.

Parametrille C etsittiin sopiva arvo kokeilemalla. Parametrien A ja B oletettiin olevan kasvupaikkatunnusten (esim. maantieteellinen sijainti ja kasvupaikkaluokka) sekä puustotunnusten (kilpailuasema) funktioita.

Ojitettujen ja ojittamattomien soiden valtapuiden pituuskehityksen kuvaaminen samalla mallilla edellyttää, että malliin 4 lisätään termi, jossa pituus kuvautuu ojituksesta kuluneen ajan funktiona (vrt. yhtälö 3):

$$\ln(h_{ik} - 1{,}3) = A_{ik} + B \cdot T_k^C + G_k \cdot (T_k - T0_k) + V_k + e_{ik} \quad (5)$$

missä $G_k \cdot (T_k - T0_k)$ kuvaa ojituksen jälkeistä pituuskehitystä.

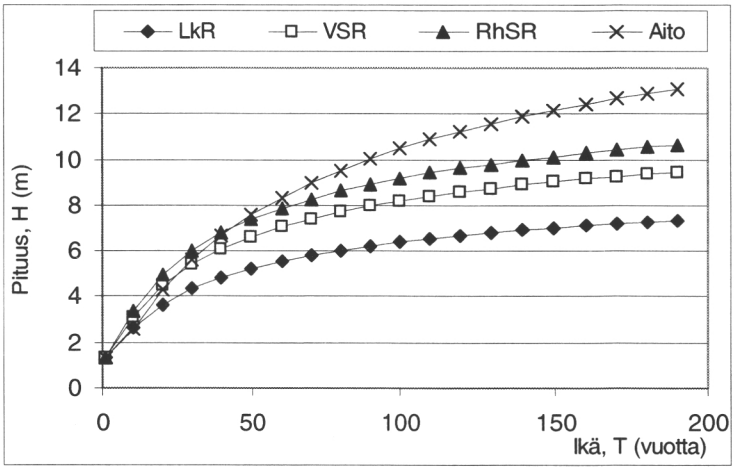
Malliin 5 sisältyvät oletukset ojitusvaikutuksen riippumattomuudesta, puuston iästä ja siitä, että kasvupaikka muuttuu välittömästi ojituksen jälkeen, ovat hyvin rajoittavia ja osin aiempien tutkimustulosten vastaisia. Ojituksen jälkeisen pituuskehityksen kuvaukseen tuleekin sisällyttää puuston ojitushetken iän vaikutus myöhempään kehitykseen sekä viive puiden pituuskasvun elpymisessä.

5 Kasvupaikkatekijöiden vaikutus pituuskehitykseen

Mallin avulla saadut päätulokset kasvupaikkatekijöiden vaikutuksesta on esitetty tässä tiivistetysti. Mallin vakion, eli tasoparametrin A, vaihtelua selitettiin kasvupaikkatunnuksilla. Maantieteellisen sijainnin vaikutusta pituuskehitykseen kuvasi se, että korkeammalla lämpösummalla valtapituus samassa ikävaiheessa oli suurempi. Suotyyppien (Heikurainen ja Pakarinen 1982) avulla muodostetuilla dummymuuttujilla voitiin malliin sisällyttää informaatiota paitsi ravinteisuudesta myös erotella aidot ja nevaiset suotyypit. Lettorämeet ja ruohoiset sararämeet olivat hieman parempia ja vastaavasti lyhytkortiset rämeet (joka oli aineiston karuin rämekasvupaikka) heikompia kuin muut kasvupaikat. Mainitut suotyypit ovat kaikki nevamaisia sekatyyppejä Laineen ja Vasanderin (1990) mukaan. Aidot rämeet (korpirämeet, pallosararäme ja kangasräme) kuuluvat ravinteisuusluokkiin 3 ja 4 (Huikari 1974) ja luokkana poikkesivat selvästi ylöspäin kaikista nevamaisista rämeistä pituuskehityksen tason suhteen.

Asettamalla parametri B kasvupaikkamuuttujien funktioksi voitiin iänmukaista pituuskehityksen muotoa säädellä. Suuret erot kasvupaikan vesitaloudessa aiheuttavat aitojen ja nevamaisten suotyyppien välille merkittävän eron myös puiden kehitysrytmissä. Ojittamattomilla nevamaisilla rämeillä pituuskehitys kulminoituu aikaisin ja käytännössä pysähtyy kokonaan tietyssä ikävaiheessa. Aitorämeillä taas puiden pituuskehitys voi jatkua huomattavasti pitempään, mikä voidaan havaita kookkaampana ja tiheämpänä puustona näillä kasvupaikoilla.

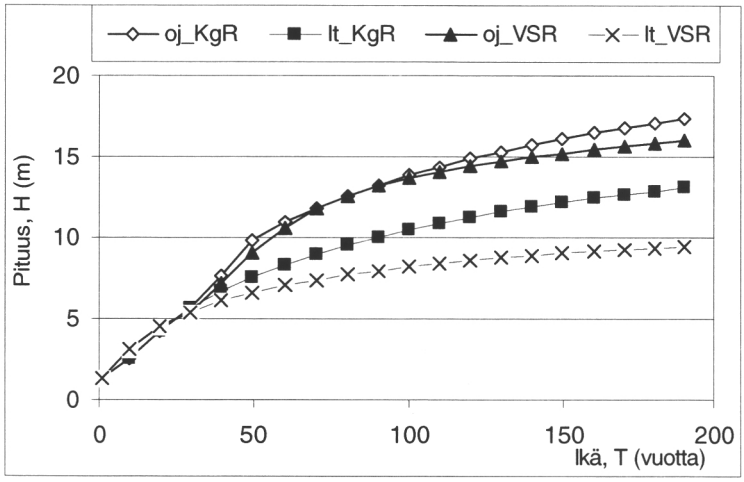
Kuvassa 4 on havainnollistettu edellä kuvattujen kasvupaikkaa kuvaavien muuttujien vaikutusta rämemäntyjen pituuteen ojittamattomilla soilla, kun lämpösumma on 1000 d.d.



