

Metsänraja tutkimuksen kohteena

Tutkimuspäivä Ylläksellä 1994

Tapani Tasanen, Martti Varmola & Maarit Niemi (toim.)

Metsäntutkimuslaitos, Kolarin ja Rovaniemen tutkimusasemat
Kolari ja Rovaniemi 1994

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 539

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

Kansikuva:
Tuntureilla alpiininen metsänraja sekä puuraja kohtaavat. Pyhätunturi.
Kuva: Tapani Vartiainen

Metsänraja tutkimuksen kohteena

Tutkimuspäivä Ylläksellä 1994

Tapani Tasanen, Martti Varmola & Maarit Niemi (toim.)

Metsäntutkimuslaitos, Kolarin ja Rovaniemen tutkimusasemat
Kolari ja Rovaniemi 1994

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 539

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

Tasanen, Tapani, Varmola, Martti & Niemi, Maarit. 1994. Metsänraja tutkimuksen kohteena. Tutkimuspäivä Ylläksellä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 539. 144 s. ISBN 951-40-1411-1, ISSN 0358-4283.

Julkaisun artikkelit perustuvat Ylläksellä pidetyn tutkimuspäivän esitelmiin ja tietotauluihin.

Avainsanat: metsänraja, metsäntutkimus, tutkimuspäivät

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Kolarin ja Rovaniemen tutkimusasemat.
Hyväksynyt: Pentti Sepponen, Rovaniemen tutkimusaseman johtaja.

Kirjoittajien yhteystiedot: Tasanen, Tapani: Metsäntutkimuslaitos, Kolarin tutkimusasema, 95900 KOLARI, puh. (9695) 61 401, telefax (9695) 61904. Varmola, Martti & Niemi, Maarit: Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema, PL 16, 96301 ROVANIEMI, puh. (960) 336 411, telefax (960) 336 4640.

Julkaisua myy: Metsäntutkimuslaitos, Kaija Westin, Unioninkatu 40 A, 00170 HELSINKI, puh. (90) 8570 5721, telefax (90) 8570 5717. Hinta 100 mk.

© Kirjoittajat ja Metsäntutkimuslaitos

ISBN 951-40-1411-1
ISSN 0358-4283

Gummerus Kirjapaino Oy
Jyväskylä 1995

Sisällys

Lukijalle 4

Avauspuheenvuoro
Pohtila, E. 5

Havumetsänrajan sijainnin määräytyminen Suomessa
Norokorpi, Y. 7

Kuusen ja männyn leviämishistorian ja ilmastoon sopeutumisen vaikutuksia
Luomajoki, A. 16

Piirteitä Ylä-Lapin puu- ja metsänrajan siirtymisestä 1900-luvulla
Sirén, G. 23

Määrääkö maaperä kuusen polaarisen metsänrajan Pohjois-Lapissa?
Mäkitalo, K., Sutinen, R., Hyvönen, E.,
Pulkkinen, E., Pänttäjä, M. & Sutinen, M.-L. 35

Venäjän metsänrajametsien käytön kehitysnäkymiä
Veijola, P. 49

Poron laidunnuksen vaikutus metsänrajametsien primaarisukkessioon
Helle, T. 60

Kovakuoriaislajiston monimuotoisuus pohjoisissa metsänrajametsissä
Sippola, A-L., Siitonen, J. & Kallio, R. 71

Metsänraja tutkimuksen kohteena – kirjallisuuskatsaus
Tekijät: Tasanen, T. & Veijola, P. 80

Lukijalle

Äkäslompolossa, Yllästunturin alpiinisen metsänrajan tuntumassa 16.2.1994 pidetty tutkimuspäivä toimi aloituksena uudelle tutkimushankkeelle "Metsänraja-alueiden ekologia ja käytön suunnittelu". Metsäntutkimuslaitos näkee metsänrajan ja sen läheisten metsien muodostavan oman tutkimuskokonaisuutensa, jota varten katsottiin tarpeelliseksi perustaa oma hanke. Erityisen tarpeelliseksi uusi hanke todettiin siksi, että sen kautta voidaan tehostaa yhteistyötä ja tiedonvälitystä lukuisien kotimaisten ja ulkomaisten metsänrajakysymyksiin paneutuneiden tutkijoiden ja tutkimusyksiköiden välillä

Metsänrajaan liittyviä ilmiöitä luonnontieteilijät ovat tutkineet jo yli kaksisataa vuotta. Metsäntutkimuksen piiriin luettavia selvityksiä metsänrajametsissä on tehty viime vuosisadan lopulta alkaen. Tällä vuosisadalla metsänrajatutkijoiden joukko on lisääntynyt mm. maantieteen ja geologian sekä yhteiskuntatieteiden eri alojen edustajilla. Taloustieteiden ja maankäytön suunnittelun tutkijat ovat "löytäneet" metsänraja-alueet äskettäin. Parina viime vuosikymmenenä ovat luonnonsuojelun, metsänraja-alueiden monikäytön sekä ekologisen kestävyyden näkökulmat nousseet vahvasti esiin tutkimusongelmien asettelussa. Maailmanlaajuisesti suosituin tämän päivän tutkimusongelma on pitkällä aikavälillä tapahtuneiden ilmaston muutosten ja niiden vaikutusten selvittäminen sekä näiden tietojen avulla tapahtuva tulevan kehityksen ennustaminen.

Tähän julkaisuun kootuissa tutkimuspäivän esitelmissä korostuu edellä kuvattu monitieteellisyys. Erityisesti metsänrajan syntyyn vaikuttavia ekologisia ja geneettisiä tekijöitä on Metsäntutkimuslaitoksen pohjoisilla asemilla sekä yhteistyökumppaniemme tahoilla tutkittu viime vuosina ahkerasti ja monesta näkökulmasta käsin. Paljon on kuitenkin vielä selvitettävää. Monet peruskysymykset, joita metsänrajatutkijat selvittivät sata vuotta sitten, ovat vielä lopullista vastausta vailla. Useimpia tässä julkaisussa esiteltyjä tutkimuksia kuitenkin jatketaan, ja tietämyksemme niiden aihepiireistä syvenee koko ajan. Uuden tutkimushankkeen myötä päästään käsiksi useihin aiemmin selvittämättömiin ongelmiin. Hankkeen avulla pystytään myös – mikäli se onnistuu tehtävässään – kokoamaan eri tahoilla tehtävän tutkimuksen tulokset selkeäksi kokonaisuudeksi tiedon tarvitsijoiden käyttöön.

Tämän julkaisun viimeisenä artikkelina on kirjallisuuskatsaus, johon on koottu kattava selvitys eri maissa ja maanosissa tehdystä alpiinisten ja polaaristen metsänrajojen tutkimuksesta. Pääpaino on kuitenkin pohjoisen Fennoskandian alueen tutkimusongelmissa. Katsauksen tarkoituksena on antaa lukijalle kokonaiskuva siitä, millaisia laajempia ja yksityiskohtaisempia ongelmia metsänrajatutkimukseen liittyy, ja mihin asioihin tutkimus perustuu lähitulevaisuudessa. Katsauksen tärkein osa on kirjallisuusluettelo, jossa mainittujen julkaisujen ja edelleen näistä löytyvien lähdeviitteiden kautta lukijalla on mahdollisuus paneutua perusteellisemmin metsänrajatutkimuksen eri osa-alueisiin.

Lausumme lämpimät kiitokset kaikille esitelmöitsijöille ja asiantuntijoille, tutkimuspäivän järjestelyihin ja tämän julkaisun valmisteluun osallistuneille sekä kaikille osanottajille.

Tapani Tasanen Martti Varmola

Avauspuheenvuoro

ELJAS POHTILA

Metsäntutkimuslaitos
Unioninkatu 40 A, 00170 HELSINKI

Minulle on varattu avauspuheenvuoro tähän tilaisuuteen, jonka teema on metsänraja. Aihe on minulle tuttu niin kuin se on tuttu monille muillekin Lapissa tutkimustyötä tehneille metsänhoitomiehille. Lähes kaikki suomalaiset metsänhoidon ja -tutkimuksen pioneerit harrastivat uransa jossakin vaiheessa metsänrajakysymyksiä. Heitä ovat mm. August Renvall, jonka saksankielinen tutkimus männyn kukkimis-, käpy- ja siemenvuosista "polaarisella" metsärajalla oli ensimmäinen metsätieteellinen väitöskirja Helsingin yliopistossa, Olli Heikinheimo, joka syntyjään peräpohjalaisena tunsi ilmeisesti luontaista vetoa aihepiiriin, Ilmari Hustic, joka oli maantieteilijä, mutta joka tutkimuksissaan lähestyi perinteistä metsäntutkimusta, Peitsa Mikola, joka tutkimuksillaan korjasi Renvallin pessimistisiä arvioita metsänrajan alenemisesta ja tietenkin Gustaf Sirén, joka on täällä läsnä ja jonka työ jatkuu.

Pohjoinen metsänraja ja siihen vaikuttavat tekijät on kansainvälisesti kenties vetovoimaisin metsäekologinen ongelmakokonaisuus Suomessa. Metsänrajaseutu on mantereisen ja mereisen ilmaston kohtaamisaluetta ja sää on täällä pysyvästi epävakainen. Luonto on eteläisempiin seutuihin verrattuna nuorta ja jatkuvan muokkauksen alaisena. Tässä prosessissa ihmisen vaikutus on jatkuvasti voimistunut. Niin kuin merellä vuoksi ja luode on selvemmin havaittavissa rannikoilla, reuna-alueilla, samaan tapaan ekologiset muutokset ilmenevät selvemmin metsänrajoilla. Niin sanotun kasvihuoneilmiön mahdollinen voimistuminen tekee metsänrajailmiöistä erityisen mielenkiintoisia. Metsänraja on Suomessa helposti saavutettavaa, sivistyneen maailman piiriä. Niin ei ole juuri missään muualla asian laita. Tämä suhteellinen etumme pitäisi pystyä käyttämään tutkimuksessa hyväksi.

Metsänrajatutkimuksissa kysymys ei ole tiedon hankkimisesta vain tiedon itsensä vuoksi. Kun meillä on tutkimuksin varmennettu tukipiste poh-

Tasanen, T., Varmola, M. & Niemi, M. (toim.). Metsänraja tutkimuksen kohteena. Tutkimuspäivä Ylläksellä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 539: 5–6.

joiselta metsänrajalta, meillä on helppo laskea myös etelämpänä väliarvoja, joilla on merkitystä käytännön metsätaloudelle.

Pohjoisten metsäntutkimusasemien, erityisesti Kolarin toimintaa on ajateltu suunnata entistä selvemmin metsänraja-aiheisiin. Valmisteluja tämän hyväksi on tehty. Kolarin tutkimusaseman johtaja Tapani Tasanen on muunmuassa laatinut aihepiiristä erinomaisen kirjallisuuskatsauksen. Käytännön toimiin ryhtymistä on hidastanut rahan puute; METLA:n budjetti supistui viime vuodesta tähän vuoteen noin 30 miljoonaa markkaa, mihin sopeutuminen on ollut vaikeaa. Ajatuksesta luoda metsänrajatutkimuksista laitoksen toiminnan uusi painopiste, ja ehkä erillinen tutkimusohjelmakin, ei olla kuitenkaan luovuttu.