Kuva 4. Valtapuiden pituuskehityskäyriä ojittamattomilla soilla SINKA-aineiston eri kasvupaikoilla, kun lämpösumma on 1000 d.d. °C.

Eroista aitojen ja nevamaisten rämeiden välillä pituuskehityksen rytmissä seuraa, että kun suo ojitetaan, tulee myös ojituksen jälkeinen pituuskehitys todennäköisesti olemaan näillä tyyppiryhmillä erilainen. Nevamaisilla rämeillä ojitus aiheuttaa huomattavasti suuremman muutoksen kasvupaikan vesitaloudessa kuin jo luonnontilaisina suhteellisen kuivilla aidoilla rämeillä. Tämän vuoksi ojituksenjälkeistä pituuskehitys on erilainen eri tyyppiryhmillä.

Kuvassa 5 on esimerkki keskimääräisestä valtapituus-ikä riippuvuudesta varsinaisella sararämeellä (VSR) ja kangasrämeellä (KgR), jotka molemmat on ojitettu valtapuuston 30 vuoden iässä lämpösummalla 1000 d.d. Esimerkissä ojituksen jälkeinen pituuskehitys on estimoitu eri muotoisena nevamaisille (VSR) ja aidoille (KgR) rämeille. Suotyyppiryhmittäisellä estimoinnilla saatu malli sopi aineistoon huomattavasti paremmin kuin yhtenä ryhmänä estimoitu malli.



Kuva 5. Esimerkki valtapuiden pituuskehityksestä varsinaisella sararämellä ja kangasrämellä ennen ojitusta ja 30 vuoden iässä tehdyn ojituksen jälkeen lämpösumma-alueella 1000 d.d. °C.

6 Tarkastelu

Tässä artikkelissa on tarkasteltu männyn pituuskehitysmallin laatimista rämeille Pohjois-Suomessa. Käytettävissä oleva aineisto sanelee melko tarkoin puulaji-, kasvupaikka- ja aluerajaukset. Mänty on soilla runsain ja tärkein puulaji, ja mäntykoepuita on SINKA-aineistossakin eniten. Keskittyminen rämeisiin selittyy sillä, että mäntyä sisältäviä korpimetsiköitä oli SINKAssa vain kolme. Kuusen aineisto on SINKAssa keskittynyt alueellisesti vielä suppeammin ja hieskoivusta ei ollut ikämittauksia. Aineiston pohjoisen painotuksen vuoksi luotettavan mallin laatiminen koko maan oloihin ei ollut mahdollista. Sikäli kun täydentävää aineistoa saadaan lähivuosina Etelä-Suomesta, voidaan mallin alueellista kattavuutta parantaa ja laatia vastaava malli myös kuuselle. Tavoitteena onkin toistaiseksi ollut suokasvupaikkojen kuvausta tarkentavan ja monipuolistavan bonitointimenetelmän kehittäminen.

Tässä esityksessä on tarkasteltu männyn pituuskehitysmallin perusteita, rakennetta ja tulkintaa lähinnä suhteessa kasvipaikkamuuttujien vaikutuksen kuvaamiseen rämeillä. Tavoitteena mallin laatimisessa on ollut, että rämeiden puustodynamiikan oleelliset piirteet saataisiin malliin mukaan. Kuten on käynyt ilmi, rämekasvupaikat ovat varsin heterogeeninen ryhmä, jolloin yhteinen ikä-pituus-riippuvuus on liian jäykkä kuvaamaan aineistossa esiintyvää vaihtelua.

Tietynasteinen pintakasvillisuuteen perustuvan suotyyppiluokittelun tarve tulee mallia käytettäessä säilymään. Tosin verrattuna aikaisempaan nyt selvitään huomattavasti vähäisemmällä luokkamäärällä. Tässä tapauksessa tarvitsee määrittää kasvupaikan kuuluminen joko aitoihin tai sekatyyppeihin ja sekatyypeillä tulee tunnistaa letto- ja ruohorämeet ja lyhytkorsirämeet, jotka poikkeavat muista keskiviljavista kasvupaikoista. Pelkkien kasvupaikkatunnusten avulla saadaan ennuste boniteetista tilanteissa, joissa ei puustotietoa ole saatavilla.

Mallin käyttö edellyttää kasvupaikkatunnusten arvioinnin ohella tiettyjä mittauksia puustosta. Periaatteessa puustotiedot saadaan kerättyä muutamilla valtapuista tehdyillä kairauksilla, joiden avulla määritetään valtapuuston ikä. Erityisen vanhoissa metsiköissä iän määritys voi olla hankalaa lukuisten kapeiden lustojen vuoksi. Toinen tärkeä tunnus on ojituksen ikä. Mikäli metsikön historia tunnetaan, ojitusvuosi voidaan etsiä ojitusasiakirjoista. Jos tietoja ei ole, niin ojitusvuoden voi rämemännyillä melko tarkasti määrittää kairanlastusta laskemalla valtapuista lustojen määrän taaksepäin kasvureaktion alkuun. Seppälän (1969) mukaan männyn sädekasvu reagoi ojitukseen jo ensimmäisenä ojituksen jälkeisenä vuotena lukuunottamatta kaikkein karuimpien kasvupaikkojen vanhimpia puita.

Tulosten perusteella näyttää siltä, että pituuskehitysmalli toteuttaa sille asetetut tavoittet kasvupaikkamuuttujien integroimisesta valtapituuden ikäriippuvuuteen. Payandeh (1991) kuvasi dummymuuttujien avulla ekologisten kasvupaikkaluokkien vaikutusta pituusboniteettikäyriin, jolloin ikä-valtapituusennustetta voitiin samalla periaatteella korjata ekologiseen kasvullisuusluokitukseen perustuen. Nyt esitetyllä mallilla saadaan ennuste valtapituudesta sekä luonnontilaisille että ojitetuille soille. Esimerkiksi Gustavsenin (1996) pituusboniteettiluokat mittaavat lähinnä puuston ojituksenjälkeistä tuotoskykyä, kun nyt esitetty menetelmä ottaa huomioon myös ojitusta edeltäneen puuntuotoksen. Mallin yksityiskohtainen kuvaus muiden kuin kasvupaikkatunnusten osalta esitetään muussa yhteydessä.

Kirjallisuus

Cajander, A.K. 1913. Studien über die Moore Finnlands. Acta Fotestalia Fennica 2(3). 208 s.

Clutter, J.L., Fortson, J.C., Pienaar, L.V., Brister, G.H. & Bailey, R.L. 1983. Timber management: A quantitative approach. John Wiley & Sons, Inc. 333 s.

Eurola, S. & Huttunen, A. 1990. Suoekosysteemin toiminnallinen ryhmitys. Summary: The functional grouping of mire ecosystems and their response to drainage. Suo 41: 15–23.

Groot, A. & Horton, B. 1994. Age and size structure of natural and second-growth peatland Picea mariana stands. Canadian Journal of Forest Research 24: 225–233.

Gustavsen, H.-G. 1980. Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. Summary: Site index curves for conifer stands in Finland. Folia Forestalia 454. 31 s.

— 1996. Site index model approach for drained peatland forest stands. Pituusboniteettisovellus ojitusalueiden metsille. Suo 47: 37–46.

— & Mielikäinen, K. 1984. Luontaisesti syntyneiden koivikoiden kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. Abstract: Site index curves for natural birch stands in Finland. Folia Forestalia 597. 20 s.

— & Päivänen, J. 1986. Luonnontilaisten soiden puustot kasvullisella metsämaalla 1950-luvun alussa. Summary: Tree stands on virgin forested mires in the early 1950's in Finland. Folia Forestalia 673. 27 s.

Heikurainen, L. 1959. Tutkimus metsäojitusalueiden tilasta ja puustosta. Referat: Waldbaulich entwässerte Flächen und ihre Waldbestände in Finnland. Acta Forestalia Fennica 69(1). 244 s.

— 1968. Suo-opas. 2. painos. Kirjayhtymä. Helsinki. 40 s.

— 1971. Virgin peatland forests in Finland. Acta Agralia Fennica 123: 11–26.

— 1973. Skogsdikning. P.A. Norsted & Söners förlag. Stockholm. 444 s.

— & Pakarinen, P. 1982. Mire vegetation and site types. Julkaisussa: Laine, J. (toim.). Peatlands and their utilization in Finland. Helsinki. s. 14–23.

Huikari, O. 1952. Suotyypin määritys maa- ja metsätaloudellista käyttöarvoa silmälläpitäen. Summary: On the determination of mire types, especially considering their drainage value for agriculture and forestry. Silva Fennica 75. 22 s.

Hökkä, H. & Laine, J. 1988. Suopuustojen rakenteen kehitys ojituksen jälkeen. Summary: Post-drainage development of structural characteristics in peatland forest stands. Silva Fennica 22(1): 45–65.

— & Penttilä, T. 1999. Modelling the dynamics of wood productivity on drained peatland sites in Finland. Silva Fennica 33(1): 25–39.

Laine, J. 1989. Metsäojitettujen soiden luokittelu. Summary: Classification of peatlands drained for forestry. Suo 40: 37–51.

— & Vasander, H. 1990. Suotyypit. Kirjayhtymä. Helsinki. 80 s.

Lukkala, O.J. 1929. Tutkimuksia soiden metsätaloudellisesta ojituskelpoisuudesta erityisesti kuivatuksen tehokkuutta silmälläpitäen. Referat: Untersuchungen über die Waldwirtschaftliche Entwässerungsfähigkeit der Moore mit besonderer Rücksicht auf den Trocknungseffect. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 15(1). 278 s.

Ojansuu, R. 1996a. Kasvupaikan kuvaus metsän kehitystä ennustettaessa. Julkaisussa: Hökkä, H., Salminen, H. & Varmola, M. (toim.). Pohjoisten metsien kasvu – ennen, nyt ja tulevaisuudessa. Metsäntutkimuspäivä Rovaniemellä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 589: 120–129.
— 1996b. Kangasmaiden kasvupaikan kuvaus MELA-järjestelmässä. Julkaisussa: Hynynen, J. & Ojansuu, R. (toim.). Puuston kehityksen ennustaminen – MELA ja vaihtoehtoja. Tutkimusseminaari Vantaalla 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 612: 39–56.
Payandeh, B. 1978. A site index formula for peatland black spruce in Ontario. Forestry Chronicle 54(1): 39–41.
— 1991. Composite site-productivity functions for Northeastern Ontario black spruce. New Forests 5: 1–12.
Penttilä, T. & Honkanen, M. 1986. Suometsien pysyvien kasvukoealojen (SINKA) maastotyöohjeet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 226. 97 s.
Reinikainen, A. 1988. Metsäojitettujen soiden kasvupaikkaluokituksen suunnanhakua. Summary: The need of improving the site classification of mires drained for forestry. Suo 39: 61–71.
Sarasto, J. 1957. Metsän kasvattamiseksi ojitettujen soiden aluskasvillisuuden rakenteesta ja kehityksestä Suomen eteläpuoliskossa. Referat: Struktur und Entwicklung der Bodenvegetation auf für Walderziehung entwässerten mooren in der südlichen Hälfte Finnlands. Acta Forestalia Fennica 65(7). 108 s.
Seppälä, K. 1969. Kuusen ja männyn kasvun kehitys ojitetuilla turvemailla. Summary: Post-drainage growth rate of Norway spruce and Scots pine on peat. Acta Forestalia Fennica 93. 88 s.
Tamminen, P. 1994. Käsitykseni kangasmetsien parhaasta bonitointitavasta. Julkaisussa: Reinikainen, A. & Lehtinen, K.-M. (toim.). Kasvupaikkaluokittelun tutkijaseminaari – Vantaa 27.10.1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 531: 62–68.
Tuomikoski, R. 1950. Mietteitä suotyyppijärjestelmästämme. Suo 1: 25–26.
Zeide, B. & Zakrzewski, W.T. 1992. Selection of site trees: the combined method and its application. Canadian Journal of Forest Research 23: 1019–1025.