Voimavarojen uudelleensuuntaamisen helpottamiseksi METLAn toimintaa kehitetään ja uudistetaan. Olennaista uusimmissa kaavailuissa on tutkimusasemien muodostaminen entistä selvemmin tulosyksiköiksi, mikä edellyttää asemien toimivallan ja vastuun lisäämistä. Samalla pyritään ohentamaan laitostason hallintoa "konsernimallin" mukaan.

Valtakunnallinen ja laitostason ote säilytetään tutkimusohjelmien avulla. Tulosaluejako uudistetaan niin, että tutkimustoiminta muodostaa yhden kokonaisuuden, josta vastaa yksi tutkimusjohtaja nykyisen kolmen sijasta. Tutkimustoiminnan tieteellistä arviointia jatketaan entiseen tapaan, mutta vastuu siitä osoitetaan entistä selvemmin professoreille ja muille kokeneille tutkijoille.

Toivotan kaikille antoisaa tutkimuspäivää.

Havumetsänrajan sijainnin määräytyminen Suomessa

YRJÖ NOROKORPI

Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
PL 16, 96300 ROVANIEMI

Johdanto

Jääkauden jälkeisen Suomen metsittymishistoria tiedetään melko tarkasti. Männyllä oli ilmastollisesti varsin edullinen kausi Lapissa jo 8000 vuotta sitten. Sitä kesti 3000 vuotta, minkä jälkeen ilmasto alkoi kylmetä. Mänty perääntyi ja pysähtyi suunnilleen nykyiselle levinneisyysalueelleen noin 3000 vuotta sitten. Tämä on tunnettu jo Auerin (1927), Aarion (1940) ja monen muun Fennoskandian kasvillisuustutkimuksen klassikon ajoilta.

Yksityiskohtaisempaa tietoa metsänrajan sijainnista, sen muutoksista ja siihen vaikuttavista tekijöistä on runsaan sadan vuoden ajalta (esim. Kihlman 1890, Renvall 1912, Hustich 1948, 1958). Tosin vasta 1980-luvun alkupuolella perustettiin pysyvät metsänrajan seuranta-alat (Kallio ym. 1983, 1986). Niiden avulla voidaan todentaa yksityiskohtaisesti taimien syntymistä, kehitystä ja tuhoja sekä muutoksia varttuneemmassa puustossa eri puolilla Pohjois-Suomen metsänraja-alueita. Metsänraja toimii tärkeänä indikaattorina ilmastonmuutostutkimuksissa, koska muutosten vaikutukset ilmenevät suhteellisen herkästi pohjoisen ekologisesti aroilla alueilla.

Tutkimukset ovat valtaosin kohdistuneet polaariseen eli pohjoiseen metsänrajaan. Heikinheimo (1921) määritteli senaikaisissa oloissa jo varsin tarkasti metsänrajan sijaintiin vaikuttavia lämpötilatekijöitä. Hän totesi myös, että 68 ° leveyspiiriltä etelään päin metsänraja laskee. Eteläisimmillä tuntureilla alpiininen metsänraja jää 200–300 metriä alle laskennallisen korkeusrajan. Heikinheimo arveli lumituhoilla olevan olennaista vaikutusta siihen. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan viimeaikaisten mittausten ja kirjallisuus

Tasanen, T., Varmola, M. & Niemi, M. (toim.). Metsänraja tutkimuksen kohteena. Tutkimuspäivä Ylläksellä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 539: 7–15.

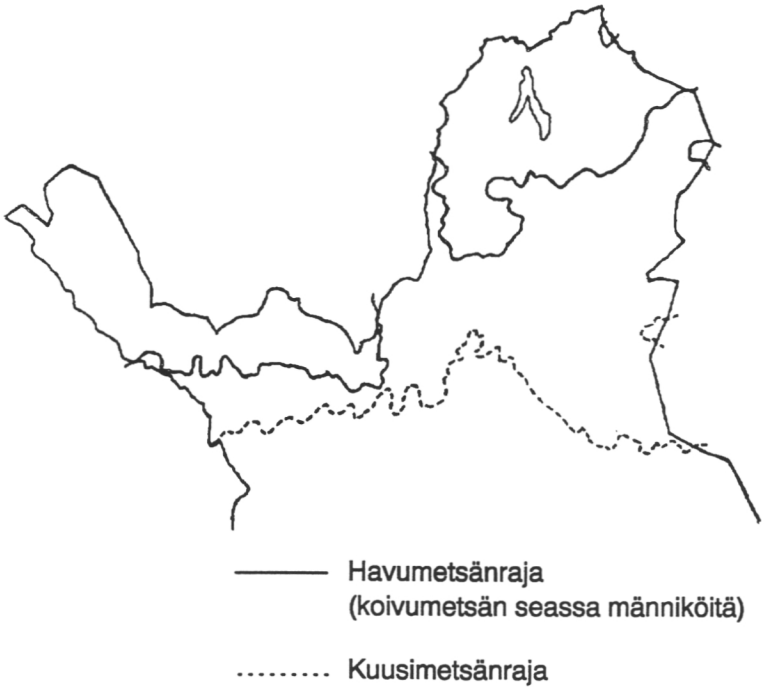
tietojen perusteella havumetsänrajan sijaintiin vaikuttavia tekijöitä Suomessa.

Pohjoinen havumetsänraja

Heikinheimo (1921) laski säähavaintojen perusteella, että pohjoinen havumetsänraja sijaitsee siinä, missä heinäkuun keskimääräinen isotermi on +10,5 °C tai kesäkuukausien isotermi on +8,5 °C. Jo Kihlman (1890) aloitti metsänrajan vertaamisen isotermeihin. Numeerisella ilmastomallilla ja paikkatietojärjestelmällä kyetään nykyisin laskemaan varsin tarkasti keskimääräinen lämpösumma annettuun pisteeseen tiettynä kautena (Ritari & Nivala 1993). Täten määritettynä normaalikauden 1961–1990 keskimääräinen lämpösummakäyrä 600 d.d. (kynnysarvo +5 °C) yhtyy melko tarkasti polaariseen havumetsänrajaan. Puuraja asettuu suunnilleen kohtaan, missä lämpösumma on 550 d.d.

Huomattava osa metsänrajan määräytymisen selitysmalleista on kytketty kasvukauden lämpöoloihin (Tuhkanen 1993). Pohjois-Suomen tilanteessa looginen selitysmalli perustuu hiilitaseeseen. Metsänraja asettuu sellaiseen kohtaan, missä puiden yhteyttämisen tuotos on jäämässä kulutusta pienemmäksi liian alhaisen lämpötilan vuoksi, eli hiilitase kääntyy negatiiviseksi. Jokainen elävä solu tarvitsee energiaa hengitykseensä elintoimintojen ylläpitämiseksi. Myös vanhenevia solukoita on korvattava uusilla eli yhteytystuotteita sitoutuu puun kasvuun. Puun koon suuretessa energiantarve lisääntyy. Samalla riski hiilitaseen jäämisestä negatiiviseksi kasvaa (Daubenmire 1954). Kasvukautinen lämpöolojen vaihtelu on huomattavaa metsänrajalla. Toistaiseksi ei ole selvitetty, kuinka pitkään hiilitase voi jäädä negatiiviseksi niin, että puu pysyy elossa. Tätä kysymystä on tarkasteltu yleensä yhden kasvukauden puitteissa (Kallio 1978, Tranquillini 1979). Yleisesti voidaan päätellä, että mitä alhaisemmaksi lämpösumma jää, sitä suuremmaksi hiilitaseen vaje muodostuu. Samalla puun riski altistua seuraustuhoille, kuten ankarille säätekijöille, sienitaudeille ja hyönteistuhoille, kasvaa (Norokorpi 1982). Lämpösummaa on käytetty varsin vähän muualla metsänrajatutkimuksissa. Toisaalta Suomessa lämpösumman määrittämisellä ja käytöllä on pitkähköt perinteet maa- ja metsätaloudessa sekä kasviekologiassa ja -fysiologiassa.

Mänty muodostaa miltei poikkeuksetta pohjoisen havumetsänrajan Suomessa. Kuusen metsänraja jää yleensä selvästi etelämmäksi (kuva 1). Se ei määräydy kasvukauden lämpöolojen mukaan. Kuusi tulee toimeen yhtä alhaisen lämpösumman alueella kuin mänty. Tästä on esimerkkinä muunmuassa Sarmitunturin ja Hammastunturin alue Inarissa. Myös kuusen puuraja yhtyy suurin piirtein männyn metsänrajaan. Heikinheimon (1921) mukaan olennaisin kuusen leviämiseen ja siten puulajisuhteiden muodostumiseen



Kuva 1. Pohjoinen havumetsänraja ja kuusimetsänraja (Suomen kartasto 1988).

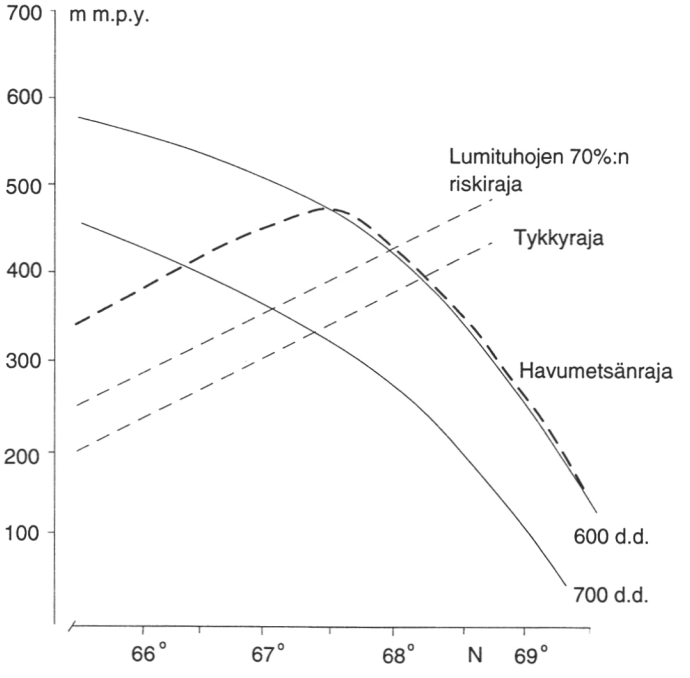
vaikuttava tekijä on pohjoisessa kuivien ja karujen kangasmetsätyyppien vallitsevuus. Kuusen leviäminen sellaisilla kasvupaikoilla on hidasta ja metsäpalot ovat tuhoisia. Samanlainen tilanne on Friesin (1913) mukaan Ruotsin Lapissa.