Harvennushakkuut ojitetuilla rämeillä

Timo Penttilä

Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus
PL 18, 01301 Vantaa

timo.penttila@metla.fi

1 Johdanto

Suometsiemme nykyiset hakkuumahdollisuudet ovat alle 10 milj. m^3 raakapuuta vuosittain. Valtakunnan metsien 8. inventoinnin (VMI 8) aineistoihin perustuvien skenaarioiden mukaan suometsien vuotuiset hakkuumäärät voivat nousta 15–20 milj. m^3:iin seuraavien 20 vuoden aikana (Nuutinen ym. 2000). Hakkuukertymien lisäystä odotetaan tulevan erityisesti mäntyvaltaisten kasvatusmetsien harvennuksista, joihin VMI 8:n havaintojen mukaan oli tarvetta jopa yli miljoonalla ojitusalueheh-taarilla. Ojitettujen suomänniköiden harvennushakkuiden metsänhoidollisia perusteita ja tuotosvaikutuksia on kuitenkin tutkittu varsin vähän.

Nykyiset männiköiden harvennussuositukset perustuvat kangasmailta saatuihin tutkimustuloksiin ja käytännön kokemuksiin. Niitä sovelletaan kasvupaikan tuotoskykyrinnastuksen kautta myös turvemaille. Suositusten mukaan männikkö tulisi ensiharventaa, kun puiden alaoksat ovat kuolleet tyvitukin pituudelta, mutta ennen kuin kasvatettavan puuston latvussuhde on supistunut pienemmäksi kuin 40 %. Yhdellä harvennuskerralla ei tulisi poistaa enempää kuin kolmannes metsikön runkopuutilavuudesta, jotta merkittäviltä kasvutappioilta vältyttäisiin.

Kangasmailla männiköitä tavallisesti kasvatetaan suhteellisen tasaikäisinä. Ensiharvennusvaiheeseen mennessä latvustot ovat yleensä sulkeutuneet ja puiden välinen kilpailu valosta on selkeästi voimistunut aiheuttaen alaoksien kuolemista ja karsiutumista (esim. Kellomäki ja Nevalainen 1983, Mäkelä ja Vanninen 1997, Hynynen ja Arola 1999). Turvemaiden mäntypuustoille on sen sijaan tyypillistä aukkoisuus ja

Varmola, M. & Tapaninen, S. (toim.). 2001. Pohjoisten metsien hoito. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 803: 133–141.

erirakenteisuus, joka voi säilyä joidenkin vuosikymmenten ajan ojituksen jälkeen (Hökkä ja Laine 1988). Toisaalta puustojen varttuessa ojitusalueiden männiköiden läpimittajakaumat muuttuvat pieniin läpimittaluokkiin painottuneista vinoista jakaumista kohti symmetrisempiä jakaumia (Hökkä ym. 1991), mikä heijastanee puiden kasvua rajoittavien tekijöiden muuttumista. Ojituksen jälkeen liika märkyys ja sen aiheuttama juuristojen hapenpuute vähenevät, hajotustoiminta ja ravinnekierto vilkastuvat, puuston kasvu kiihtyy ja latvuspeittävyys kasvaa. Ojitetuilla rämeillä kivennäisravinteiden, erityisesti fosforin, niukkuus kuitenkin useimmiten rajoittaa puuston kasvua vielä silloinkin, kun puusto on jo ohittanut ensiharvennusvaiheen (esim. Laiho 1997). Puuston latvuston kasvaessa ja tihentyessä todennäköisesti myös varjostus alkaa jossain vaiheessa rajoittaa yksittäisten puiden kasvua.

Kasvupaikkatekijöihin ja metsikködynamiikkaan liittyvien ekologisten perusteiden vuoksi voidaan olettaa, että mäntyvaltaisissa ojitusalueiden taimikoissa ja nuorissa kasvatusmetsissä puiden välinen kilpailutilanne painottuu enemmän juuristokilpailun kuin latvusten valokilpailun suuntaan. Tästä todennäköisesti seuraa, että myös harvennusvaikutukset ovat erilaiset kuin sellaisissa metsiköissä, joissa puiden välillä on ensisijaisesti valokilpailua. Erilaisten tuotosvaikutusten lisäksi on todennäköistä, että harvennushakkuiden sekä metsiköiden ravinnedynamiikan ja vesitalouden vuorovaikutukset ovat suometsissä erilaisia ja puuntuotoksen kannalta mahdollisesti merkittävämpiä kuin kangasmaiden metsissä.