Alpiininen metsänraja

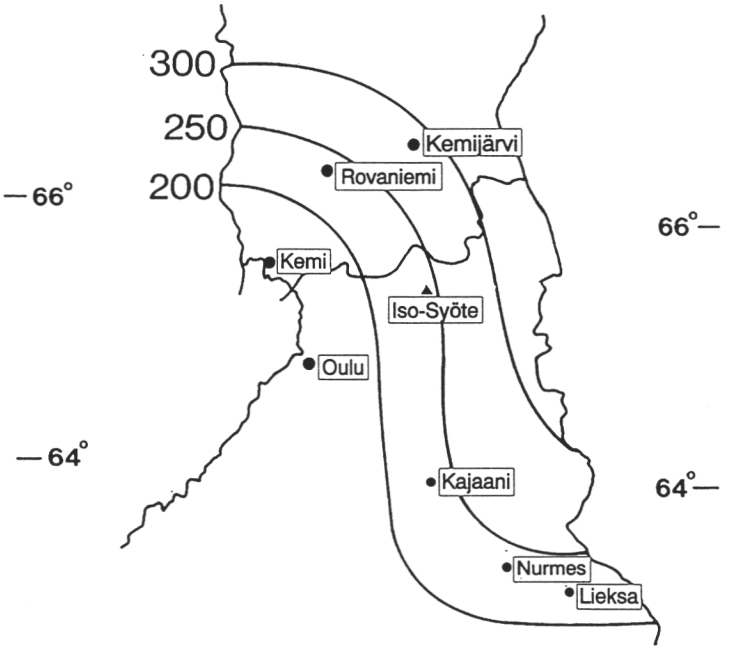
Tykyn muodostus ja tykkyrajat

Havumetsänraja sijaitsee Suomessa korkeimmillaan suojametsäalueen etelärajan tuntumassa Saariselän eteläpuolella (67 ° 30 °N) keskimäärin 500 metrin korkeudella (Heikinheimo 1921, Norokorpi 1981). Sieltä se laskee myös etelään päin, eikä voi siten selittyä kasvukauden lämpöolojen mukaan (kuva 2).

Heikinheimo (1920) teki aikoinaan selvityksen myös Suomen lumituhoalueiden metsistä. Hän totesi, että lumituhojen määrä riippuu selvästi maaston korkeudesta ja että niillä on olennainen merkitys metsänrajan sijaintiin. Heikinheimon aineiston perusteella Solantie (1974) määritteli metsiköiden lumituhojen alarajakäyrät eli ns. tykkyrajat (kuva 3).



Kuva 2. Havumetsänrajan, tykkyrajan sekä 600 ja 700 d.d:n lämpösummakäyrän sijaintikorkeus leveyspiirin mukaan 27 °E-pituuspiirillä (Norokorpi 1981).



Kuva 3. Tykyn säännöllisen esiintymisen alaraja, ns. tykkyraja, m mpy (Solantie 1974).

Tykky tarkoittaa puihin kasautunutta ja tiukasti kiinnittynyttä lunta, jäätä ja huurretta. Tykkyrajan yläpuolella lumituhoja esiintyy säännöllisen toistuvasti. Raja sijaitsee sitä alempana, mitä lähempänä alue on Perämerta. Tykynmuodostus lisääntyy vaaranrinteillä ylöspäin, koska ilma jäähtyy nopeasti ylöspäin mentäessä varsinkin syystalvella (Heikinheimo 1920, Solantie 1974). Siksi lunta saadaan vaaroilla sitä aikaisemmin, mitä korkeammalla alue sijaitsee. Perämeri vaikuttaa olennaisesti tykynmuodostukseen. Sieltä purkautuu kosteaa ilmaa, joka kohdatessaan vaarajonoja joutuu nousuliikkeeseen ja jäähtyy. Vesihöyryjä tiivistyy runsaasti jäähtyvästä ilmasta sekä sateeksi että huurteeksi etenkin alkutalvesta.

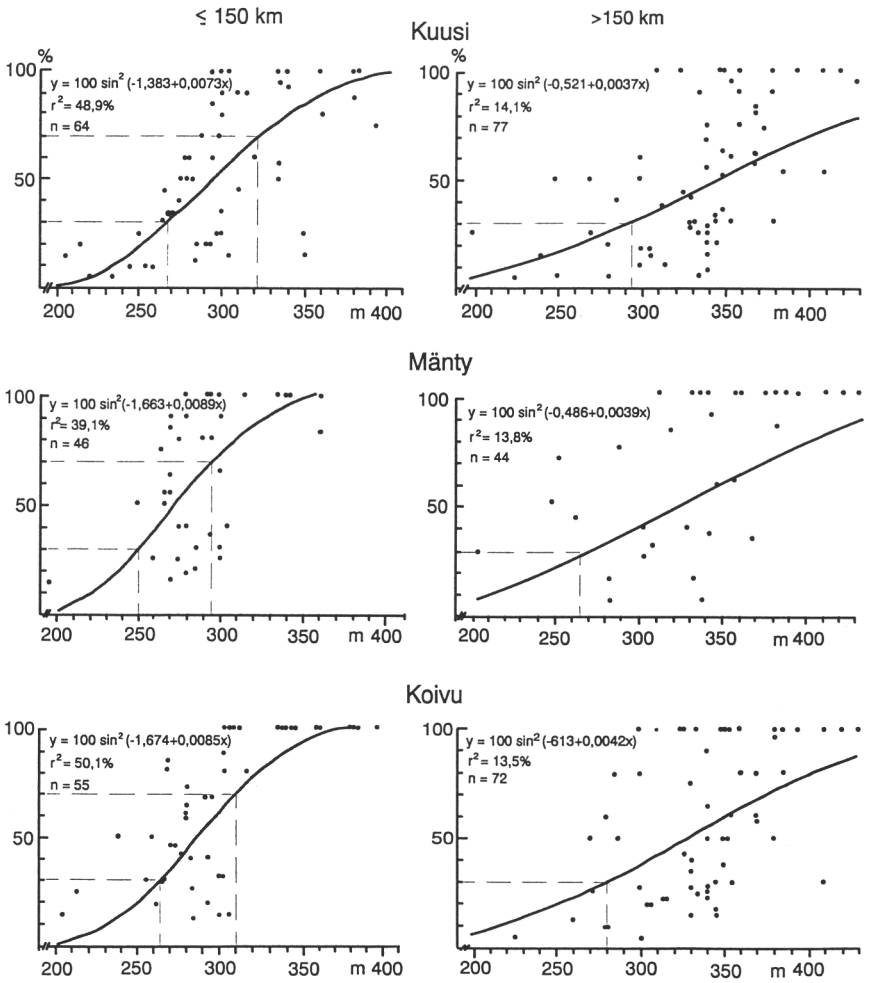
Pitkään jäättömänä pysyvä Perämeri viivyttää talven tuloa sitä enemmän mitä lähempänä rannikkoa alue sijaitsee. Vastaavasti se kausi pitenee, jona sataa räntää, jäätävää tihkua tai lunta, normaalia lauhemmalla säällä. Puihin syntyy silloin luja lumi-, jää- ja huurrepohja, jonka varaan kasautuu lisää tykkyä talven mittaan (Heikinheimo 1920). Edetessään kauemmaksi Perämerestä ilmamassat menettävät kosteutta, ja tykkyraja nousee vastaavasti.

Lumituhojen riippuvuus maaston korkeudesta

Heikinheimon (1920) aineiston perusteella analysoitiin aikaisempaa tarkemmin lumituhojen riippuvuutta maaston korkeudesta eri etäisyyksillä Perämerestä. Samalla selvitettiin lumituhojen määrää tykkyrajalla ja vertailtiin puulajien tuhoalttiutta. Aineisto jaettiin kahteen luokkaan tai vyöhykkeeseen sen mukaan, kuinka kaukana Perämerestä havaintometsikkö sijaitsi: alle ja yli 150 km:n etäisyydellä. Siten aineisto jakautui suunnilleen yhtä suuriin osiin puulajeittain.

Lumituhojen määrä riippui erittäin merkitsevästi maaston korkeudesta alle 150 km:n etäisyysluokassa (kuva 4). Lasketut regressioyhtälöt selittivät noin 50 % kuusen ja koivun tykkytuhojen vaihtelusta. Männyllä selitysaste oli 39 %. Hajonta oli selvästi suurempi etäisyysluokassa yli 150 km. Perämerestä lasketun keskimääräisen etäisyyden mukaan määritettynä havaintometsiköiden tykkyraja sijaitsi 260 metrin korkeudella lähimmässä etäisyysvyöhykkeessä. Tätä korkeutta vastaava keskimääräinen lumituhoprosentti oli 30 (kuva 4). Samaan keskiarvoon päädyttiin myös toisessa etäisyysvyöhykkeessä.

Kuusi kestää parhaiten, koivu seuraavaksi parhaimmin ja mänty huonoimmin tykyn vaikutuksia. Tykkyrajalta eli lumituhojen 30 %:n esiintymiskorkeudelta 150 metriä ylöspäin tuhofrekvenssi oli kuusella 100 %. Männyllä se oli vastaavasti 50 metriä alempana. Kuvassa 2 on piirrettynä havumetsänrajan tasoitettu korkeussijainti pääpiirteissään Suomen eteläisimmältä tunturilta Pudasjärven Isolta-Syötteeltä Utsjoelle. Kun kaavioon piirrettiin vastaavasti maaston korkeuden ja leveyspiirin funktiona tykkyrajan sijainti, havaittiin sen asettuvan samansuuntaisesti metsänrajan kuvaajan



Kuva 4. Kuusen, männyn ja koivun lumituhoprosentin riippuvuus maaston korkeudesta Pohjois-Suomen lumituhoalueilla etäisyysvyöhykkeillä alle ja yli 150 km Perämeren rannikosta. Laskettu Heikinheimon (1920) aineiston perusteella.

kanssa, mutta 150 metriä sen alapuolelle. Siten metsänraja sijaitsee kohdassa, missä kuusen lumituhoprosentti on 100. On pääteltävissä, että siinä tykkytuhot estävät kokonaan puuston kasvun ja uudistumisen.