Tässä katsauksessa tavoitteena on kuvata harvennuksen vaikutuksia puuntuotoksen kannalta olennaisiin ekologisiin prosesseihin tai niitä kuvaaviin tunnuksiin sekä puiden ja metsiköiden runkopuun kasvuun ojitusalueiden männiköissä. Katsaus perustuu osin julkaistuihin, osin käsikirjoitusvaiheessa oleviin tutkimuksiin, joissa edellä esitettyä ongelmakokonaisuutta on pyritty ratkomaan. Empiirinen aineistopohja rajoittaa tarkastelun Keski- ja Pohjois-Suomeen.

2 Aineisto ja menetelmät

Metsäntutkimuslaitos perusti 1980-luvun loppupuolelta alkaen suometsien harvennuskokeita 9–15 metrin valtapituusvaiheessa oleviin ojitusalueiden kasvatusmetsiin yhteistyössä Metsähallituksen sekä metsäteollisuusyritysten kanssa. Useimmat koemetsiköt valittiin käytännön harvennusleimikoihin kuuluneista kohteista. Valittuihin ojitusalueiden männiköihin perustetuissa kokeissa tutkitaan mm. harvennuksen vaiku-

tusta pohjavesipinnan vaihteluun sekä eri latvuskerroksiin kuuluvien puiden kasvua ja ravinnetilaa eri käsittelyillä. Niinikään selvitetään harvennuksen vaikutusta kasvuun metsikkötasolla.

Lohkottain arvotuissa kokeissa käsittely-yksikkönä oli koeala ja kussakin kohteessa oli yleensä kolme toistoa. Käsittelyinä olivat harventamaton kontrolli, nykysuositusten mukainen eli "normaali harvennus" sekä lievä ja voimakas harvennus, jossa puustoa jätettiin 30 % enemmän ja vähemmän kuin normaalissa harvennuksessa. Useimmissa tapauksissa harvennuskokeita perustettaessa varmistettiin ojanperkauksilla tai täydennysojituksella, että kuivatusteho vastasi vähintäänkin käytännön metsätaloudessa edellytettävää tasoa.

Koemetsiköissä perusojitus oli tehty n. 15–50 vuotta ennen kokeiden perustamista, joten ojituksen aiheuttama puuston nopean kasvunlisäyksen vaihe oli ohitettu, ja suhteellinen tiheys oli kasvanut niin, että voitiin olettaa puiden välisen kilpailun vaikuttavan yksittäisten puiden kasvua alentavasti. Kaikissa kokeissa on selvitetty metsikkötason reaktioita harvennuskäsittelyihin viiden vuoden välein tehdyn koealoittaisen puuston mittauksen avulla. Koska puut on yksilöity kartoittamalla, tietoja voidaan käyttää myös puittaisen kasvun ja puiden keskinäisten vuorovaikutusten analysointiin.

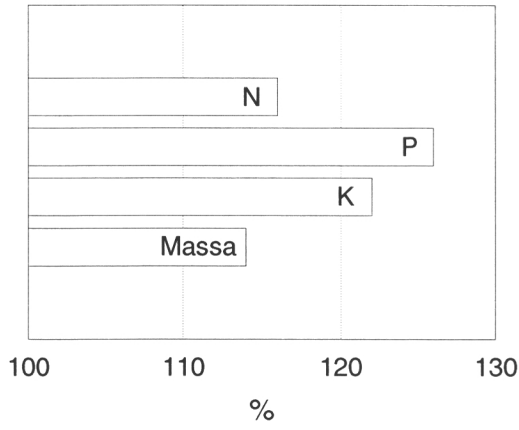
Harvennuksen vaikutusta kasvupaikan vesitalouteen seurattiin neljällä harvennuskokeella kolmen kasvukauden ajan. Pohjavesipinnan syvyys mitattiin kullekin koealalle systemaattisesti asennetusta yhdeksästä kaivosta noin kahden viikon välein kasvukauden aikana. Kolmessa näistä koemetsiköistä seurattiin myös harvennuksen vaikutusta puiden ravinnetilaan. Kussakin näistä kohteista otettiin kolmena peräkkäisenä vuonna puiden dormanssikauden aikana koealoittainen ja puittainen neulasnäyte kolmen valta-, kolmen väli- ja kolmen vallitun latvuskerroksen puun edellisenä kesänä syntyneistä neulasista, puun latvuksen yläosasta etelänpuoleisista oksista. Ravinneseurantaan valituissa koemetsiköissä seurattiin myös puutason kasvua em. neulasnäytekoepuista. Yhdellä ravinneseurantakohteista (Pyhäsalmi) kontrolli- ja voimakkaan harvennuskäsittelyn neulasnäytekoepuut kaadettiin kahdeksan kasvukauden kuluttua harvennuskokeen perustamisesta. Puista analysoitiin maanpäällisen biomassan ja sen sisältämien ravinteiden jakaantuminen runkopuun eri osiin, kuoreen, eläviin oksiin ja eri ikäisiin neulasiin latvuksen eri osissa sekä kuolleisiin oksiin. Samoin selvitettiin runkoanalyysillä runkopuun kuoretonta vuotuista kasvua. Vastaava puiden maanpäällisen biomassan allokaatioselvitys tehtiin neljän kasvukauden kuluttua harvennuskokeen perustamisesta myös Rovaniemen mlk:ssa sijaitsevan kokeen puustosta kolmelta eri käsittelyltä.

Tässä esityksessä tarkastellaan tuloksia harvennuksen vaikutuksista pohjavesipinnan tasoon, ravinnetilaan, puutason kasvuun (Kittilän, Pelkosenniemen ja Pyhäsalmen kokeet) ja biomassa-allokaation (Pyhäsalmi, Rovaniemen mlk) sekä metsikkötason kasvuun.