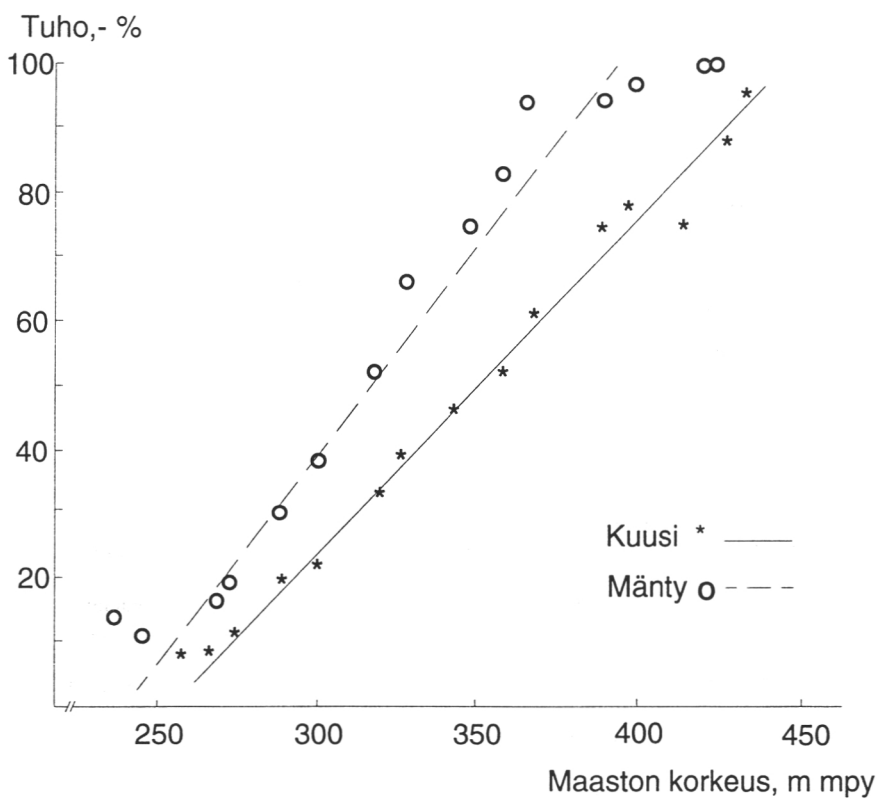
Mallin testaus empiirisesti Kuusamossa

Alpiinisen metsänrajan määräytymismallia testattiin Kuusamon kunnan alueella samassa yhteydessä, kun selvitettiin maaston korkeuden vaikutusta metsikön puuntuotantokykyyn sekä muitten paikallisten erityispiirteiden

huomioon ottamista metsäveroluokituksessa (Norokorpi & Kärkkäinen 1985). Aineistoa kerättiin yhteensä 58 vaaralta erisuuntaisilta rinteiltä, missä puusto oli varttunutta ja luonnontilaista tai enintään lievästi hakkuin käsiteltyä.

Kuusamossa tykkyraja sijaitsee keskimäärin 300 metrin korkeudella. Siinä keskimääräinen lumituhoprosentti oli 30 (kuva 5). Se lisääntyi suoraviivaisesti maaston korkeuden noustessa. Kuusen lumituhoprosentti oli 100 tykkyrajasta 150 metriä ylöspäin. Vastaava tilanne oli männyllä 50 metriä alempana. Siten Kuusamon mittausaineistosta saatiin vastaavat tulokset kuin Heikinheimon aineistosta laskennallisesti.

Lisäksi voitiin todeta, että metsiköiden puulajisuhteet muuttuivat erittäin jyrkästi tykkyrajalla. Männyn osuus laski noin 20 %:iin ja pysyi keskimäärin samalla tasolla siitä ylöspäin. Vastaavasti kuusen osuus nousi 60–70 %:iin. Maan raekoostumuksella ja kasvupaikkatyypillä ei todettu olevan olennaista vaikutusta puulajisuhteisiin tykkyalueilla. Pitkien aikojen kuluessa kuusi on valikoitunut lumituhoja parhaiten kestävänä vallitsevaksi puulajiksi tykkyalueilla ja muodostaa siten pääasiassa havumetsänrajan 68 ° leveyspiiriltä etelään.



Kuva 5. Kuusen ja männyn lumituhoprosentin riippuvuus maaston korkeudesta Kuusamossa (Norokorpi & Kärkkäinen 1985).

Yhteenveto

Havumetsänraja sijaitsee Suomessa korkeimmillaan suojametsäalueen etelärajan tuntumassa Saariselän eteläpuolella (67 ° 30 °N) keskimäärin 500 metrin korkeudella. Sieltä raja laskee sekä pohjoiseen että etelään päin. Pohjoisessa havumetsänraja asettuu kohtaan, missä keskimääräinen lämpösumma on noin 600 päiväastetta (d.d.). Kasvukauden lämpöolot säätelevät minimitekijänä puiden yhteytystoimintaa. Kun yhteytystuotteita ei synny riittävästi puiden elintoimintojen ylläpitämiseen, sulkeutunut metsä loppuu ja vain kestävimmät yksilöt voivat pysyä elossa puurajalle, noin 550 päiväasteen käyrälle asti.

Saariselältä etelään päin havumetsänrajaa säätelevät talviset tekijät. Mitä lähempänä Perämerta alue sijaitsee, sitä alempana on ns. tykkyraja, jonka yläpuolella lumituhoja esiintyy lähes vuosittain. Raja on Etelä-Lapissa, Koillismaalla ja Kainuussa 200–300 metrin välillä. Tykynmuodostus lisääntyy vaaranrinnettä ylöspäin. Metsänraja asettuu suunnilleen 150 metriä tykkyrajan yläpuolelle kohtaan, missä lumituhot estävät kokonaan puuston kasvun ja uudistumisen. Kapealatvainen kuusi kestää parhaimmin lumituhoja. Tämän vuoksi se on vallitseva puulaji varsinaisilla lumituhoalueilla ja muodostaa usein havumetsänrajan Saariselän eteläosien tasalle asti. Sieltä pohjoiseen mänty on vallitseva havupuu.

Kirjallisuus

Aario, L. 1940. Waldgrenzen und subrezenten Pollenspektren in Petsamo Lappland. Annales Academiae Scientiarum Fennicae A 54 (8): 1–120.

Auer, V. 1927. Untersuchungen über die Waldgrenzen und Torfböden in Lappland. Communicationes ex Instituto Quaestionum Forestalium Finlandiae Editae 12 (4): 1–52 + I–XIV.

Daubenmire, R. 1954. Alpine timberlines in the Americas and their interpretation. Butler University Botanical Studies 11: 119–136.

Fries, Th. 1913. Botanische Untersuchungen im nördlichen Schweden. Ein Beitrag zur Kentniss der alpinen und subalpinen Vegetation in Torne Lappmark. Almqvist & Wiksell, Uppsala & Stockholm. 361 s.

Heikinheimo, O. 1920. Suomen lumituhoalueet ja niiden metsät. Referat: Die Schneeschadengebiete in Finnland und ihre Wälder. Communicationes ex Instituto Quaestionum Forestalium Finlandiae Editae 3. 134 s.

— 1921. Suomen metsänrajametsät ja niiden vastainen käyttö. Referat: Die Waldgrenzwälder Finnlands und ihre künftige Nutzung. Communicationes ex Instituto Quaestionum Forestalium Finlandiae Editae 4. 91 s.

Hustich, I. 1948. The Scotch pine in northernmost Finland and its dependence on the climate in the last decades. Acta Botanica Fennica 42: 1–75.

— 1958. On the recent expansion of the Scotch pine in Northern Europe. Fennia 82: 1–25.

Kallio, P. 1978. Kasvien sopeutuminen pohjoiseen. Acta Lapponica Fenniae 10: 101–107.

— & Norokorpi, Y. & Sepponen, P. 1983. Lapin tutkimusasemien yhteistoiminta ja metsänrajan seuranta. Luonnon Tutkija 87: 171–175.

— & Hurme, H., Eurola, S., Norokorpi, Y. & Sepponen, P. 1986. Research activities on the forest line in northern Finland. Arctic 39 (1): 52–58.
Kihlman, A.O. 1890. Pflanzenbiologische Studien aus Russisch Lappland. Ein Beitrag zur Kentniss der regionalen Gliederung an der polaren Waldgrenze. Acta Societatis pro Fauna et Flora Fennica 6 (3). 263 s. + 24 liites.
Norokorpi, Y. 1981. Lakimetsien rajaamisen perusteita. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 24: 59–65.
— 1982. Pohjois-Lapin metsien ekologiset erityispiirteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 77: 14–23.
— & Kärkkäinen, S. 1985. Maaston korkeuden vaikutus puusto- ja kasvupaikkatunnuksiin sekä tykkytuhoihin Kuusamossa. Summary: The effect of altitude on stand and site characteristics and crown snow-load damage in Kuusamo in northern Finland. Folia Forestalia 632. 26 s.
Renvall, A. 1912. Die periodischen Erscheinungen der Reproduktion der Kiefer an der polaren Waldgrenze. Acta Forestalia Fennica 1. 154 s.
Ritari, A. & Nivala, V. 1993. Pohjois-Suomen numeerinen ilmastomalli mesoskaalassa. Julkaisussa: Nikula, A., Ritari, A. & Lahti, M.-L. (toim.). Paikkatiedon ja sateliittikuvainformaation käyttö metsäntutkimuksessa. Tutkimuspäivä Rovaniemellä 1993. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479: 88–98.
Solantie, R. 1974. Pohjois-Suomen lumipeitteestä. Lapin ilmastokirja. Acta Lapponica Fenniae 8: 74–89 s.
Suomen kartasto. 1988. Kasvillisuus ja kasvisto. Maanmittaushallitus, Helsinki. Vihko 141. 10 s.
Tranquillini, W. 1979. Physiological ecology of the alpine timberline. Tree existence at high altitudes with special reference to the European Alps. Springer–Verlag, Berlin–Heidelberg–New-York. 137 s.
Tuhkanen, S. 1993. Metsänraja suhteessa ilmastoon erityisesti maapallon mereisillä alueilla. Nordia tiedonantoja sarja B (1): 7–36.

Kuusen ja männyn leviämishistorian ja ilmastoon sopeutumisen vaikutuksia

ALPO LUOMAJOKI

Metsäntutkimuslaitos, Kolarin tutkimusasema
95900 KOLARI

Kuusen leviämishistoria tunnetaan paremmin kuin männyn (Aartolahti 1966, Tolonen 1983, Hyvärinen 1987). Syynä on se, että kuusi levisi myöhemmin Suomeen, noin 5500–2500 vuotta sitten, kun taas mänty levisi maahamme jo noin 10000–7000 vuotta sitten. Kuusen siitepölymäärät ovat pienempiä kuin männyn ja siitepölykerrostumiin perustuvat arviot kuusen metsänrajan liikkeistä jääkauden jälkeen ovat siksi tarkempia.

Toisaalta männyn fysiologiaa, sen kukkimista, siemensatoa ja jalostamista on tutkittu perusteellisemmin kuin kuusen. Syynä on mm. männyn suuri taloudellinen merkitys ja männyn säännöllinen kukkiminen ja siementuotos.