3 Tulokset ja niiden tarkastelu

Puuston käsittelyllä todettiin olevan vain vähän vaikutusta pohjavesipinnan syvyyteen, vaikkakin useimmissa kokeissa ja useimpina vuosina pohjavesipinnan taso oli keskimäärin alimmillaan harventamattomilla koealoilla (Hökkä ja Penttilä 1985). Tulos oli yllättävä ja poikkesi eräistä Etelä-Suomen oloissa aiemmin raportoiduista. Tähän pääasialliseksi syyksi arveltiin Verryn (1988) esittämään hypoteesiin perustuen sitä, että pohjaveden ollessa luonnostaan varsin korkealla tasolla (syvyys maan pinnasta <30–40 cm), kuten nyt tutkituissa tapauksissakin usein oli, puuston määrä tai siinä tapahtuvat muutokset eivät todennäköisesti vaikuta pohjavesipinnan tasoon. Pohjois-Suomen sääoloissa ojitettujenkin soiden maavesivarastot saattavat useina kasvukausina pysyä siinä määrin täysinä, että puuston määrän vaihtelu ei juurikaan vaikuta pohjavesipinnan tason vaihteluun. Ilmeisesti puuston vaikutus tulee esiin vasta, kun pohjavesi on ensin kuivatuksen ja sääolojen vaikutuksesta painunut riittävän syvälle. Toisena tulokseen vaikuttaneena tekijänä saattoi olla se, että nyt tutkitussa aineistossa puustotilavuudet olivat kaikkiaan jonkin verran pienemmällä tasolla kuin Etelä-Suomesta raportoiduissa vastaavissa selvityksissä. Tässä aineistossa saatujen tulosten perusteella voitiin joka tapauksessa perustellusti olettaa, että pohjavesipinnan vaihtelulla tuskin oli yhdysvaikutusta harvennuskäsittelyjen ja muiden tutkittujen vastemuuttujien välisiin riippuvuuksiin.

Harvennuksen jälkeen kaikkiin latvuskerroksiin kuuluvien puiden ravinnetila parani. Harvennetuilla koealoilla uusimpien neulasten koko (100 neulasen kuivamassa) oli harvennusvoimakkuudesta juurikaan riippumatta noin 15% suurempi kuin harventamattomilla (Hökkä ym. 1996, Penttilä ym. 2001). Neulasten ravinnepitoisuuksissa havaittiin lievää lisääntymistä, mutta tämä yhdistettynä neulasten koon kasvuun osoitti harvennuksen lisänneen merkitsevästi ainakin fosforin, magnesiumin, sinkin ja boorin määriä kaikkiin latvuskerroksiin kuuluneiden puiden ylälatvusten uusimmissa neulasissa. Niukkuutta ja puiden välistä kilpailua näytti olleen erityisesti fosforista, jonka määrä neulasissa lisääntyi harvennuksen jälkeen selvästi enemmän kuin neulasten koko (Hökkä ym. 1996, kuva 1; Penttilä ym. 2001).



Kuva 1. Harvennuksen suhteellinen vaikutus (harventamaton = 100%) uusimpien neulasten kuivamassaan ja ravinnesisältöön. Lähde: Hökkä ym. 1996.

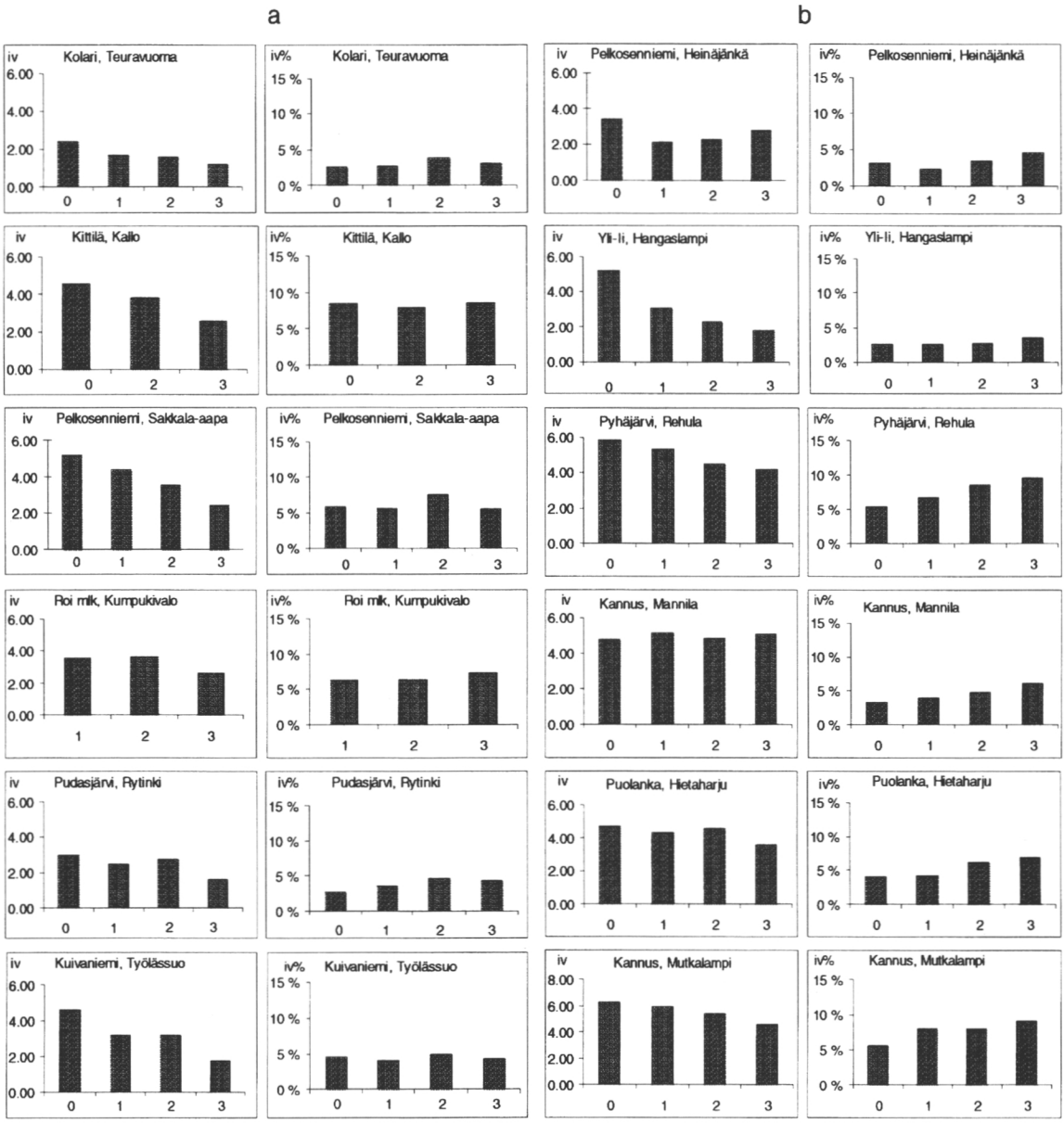
Harventamattomilla koealoilla pienten puiden suhteellinen pohjapinta-alan kasvu oli vähintään yhtä nopeaa kuin suurimmilla puilla (Penttilä ym. 2001). Tämä viittaa siihen, että puiden välillä vallinnut kilpailu ei ollut ainakaan täysin yksisuuntaista, kuten valokilpailun oletetaan olevan (esim. Cannell ja Grace 1993), ts. että vain pienimmät puut olisivat kärsineet suurimpien puiden vallitsevuudesta. Todennäköisempää oli, että puiden välinen kilpailu hidasti jossakin määrin kaiken kokoisten puiden kasvua. Tätä tuki se, että puutasolla harvennus lisäsi pohjapinta-alan kasvua rinnankorkeudella kaikissa latvuskerroksissa (Penttilä ym. 2001). Tällainen kaksisuuntainen tai puiden koon suhteen melko symmetrinen kilpailu yhdistetään yleensä juuristokilpailuun. Vallitsevilla puilla rinnankorkeudelta mitatun pohjapinta-alan kasvureaktio oli kuitenkin hidas, sillä se ilmeni merkitsevänä vasta toisella 5-vuotisjaksolla harvennuksen jälkeen.

Rovaniemen mlk:ssa ja Pyhäsalmella sijaitsevissa kokeissa voimakas harvennus ei lisännyt mihinkään latvuskerrokseen kuuluneiden yksittäisten puiden runkopuun biomassan tai kuorettoman tilavuuden kasvua kontrolliin verrattuna ainakaan ensimmäisten neljän-viiden vuoden aikana. Erilaiset tulokset harvennuksen vaikutuksesta puiden pohjapinta-alan kasvuun ja koko runkopuun biomassaan viittaavat siihen, että harventamattomilla koealoilla kasvu olisi suuntautunut enemmän runkojen yläosiin ja harvennetuilla alaosiin. Sen sijaan puiden oksa- ja neulasmassat olivat harvennetuilla koealoilla kaikkien latvuskerrosten puilla selvästi suurempia kuin harventamattomilla (Volanen 1996, Penttilä ja Laiho 2001). Tämä on kiistaton osoitus siitä, että harvennus lisäsi yksit-

täisten puiden elinvoimaisuutta eli että jokin tekijä rajoitti sitä harventamattomissa puustoissa. Puutason tulokset kasvusta ja biomassa-allokaatiosta vahvistivat käsitystä siitä, että harvennusvaihetta lähestyvissä turvemaan männiköissä ravinnekilpailu voi olla valokilpailua voimakkaampaa. Tähän saattavat liittyä myös heikot tai ainakin hitaat reaktiot runkopuun kasvussa.

Metsikkötasolla harvennukset pienensivät runkopuun kokonaistuotosta ensimmäisen 5-vuotisjakson aikana, kuten oli odotettavissakin. Metsiköissä, joissa valtapituus koetta perustettaessa oli enintään 11 m, harvennukset tehtiin runkolukuohjeita noudattaen. Tällöin jäävän puuston pohjapinta-ala ja tilavuus putosivat normaalillakin harvennuskäsittelyllä usein varsin pieniksi muun muassa siksi, että tilajärjestystä tasoittavissa harvennuksissa jäävän puuston runkoluvussa oli mukana myös pieniä puita. Merkittävien, pitkäaikaisten kasvutappioiden riski selvästikin lisääntyi, sillä ainakin alkuvaiheen suhteelliset kasvureaktiotkin olivat vähäisiä (kuva 2). Sen sijaan leimausrajalle tai sen yli kehittyneissä ja samalla voimakkaan kasvun vaiheessa olevissa metsiköissä reilustikin harvennetut puustot yleensä lisäsivät suhteellista kasvuaan voimakkaasti (kuva 2). Näissä tapauksissa puuston järeytyminen ja lisääntyvä käyttöpuutuotos todennäköisesti kompensoivat kokonaiskasvun alenemista ja pitemmällä aikavälillä parantavat metsänkasvatuksen taloudellista tulosta.