Kuusen huonosti tunnetun fysiologian vuoksi on vaikeata sanoa, vastaako kuusen fysiologia sen morfologista monimuotoisuutta. Ensimmäiset tulokset viittaavat siihen, että näin ei ole asian laita. Mänty on spesifisesti sopeutunut maantieteelliseen kasvupaikkaansa, eivätkä siemensiirrot ilmastollisesti ankarampiin oloihin ole mahdollisia (Koski 1989). Männyn kukkimisen lämpösummavaatimukset muuttuvat selvästi leveyspiirin mukaan (Luomajoki 1993a). Kuusi on molemmissa suhteissa männyn vastakohta: sen siementaimia voi siirtää siemenen alkuperää pohjoisemmaksi taimikuolleisuuden nousematta suureksi (Koski 1989). Kuusen kukkimisen lämpösummatarve ei juuri muutu etelä-pohjoissuunnassa (Luomajoki 1993b).

Männyn voi hiukan kärjistäen sanoa jakautuvan etelä-pohjoissuunnassa kliinin tavoin fysiologisiin ekotyyppeihin, kuitenkin ilman populaatiorajoja. Kuusen sopeutuminen samassa suunnassa näyttää perustuvan enemmänkin fenotyyppiseen plastisuuteen eli ilmiasulliseen muovautuvuuteen. Toki plastisuudellakin on geneettinen perustansa (Schlichting & Levin 1986), mutta

Tasanen, T., Varmola, M. & Niemi, M. (toim.). Metsänraja tutkimuksen kohteena. Tutkimuspäivä Ylläksellä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 539: 16–22.

mitattaviin fysiologisiin arvoihin perustuen kuusta ei voi jakaa ekotyyppeihin. Isoentsyymitutkimukset antavat kuusesta saman kuvan: perinnöllinen vaihtelu ei Suomen alueella vähene eikä lisäänny pohjoiseen päin siirryttäessä (Tigerstedt 1973). Geneettinen vaihtelu ei tosin vähene männylläkään (Tigerstedt ym. 1979).

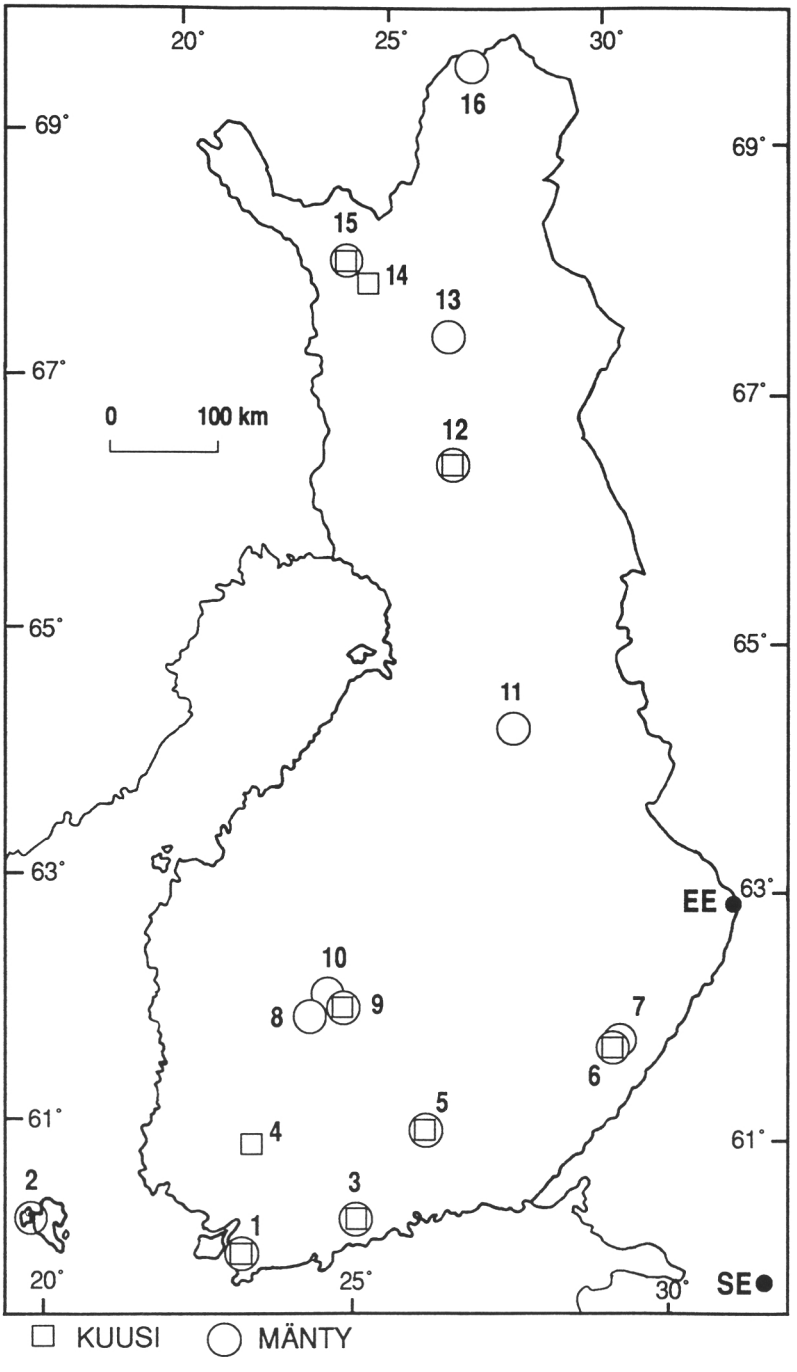
Vallitsevien lounaistuulien ja siitepölyn kaukolevinnän ansiosta geenivirta kulkee etelästä pohjoiseen. Tämä ylläpitää geneettistä monimuotoisuutta ja tuo paikallispopulaatioihin eteläisiä piirteitä ja mahdollisesti heikompaa sopeutuvuutta (Tigerstedt ym. 1979).

Jääkauden jälkeisillä pitkillä vaelluksilla on ollut epäilemättä geneettiset seurauksensa: kauaksi pohjoiseen vaeltaneet populaatiot ovat mahdollisesti köyhtyneet kovassa valintapaineessa (Critchfield 1984, Schmidt-Vogt 1986, Lagercrantz & Ryman 1990). Suurimman sopeutuvuuden ja plastisuuden katsotaan kummallakin lajilla jääneen Valko-Venäjän, Puolan itäosien ja Etelä-Baltian seuduille (Schmidt-Vogt 1986, Giertych 1991). Kumpikin kirjoittaja pitää Suomen populaatioita geneettisesti köyhtyneinä. Edellä mainittuja keski-eurooppalaisia alkuperiä pidetään erityisen sopivina siirrettäväksi muualle juuri sopeutuvuutensa vuoksi. Siirroissa tulevat kuitenkin lajikohtaiset rajat vastaan: mäntyä ei voi siirtää etelä-pohjoissuunnassa yhtä paljon kuin kuusta.

Ajatus pohjoisten populaatioiden köyhtymisestä (Sarvas 1966) on kaavamaisuutensa takia jouduttu osittain hylkäämään. Mitataan sitten isoentsyymejä (Tigerstedt 1973, Muona ym. 1990) tai fenologiaa (Mikola 1982, Luomajoki 1984, 1993a, 1993b), vaihtelua riittää aina metsänrajalle asti. Toisaalta, jos kukkimisen lämpösummatarpeita punnitaan vuotuisella lämpösummalla (kuva 1 ja 2), havaitaan, etteivät kuusi eikä mänty jaksa enää sopeutua suhteessa vuotuiseen kokonaislämpösummaan Linsserin (1867) tarkoittamalla tavalla Keski-Suomessa ja siitä pohjoiseen päin (Sarvas 1967, Luomajoki 1993a, 1993b). Tämä selittää myös sen seikan, ettei männyn siemensato kypsy kokonaan edes Keski-Suomen pohjoisosissa lämpöoloiltaan normaalina vuonna (Sarvas 1970, Henttonen ym. 1986, Kortesharju 1991). Kuusen siemenen maturaatioraja lienee männyn rajaa hiukan pohjoisempana (Luomajoki 1993b).

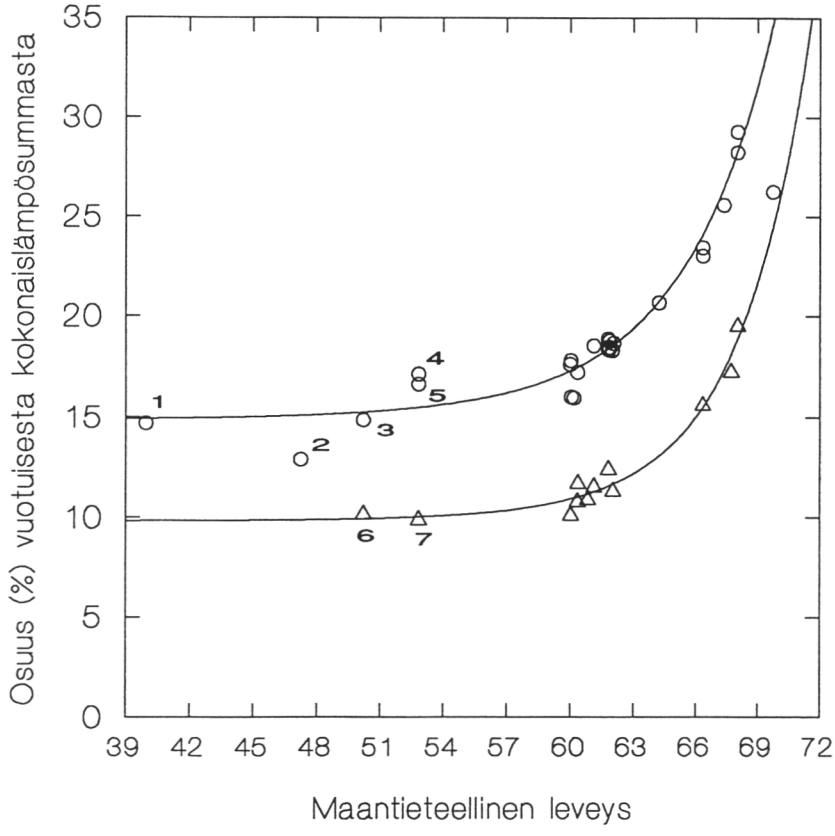
Näyttääkin siltä, että pohjoisten metsien reuna-alueen olot ovat liian ankarat, jotta puut voisivat Keski- ja Pohjois-Suomessa sopeutua yhtä täydellisesti ilmastoon kuin Keski-Euroopassa. Näin vain on, vaikka mitään varsinaista geneettistä köyhtymistä ei ole voitu osoittaa sen paremmin isoentsyymeillä kuin fenologisellakaan tasolla.

Voidaan kuitenkin pitää todennäköisenä, että edellä mainituilla Keski-Euroopan alkuperillä on todellakin enemmän fenotyyppistä plastisuutta, joka puskurina ympäristönmuutoksia vastaan vaikuttaa geneettiseen erilaistumiseen (vrt. Schlichting & Levin 1986). Ilmiasullinen muovautuvuus on sitten vaellusajan ilmastollisissa koettelemuksissa pohjoisilta populaatioilta karsiutunut vähemmäksi.