Ojitetuilta rämeiltä toistaiseksi saadut tulokset harvennuksen vaikutuksista puuston tilaan ja kehitykseen antavat aihetta kiinnittää vakavaa huomiota harvennussuositusten noudattamiseen. Ennenaikaisiin harvennuksiin, etenkin jos ne tehdään voimakkaina, näyttää liittyvän merkittävien kasvutappioiden riski, joka on tunnettua myös kangasmaiden harvennustutkimusten perusteella. Koska käytännössä harvennuksia kuitenkin joudutaan esim. ojastojen kunnostuksen yhteydessä tekemään myös sellaisilla kuvioilla, joissa leimausrajaa ei vielä ole saavutettu, on tällöin erityisesti syytä huolehtia, että kasvamaan jätetään riittävän suuri puustopääoma. Suopuustoissa jäävän puuston runkolukua on aiemmin pidetty kelvollisena jäävän puuston määrän mittarina. Ilmeistä kuitenkin on, että epätasaisissa puustoissa runkolukuohjeen käyttö jäävän puuston tiheyden määrittelyssä useimmiten johtaa huomattavasti liian alhaisiin jäävän puuston pohjapinta-aloihin ja tilavuuksiin. Toisaalta jos ojitettujen rämeiden kasvatusmetsissä juuristokilpailu ravinteista on puiden elinvoimaisuuden ja kasvun kannalta merkittävämpää kuin latvusten kilpailu valosta, niin ehkä merkittävääkin tiheydestä johtuvaa puiden kuolemista saattaa alkaa esiintyä selvästi aiemmin kuin nykyiset, lähinnä valokilpailutilanteisiin perustuvat itseharvenemismallit osoittaisivat. Mikäli näin osoittautuu olevan, ojitusaluemänniköiden harvennusta ei myöskään voine kovin paljon viivästää.



Kuva 2. Puuston keskimääräinen vuotuinen tilavuuskasvu absoluuttisena ($m^3ha^{-1}a^{-1}$) ja lähtöpuustoon suhteutettuna (%) kokeiden perustamista seuraavalla 5-vuotiskaudella eri käsittelyillä (0 = ei harvennusta, 1 = lievä harvennus, 2 = normaali harvennus 3 = voimakas harvennus) lähtöpuuston pohjapinta-alan ollessa a) < 20 m^2ha^{-1}, ja b) 20–25 m^2ha^{-1}.

Kirjallisuus

Cannell, M.G.R. & Grace, J. 1993. Competition for light: detection, measurement, and quantification. Canadian Journal of Forest Research 23: 1969–1979.

Hynynen, J. & Arola, M. 1999. Ensiharvennusajankohdan vaikutus hoidetun männikön kehitykseen ja harvennuksen kannattavuuteen. Metsätieteen Aikakauskirja 1/1999: 5–23.

Hökkä, H. & Laine, J. 1988. Suopuustojen rakenteen kehitys ojituksen jälkeen. Summary: Post-drainage development of structural characteristics in peatland forest stands. Silva Fennica 22: 45–65.

— , Piiroinen, M.-L. & Penttilä, T. 1991. The estimation of basal area-dbh distribution using the Weibull-function for drained pine and birch dominated and mixed peatland stands in north Finland. Folia Forestalia 781. 22 s.

— & Penttilä, T. 1995. Harvennushakkuun vaikutus pohjavedenpinnan syvyyteen ojitusalueilla Pohjois-Suomessa. Summary: Effect of thinning on groundwater table depth in drained peatlands in northern Finland. Suo 46(1): 9–19.

— , Penttilä, T. & Hånell, B. 1996. Effect of thinning on the foliar nutrient status of Scots pine stands on drained boreal peatlands. Canadian Journal of Forest Research 26: 1577–1584.

Kellomäki, S. & Nevalainen, T. 1983. Näkökohtia puuston tiheyden ja koon välisestä suhteesta. Summary: On relationships between stand density and tree size. Silva Fennica 17(4): 389–402.

Laiho, R. 1997. Plant biomass dynamics in drained pine mires in southern Finland. Implications for carbon and nutrient balance (väitöskirja). Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 631. 53 s. + 5 osajulkaisua.

— & Laine, J. 1997. Tree stand biomass and carbon content in an age sequence of drained pine mires in southern Finland. Forest Ecology and Management 93: 161–169.

Mäkelä, A. & Vanninen, P. 1997. Impacts of size and competition on tree form and distribution of aboveground biomass in Scots pine. Canadian Journal of Forest Research 28: 216–227.

Nuutinen,T., Hirvelä, H., Hynynen, J., Härkönen, K., Hökkä, H., Korhonen, K.T. & Salminen, O. 2000. The role of peatlands in Finnish wood production – an analysis based on large-scale forest scenario modelling. Silva Fennica 34(2): 131–153.

Penttilä, T. & Laiho, R. 2001. Impacts of thinning on the allocation of biomass and nutrients in Scots pine on a drained peatland site. Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos.

Penttilä, T., Alenius, V., Hökkä, H. & Laiho, R. 2001. Responses of tree growth and foliar nutrients to reduced competition in Scots pine on drained peatland. Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos.

Verry, S.E. 1988. Water table and streamflow changes after stripcutting and clearcutting an undisturbed black spruce bog. Proceedings of the 6th International Peat Congress. Duluth, Minnesota. s. 493–498. IPS Helsinki.

Volanen, V. 1996. Harvennuksen vaikutus männyn maanpäälliseen biomassaan minerotrofisella rämeellä Pohjois-Suomessa. Pro gradu -työ. Helsingin yliopisto, Metsäekologian laitos. 78 s.





"Rovaniemen
tutkimusasema
tutkii pohjoista metsäluontoa
ja sen arvoja metsien
eri käyttömuotojen
yhteensovittamiseksi"



Kannen suunnittelu: Jouni Hyvärinen

ISBN 951-40-1773-0
ISSN 0358-4283