Kuva 1. Kuusen ja männyn hedekukkimisen tutkimuspaikkakunnat. 1. Bromarv (liitetty Tammisaareen 1993), 2. Eckerö, 3. Tuusula, 4. Jokioinen, 5. Heinola, 6. Punkaharju,7. Kerimäki, 8. Ruovesi, 9. Kuorevesi, 10. Vilppula,11. Kajaani, 12. Rovaniemi, 13. Sodankylä, 14. ja 15. Kittilä ja 16. Utsjoki.

Vaikka kuusen kukkimisen lämpösummavaatimukset eivät muutukaan etelä-pohjoissuunnassa merkitsevästi, ne silti muuttuvat vaellussuunnassa tilastollisesti merkitsevästi idästä länteen (Luomajoki 1993b). Männynkään kohdalla muutoksen jyrkin gradientti ei ole etelästä pohjoiseen vaan suunnilleen kaakosta luoteeseen (Luomajoki 1993a). Tämä kuvastaa vaellushistoriallisia eroja: mänty levisi maahamme kaakosta ja kuusi idästä (Tolonen 1983, Hyvärinen 1987).



Kuva 2. Kuusen (Δ) ja männyn (O) hedekukkimisen vaatima suhteellinen lämpösumma prosentteina vuotuisesta kokonaislämpösummasta. Hedekukkimisen tehoisa lämpösumma (> 5°C) on mitattu siitä ajankohdasta, kun puolet siitepölystä on irronnut. Suomen eteläpuoliset havainnot on numeroitu seuraavasti:

1. Catacik 1971–73 (Boydak 1975)
2. Kamonin vartekokoelma1981–84 (Koski 1987)
3. Bedovice 1959 (Sarvas 1967 viitaten Chalupaan 1964)
4. Eberswalde 1968 (Luomajoki 1993a)
5. Eberswalde 1933, 1936 (Sarvas 1967 viitaten Scamoniin 1955)
6. Bedovice 1958 (Sarvas 1967 viitaten Chalupaan 1964)
7. Eberswalde 1936 (Sarvas 1967 viitaten Scamoniin 1955)

Kuusen sopeutuvuudessa on tunnetusti aukkoja: se on vaateliaampi maaperän kosteuden ja boniteetin suhteen kuin mänty. Tällä seikalla on suuri metsätaloudellinen merkitys. Kuusi kärsii toistuvasti keväthalloista; mänty taas ei juurikaan ole hallanarka. Käpy- ja siementuholaiset ovat mieltyneet kuuseen. Kuusen suuria vuosittaisia kukinnan vaihteluita on pidetty osoituksena sopeutumisstrategiasta, jolla tuholaisten kanta saadaan toistuvasti romahtamaan siedettävälle tasolle kävyttöminä välivuosina (Annila 1981).

Kummankin puulajin selviytymisstrategia on toiminut, eikä mitään katastrofia ole tapahtunut jääkauden jälkeisenä aikana. Mänty on joutunut perääntymään Pohjois-Lapissa asemistaan, jotka se sai holoseenikauden aikana. Noin 5000 vuotta sitten alkanut metsänrajan perääntyminen (Eronen 1979, Alho 1990) on muuttunut ajoittain vähäiseksi etenemiseksi tällä vuosisadalla 1930- ja 50-luvuilla (Hustich 1948, 1958, Sirén 1961) ja uudelleen myös aivan äskettäin (Sirén 1993).

Kuusen metsänraja on Ruotsin tuntureilla viime aikoina taantunut – kenties ilmaston äärevöitymisen vuoksi (Kullman 1989, Kullman & Högberg 1989) – vaikka kuusellakin on ollut etenemisen kausia 1930- ja 1940-luvuilla (Kullman 1991, Kullman & Engelmark 1991).

Viimeaikaiset ilmastonmuutokset eivät ole vielä aiheuttaneet mitään olennaista eroa selviytymisessä lajien välille. Suuria ilmastonmuutoksia on kyllä ennustettu, mutta varmuus niiden todellisesta voimakkuudesta puuttuu (Harrington 1987). Odotetun lämpenemisen alueellinen ja vuodenaikainen jakautuminen sekä ilmaston kosteuden muutokset varmaankin jo loisivat suurempia eroja kuusen ja männynkin menestymiseen.

Kirjallisuus

Aartolahti, T. 1966. Über die Einwanderung und die Verhäufigung der Fichte in Finnland. Annales Botanici Fennici 3: 368–379.

Alho, P. 1990. Suomen metsittyminen jääkauden jälkeen. Summary: The history of forest development in Finland after the last Ice Age. Silva Fennica 24 (1): 9–19.

Annila, E. 1981. Kuusen käpy- ja siementuholaisten kannan vaihtelu. Summary: Fluctuations in cone and seed insect populations in Norway spruce. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 101. 32 s.

Boydak, M. 1975. Researches on the seed crop of Scots pine (Pinus silvestris L.) in Eskisehir-Çatacik forest region. University of Istanbul. Doctoral thesis. 83 p.

Chalupa, V. 1964. Dynamika kvetení lesních drevin. Summary: The flowering of forest trees. Práce výzkumných ústavu lesnických (CSSR) 28: 139–173.

Critchfield, W. B. 1984. Impact of the pleistocene on the genetic structure of North American conifers. Julkaisussa: Lanner, R. P. (toim.). Proceedings 8th North American Forest Biology Workshop, July 30 – August 1 1984, Utah State University, Logan s. 70–118.

Eronen, M. 1979. The retreat of pine forest in Finnish Lapland since the holocene climatic optimum: a general discussion with radiocarbon evidence from subfossil pines. Fennia 157 (2): 93–114.

Giertych, M. 1991. Provenance variation in growth and phenology. Julkaisussa: Giertych, M. & Matyas, C. (toim.) Genetics of Scots pine, Akadémiai Kiadó, Budapest: 87–101.

Harrington, J. B. 1987. Climatic change: A rewiew of causes. Canadian Journal of Forest Research 17: 1313–1339.
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.
Hustich, I. 1948. The Scotch pine in northernmost Finland and its dependence on the climate in the last decades. Acta Botanica Fennica 42. 75 s.
— 1958. On the recent expansion of the Scotch pine in Northern Europe. Fennia 82 (3): 25 s.
Hyvärinen, H. 1987. History of forests in Northern Europe since the last glaciation. Annales Academiae Scientiarum Fennicae, Series A. III. Geologia-Geographica 145: 7–18.
Kortesharju, J. 1991. Lämpösumman vaikutus männyn siemenen tuleentumiseen Pohjois-Suomessa. Luonnon Tutkija 95: 124–126.
Koski, V. 1987. Long geographic transfers, a possible way of eliminating pollen contamination in advanced generation seed orchards of Pinus sylvestris. Forest Ecology and Management 19: 267–271.
— 1989. Siemensiirrot ja ilmastoon sopeutuminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 328: 20–37.
Kullman, L. 1989. Cold-induced dieback of montane spruce forests in the Swedish Scandes — a modern analogue of paleoenvironmental processes. New Phytologist 113: 377–389.
— 1991. Structural change in a subalpine birch woodland in North Sweden during the past century. Journal of Biogeography 18 (1): 53–62.
— & Engelmark, O. 1991. Historical biogeography of Picea abies (L.) Karst and its subarctic limit in northern Sweden. Journal of Biogeography 18 (1): 63–70.
— & Högberg, N. 1989. Rapid natural decline of upper montane forests in the Swedish Scandes. Arctic 42 (3): 217–226.
Lagercrantz, U. & Ryman, N. 1990. Genetic structure of Norway spruce (Picea abies): Concordance of morphological and allozymic variation. Evolution 44 (1): 38–53.
Linsser, C. 1867. Die periodischen Erscheinungen des Pflanzen-lebens in ihrem Verhältniss zu den Wärmeerscheinungen. Memoires de L'Académie Impériale des Sciences de St.-Pétersbourg, VII_E Serie. Tome XI,7. 44 s.
Luomajoki, A. 1984. The tetrad phase of microsporogenesis in trees with reference to the annual cycle. Hereditas 101: 179–197.
— 1993a. Climatic adaptation of Scots pine (Pinus sylvestris L.) in Finland based on male flowering phenology. Seloste: Männyn sopeutuminen Suomen ilmastoon hedekukkimisaikojen valossa. Acta Forestalia Fennica 237. 27 s.
— 1993b. Climatic adaptation of Norway spruce (Picea abies (L.) Karsten) in Finland based on male flowering phenology. Seloste: Kuusen sopeutuminen Suomen ilmastoon hedekukkimisaikojen perusteella arvioituna. Acta Forestalia Fennica 242. 28 s.
Mikola, J. 1982. Bud-set phenology as an indicator of climatic adaptation of Scots pine in Finland. Silva Fennica 16 (2): 178–184.
Muona, O., Paule, A., Szmidt, A. E. & Kärkkäinen, K. 1990. Mating system analysis in a Central and Northern European population of Picea abies. Scandinavian Journal of Forest Research 5: 97–102.
Sarvas, R. 1966. Problems of tree improvement near the arctic and the alpine tree lines. Actas del Sexto Congreso Forestal Mundial, Madrid 1966, II: 1587–1590.
— 1967. The annual period of development of forest trees. Proceedings of the Finnish Academy of Science and Letters 1965: 211–231.
— 1970. Establishment and registration of seed orchards. Folia Forestalia 89. 24 s.
Scamoni, A. 1955. Beobachtungen über den Pollenflug der Waldbäume in Eberswalde. Summary: Observations on pollen dispersal by forest trees at Eberswalde. Zeitschrift für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung 4: 113-122.
Schlichting, C. D. & Levin, D. A. 1986. Phenotypic plasticity: an evolving plant character. Biological Journal of The Linnean Society 29: 37-47.
Schmidt-Vogt, H. 1986. Die Fichte. Vol.II/1. Paul Parey, Hamburg and Berlin. 563 s.
Sirén, G. 1961. Skogsgränstallen som indikator för klimatfluktuationerna i norra Fennoskandien under historisk tid. Summary: Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 54 (2). 66 s.

— 1993. Biological long-term evidence of the circumpolar subarctic climate oscillation. World Resource Review 5 (1): 77–83.
Tigerstedt, P. M. A. 1973. Studies on isozyme variation in marginal and central populations of Picea abies. Hereditas 75: 47–59.
— Hiltunen, R., Chung, M. S. & Morén, E. 1979. Inheritance and genetic variation of monoterpenes in Scots pine (Pinus sylvestris L.). Proceedings of the conference on biochemical genetics of forest trees. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Genetics and Plant Physiology, Report 1: 29–38.
Tolonen, K. 1983. Kuusen levinneisyyshistoriaa Suomessa. Summary: The history of Norway spruce, Picea abies, in Finland. Sorbifolia 14 (2): 53–59.

Piirteitä Ylä-Lapin puu- ja metsänrajan siirtymisestä 1900-luvulla

GUSTAF SIRÉN

Ulkopuolinen tutkija, Metsäntutkimuslaitos
Kolarin ja Rovaniemen tutkimusasemat

Parlamenttien välinen ilmaston muutosta koskeva ns. IPCC-raportti – josta ns. Brundtland-raportti (1989) on eräs muunnos – herätti 1980–luvun lopulla poliitikkojakin tajuamaan suurympäristömme merkityksen. Mikäli ilmansaastumista ei saada riittävän nopeasti hallittuun valvontaan, ilmakehän lämpeneminen katastrofin partaalle lienee väistämättä edessämme – jopa jo noin 200 vuoden kuluessa. Vaikka asiantuntijaryhmien ennuste johti kansainväliseen kokoukseen Riossa, sen jälkeen ei ole kuitenkaan saatu paljon aikaan. Toisaalta on ilmennyt, ettei IPCC-raportti kaikilta osiltaan vielä ole tieteen viimeinen sana joidenkin tärkeiden ilmiöiden suhteen. Esimerkiksi seuraavien tieteenalojen yksityiskohtia pohditaan edelleen vilkkaasti Nature-lehdessä ja astrofysiikan kirjallisuudessa:

- valtamerten ilmastoa tasoittava vaikutus näyttää olevan oletettua merkityksellisempi,
- tulivuorten purkausten seuraamukset voivat olla vaikutuksiltaan vastakkaisia,
- jotkut astrofysikaaliset ilmiöt ovat jääneet vaille riittävää huomiota,
- maapallon epäkeskiömuodon vaikutusta ilmakehään ei tunneta riittävästi.

Suuria toiveita herättäneen Rion kokouksen asettamat valtiolliset velvoitteet eivät ole toteutuneet. Toisin sanoen ihmiskunnan ympäristöystävällisten toimenpiteiden tuloksellisuus on edelleen toivottoman heikko. Poliitikkojen osoittaman aikaansaamattomuuden korjaaminen vaatii ympäristöongelmien globaalisten seuraamusten entistä syvällisempää ymmärtämistä.

Tasanen, T., Varmola, M. & Niemi, M. (toim.). Metsänraja tutkimuksen kohteena. Tutkimuspäivä Ylläksellä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 539: 23–34.

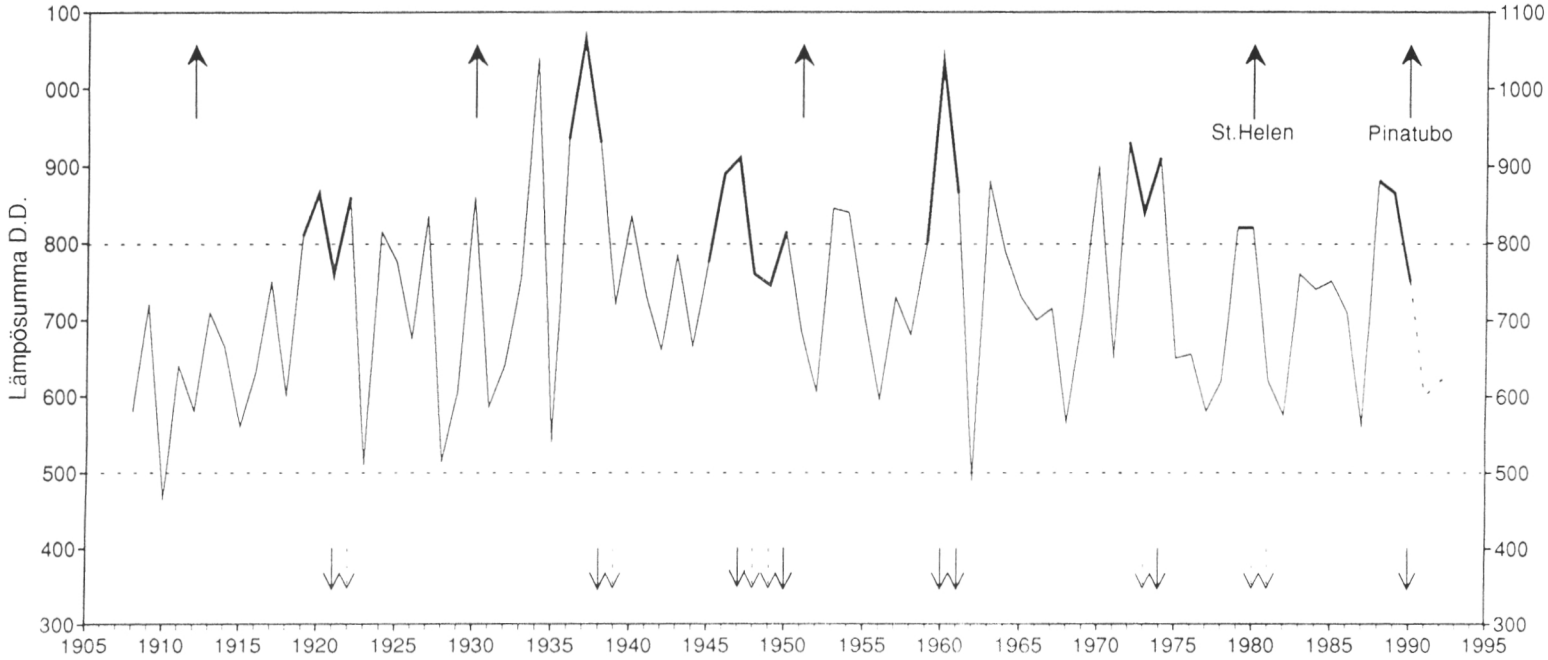
Suomen ilmaston tilaan lähimenneisyydessä voidaan tutustua Ilmatieteen laitoksen tutkimustulosten avulla. Huovila (1990) on julkaissut ilmaston muutosta valaisevan asetelman, jossa sekä muutoksen suunta että sen voimakkuus etenkin Pohjois-Suomen osalta ovat mielenkiintoisia. 30-vuotiskautena 1961–1990 säähavaintoasemien vuotuinen keskilämpötila on laskenut edelliseen 30-vuotiskauteen verrattuna n. 0,4 °C. Vähän myöhemmin Solantie (1992) on päätynyt Huovilan tulosta tukevaan tulkintaan. Samantapaisia tuloksia on saatu myös Ruotsissa (SMHI 1988). Tulos on selvästi ristiriidassa IPCC-ennusteen kanssa. Vuosilustoanalyysin perusteella tämän kirjoittaja päätyi 1960-luvulla niinikään kesäilmaston kylmenevään kehityssuuntaan vuosituhannen vaihteeseen mennessä (Sirén 1961). Mikäli männyn siemenvuosien tihenevää toistumista on todettavissa 1900-luvulla, ko. ilmiö kuitenkin viittaa ilmaston lämpenemiseen viimeisten sadan vuoden aikana. Itse asiassa luonteeltaan globaalinen muutos on esitetty niin työhypoteesina kuin lähtökohtafaktana (Wigley 1991).

Konkreettisten todisteiden vähäisyyden vuoksi esitetään seuraavassa sinänsä alustavia tuloksia siemensatovuosien ja männyn viimeaikaisen esiintymisen ja kehityksen vaihtelusta männyn puu- ja metsänrajan väliseltä tundrametsäalueelta.

Männyn siemensadon seuranta ja laadullinen parantaminen

Ylä-Lapissa varhemmat tutkimuksiin perustuvat tiedot metsänrajamännyn siemensadosta ovat peräisin vuosisatamme alkupuoliskolta (kts. Renvall 1912, 1919, Lassila 1920, Kujala 1927, Heikinheimo 1932, Hustich 1940, 1948). Viimemainittua lukuunottamatta, päätelmät olivat yleensä pessimistisiä. Eide (1932) oli kuitenkin ensimmäinen toteamaan v. 1920 siemenvuoden Pohjolan perukoilla. Toisaalta esimerkiksi Pulmangissa on parempia siemenvuosia yleensä kuin korkeammalla sijaitsevalla tundrametsäalueella. Vuosisatamme jälkipuoliskolla on sen sijaan saatu kohtalaisia tai runsaita männyn siemensatoja (kuva 1). Myös 1990-luvulla odotettiin hyvää siemenvuotta kahden lämpimän kesän (1989–90) jälkeen. Kesät 1991, -92 ja -93 olivat kuitenkin poikkeuksellisen kylmiä, joten vain mahdollinen aurinkoaktiviteetin huippu vuosina 1994–96 saattaa pelastaa tilanteen. Syyksi vuosien 1991–1993 kylmiin kesiin mainitaan Pinatubon tulivuoren purkaus, joka rehevöitti laaja-alaisesti Tyynen valtameren pintavesiä. Levät viheriöivät, sitoivat CO_2:a ja ilmakehä kylmeni (Martin ym. 1994, Kolber ym. 1994). Astrofyysikot ovat puolestaan esittäneet myös muunlaisia selityksiä.

Kylmän kasvukauden 1991 ollessa puolessa välissä arveltiin männyn siemenen tuleentumisen tulevan ongelmalliseksi (vrt. Simak 1972, Asplund ym. 1973). Onnettomuuden välttämiseksi oli edistettävä tulossa olevan kohtalaisen runsaan käpysadon tuleentumista parantamalla pölyttyneiden emi-



Kuva 1. Aurinkoaktiviteettien vaihtelu vv. 1908-1990 ja saman aikajakson männyn siemenvuosien toistuvuus (alemmat nuolet). Pystynuolet edustavat tulivuorten purkausajankohtia. Siemenvuosien esiintymisajankohdat osuvat kohtalaisen hyvin yhteen kirjoittajan (1961) ja Pohtilan (1980) esittämien siemenvuosien kanssa. Siemensatojen esiintyminen peräkkäisinä vuosina johtunee puuyksilöiden välisestä kukkimisvalmiuden vaihtelusta. Vuoden 1960 jälkeen ko. ilmiö on todettu puissa olevien käpyjen perusteella.

kukkien mikroilmastoa. Tätä varten ryhdyttiin ansaroimaan runsaskäpyisiä nuoria puita ja vanhojen puiden alaoksia. Rei'itettyjen ansareiden tuuletusta hoidettiin pienentämällä ilmanpoistoaukkojen yhteislaajuutta puoleen kokoon ilman sisääntuloaukkoon verrattuna. Ansaroinnilla päästiin ensi yrittämällä 27 %:n itävyyteen. Kävyille mahdollisesti vahingollisia lämpötiloja saattoi esiintyä 2–3 kertaa kesän aikana 1–4 tunnin jaksoina kerrallaan. Sinänsä puutteellinen jälkihaudonta nosti itävyyden 37 %:iin, kun metsäsiemenen itävyys jäi 1–2 %:iin. Jälkihaudontatekniikkaa kehittämällä päästään huomattavasti parempiin tuloksiin (Simak 1976, Bergsten 1987, Sahlén 1992). Ongelmaksi jää kuitenkin emikukinnan aikaansaaminen, jolla on omat varjopuolensa luontaisen siemensadon itämistapahtuman keskittyessä pääosaltaan vain 1–2 vuoden tarjoamiin edellytyksiin.

Kasvukautena (1992) tulos parani (30 % + 10 % yht. 40 %:iin) verrattuna ulkoilmaolosuhteiden 1–3 %:iin. Kyseisenä kesänä esiintyi ansareissa korkeita lämpötiloja (34–38 °C) vain hetkellisesti parin tunnin aikana. Nämä kokeet antoivat aihetta optimistiseen työhypoteesiin. Vuonna 1993 ansarointi kuitenkin epäonnistui – todennäköisesti puutteellisen pölytyksen johdosta. Toisaalta kiinnitettiin päähuomio männyn emikukkimisen edistämiseen. Kunakin kuukautena ansaroitiin vuorollansa 20 nuorta puuta käsittävä metsikkö. Vertailussa käytiin läpi koko kesän ansaroituja yksilöitä sekä vertailupuita, jotka koostuvat näytealojen parhaista ansaroimatta jääneistä puista. Kevätkesästä 1994 odotamme emikukintoja useampaan kuin yhteen koejäseneen edellisen kesän kylmästä säästä huolimatta (mikä myös toteutui).

Miksi tällaisia voimaperäisiä otteita? Paikallista alkuperää olevaa tuoretta itävää männyn siementä tarvitaan laajojen tunturimittaritoukan syömien avoalojen siemenpuustojen perustamiseen ainakin koemittakaavassa. Ansaroinnin fysiologisista perusteista saa lisätietoa naapurimaiden männyn siemenen itävyyttä koskevasta kirjallisuudesta (ks. Mork 1947, Simak 1966, 1975, Bergsten 1987, 1992). Kotimaisista alan julkaisuista Nygrenin (1985, 1986, 1987, 1992) työt ovat varteen otettavimpia; varhempien tutkimusten ohella (ks. Heikinheimo 1920, 1932, Kujala 1927, Sarvas 1962, 1974). Ensimmäiset koealat perustettiin esikokeiden jälkeen vuosina 1992 ja 1993. Itävyys maastossa on vaihdellut tyydyttävän ja erinomaisen välillä. Todettakoon tässä yhteydessä vielä, että Ylä-Lapin männyn siemenelle on tyypillistä runsas ja monta vuotta toistuvasti esiintyvä jälki-itäminen (vrt. esim. Wibeck 1916, Lassila 1920, Simak 1972, Häggman 1992). Jacobssonin idätysaltaan antama tulos käsittelemättömän siemenen itävyydestä lienee siten aliarvio.

Vuodesta 1990 lähtien inventoiduissa kylvökokeissa jälki-itäminen lisäsi kylvöviirun taimimäärää lähes yhdellä sirkkataimella vuotta kohden. Kosteus, aurinkoisuus ja siemenen ikä näyttävät olevan tärkeitä jälki-itämisen laukaisutekijöitä. Maastokokeet on uusittava täsmällisempien tarkkuusvaatimusten vuoksi. Joissakin 50–100 vuotta vanhoissa yksilöissä näkyy jo hedekukintojen määrän kasvu alkukesästä toiseen alimpien oksien vanhetessa

(vrt. Sylvén 1908). Männyn elämänsykliin ilmeisesti sidotun emikukintavoittoisuuden selville saamiseksi lisättiin ryväsinvesntointiin emikukintojen ja käpyjen laskenta sekä arvio versotyypin vallitsevuudesta (vrt. Savolainen ym. 1993).

Männyn puu- ja metsänrajan siirtyminen

Ylä-Lapin alueella usein toistuneet männyn siemenvuodet vuosisatamme jälkipuoliskolla herättivät luonnollisesti toiveita ns. alpiinisten puu- ja metsänrajojen siirtymisestä ylöspäin tunturilla ja vastaavan subarktisen rajan siirtymisestä pohjoiseen tundrametsälaakioilla. Alustava vastaus aprikointiin saatiin inventoimalla yksittäispuita, puuryhmiä ja metsiköitä koordinaatteihin sidotulla koealaverkolla erilaisin toisiaan täydentävin menetelmin. Inventoinnissa käytettiin yksinkertaistettua muunnosta Räsäsen ym. (1985) käyttämästä menetelmästä. Pääinventointi tehtiin ryväsinventointina, jossa 1000 metrin välein hehtaarin kokoiseen rypääseen sijoitettiin seitsemän 100 m^2:n kokoista ympyränäytealaa kuhunkin. Inventoinnissa keskityttiin keräämään tietoa siemenpuiden esiintymisestä ja siementuotoskunnosta, taimettumisalttiudesta, taimien määrästä ja ikäjakautumasta sekä tavallisimmista haittatekijöistä. Identifikaatioon tarvittiin koordinaatit, linjan numero, rypään numero ja maastokohdan korkeus merenpinnan yläpuolella.

Siemenpuista määritettiin ikä, läpimitta, kunto ja siemenpuiden sukupuolidominanssi sekä emikukintojen ja/tai käpyjen lukumäärä. Taimettumisedellytyksiä kuvattiin määrittämällä maaperätekijät parittomilta näytealoilta. Tämän lisäksi arvioitiin tarvittaessa koivikon pituus ja peittävyys sekä erityisesti männyn taimettumisesteenä todetun osakasvuston frekvenssi ja peittävyys. Männyn taimet inventoitiin kaikilta näytealoilta. Ikä määritettiin edustavista taimista useimmiten vanhimpien oksien vuosikasvaimia laskien tai tyvestä kairaamalla. Kun samanikäisiä taimia oli runsaasti ryhmittäin, merkittiin muistiin mittaamatta jääneiden lukumäärä erikseen. Taimien korkeus, kunto ja niissä esiintyvät taudit taltioitiin niinikään. Inventointikierros päättyi pohja- ja kenttäkerroksen lajiston määrän toteamiseen ja lajien peittävyyden arviointiin. Maaperätietojen ja kasvipeitteen kuvauksen avulla pyrittiin johdonmukaisempaan käsitykseen taimettumisalttiudesta (vrt. Saarenmaa & Poikajärvi 1987, Saarenmaa 1992).

Ryväsinventoinnin päätuloksia

Vaikka koealojen maaperä- ja kasvipeitekuvaus antanee käsityksen kasvupaikkojen boniteetista, koko rypään kasvupaikka määriteltiin jo maastossa. Nähtäväksi jää, missä määrin maaperätunnukset ja kasvipeitteen tiedot tukevat arviointia. Soille sattuneet rypäät hylättiin aineistosta, koska niillä ei ollut männyn taimia. Kaikkiaan rypäitä kertyi 250, joista 38 sattui suolle tai veteen, joten nettomääräksi jäi tähän mennessä 212 ryvästä.

Mielenkiintoista tässä tutkimusvaiheessa on tutustua mäntysiemenpuiden ikään, määrään, kokoon, suvunjatkamisedellytyksiin ja kuntoon sekä syntyneen taimiston ikään, määrään ja elinkelpoisuuteen. Tunturirinteiden siemenpuista suurin osa on syntynyt tällä vuosisadalla (ikä 40–99 vuotta, ks. taulukko 1). Ne ovat tuottaneet viime vuosina runsaasti käpyjä etenkin alemmissa (240–280 metrin) korkeuksissa (taulukko 2). Inventointituloksista ilmenee toinenkin tärkeä yksityiskohta – nimittäin vanhojen mäntyaihkien esiintyminen ensisijaisesti vain 320 metrin korkeutta mpy alemmilla kasvupaikoilla, keski-ikäisten siemenpuiden ehdittyä vallata itselleen kasvupaikkoja jopa 360 metrin korkeudesta. Ylempää löytyi yksinomaan nuoria siemenpuita. Saariselän itäosan tuntureilla männyntaimia esiintyy 500 m mpy saakka. Tätä ylempänä talvimyrskyt ovat runnelleet taimia pahasti.

Taulukko 1. Roavvoaivin rinteiden puurajan siirtymistä osoittava inventointitulos.

Korkeus	Taimien ikäluokat vuotta						Ikäluokat vuotta				Koko	S-puita
m mpy	20	30	40	50	70	<99	100-149	150-199	200-24	250+	puusto	>100v
	1900-luvun taimien luku/ha x 100						Siemenpuiden lukumäärä x 100/ha				Σ N/ha	Σ N/ha
400	-	66	60	18	6	-	-	-	-	-	1,50	
380	-	56	36	20	12	4	-	-	-	-	1,28	
360	8	40	32	24	12	0	4	-	-	-	1,20	0,04
340	24	32	48	20	16	8	48	12	4	-	2,12	0,64
320	12	48	10	40	0	4	20	28	4	8	1,74	0,60
300	7	70	100	50	14	28	14	0	0	14	2,97	0,28
280	-	130	340	350	100	50	90	140	80	50	13,30	3,60
YHT.	51	442	626	522	160	94	176	180	88	72		

Inventointitulokset tarjosivat myös mahdollisuuden arvioida puurajan keskimääräistä etenemisnopeutta. Aineiston vanhimman siemenpuun ja korkeimmalle kasvupaikalle ehtineen siemenpuun ikäero oli 240 vuotta. Kasvupaikkojen korkeusero on 80–100 metriä. Jos Ylä-Lapin mänty saavuttaa su-

kukypsyyden keskimäärin 40–45 vuoden ikäisenä, ikäero mahdollistaisi noin neljän – kuuden sukupolven etenemisen 80–100 metriä korkeammalle (siemenvuosia enintään joka 11. vuosi nykyoloissa). Koska siemenvuosien toistuminen voi kilpistyä kylmään kesään (arvaamattomien tulivuorten purkausten johdosta), talvivaurioihin tms. syihin, vain neljä satoa kuudesta mahdollisesta tuleentuisi riittävästi. Kunkin sadon vaikutus esimerkiksi tunturirinteen metsittymiseen riittäisi tällöin vain noin 20 metriä korkeammalle etenemiseen. Muotkatunturien rinteiden metsittyminen 1900-luvulla näyttää noudattaneen juuri tätä etenemistahtia. Toisaalta männyn eteneminen vuosisatamme loppupuoliskolla on ollut taimettumisalttiuden vaihtelun vuoksi keskimääräistä nopeampi. Vanhemman siemenpuuston vaikutus aiempaan etenemiseen näyttää verkkaisemmalta.

Taulukko 2. Tundrametsälaakion siemenpuiden käpymäärien jakautuma ikäluokkien ja kasvupaikan korkeuden mukaan.

Ikä-	Siemen-	Maaston korkeus, m mpy										
luokka	puita, kpl	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	YHT.
		kpl käpyjä										
<50	218	44	590	258	20							912
50-99	67	240	1086	360	0	25						1711
100-149	19	40	280	0			0					320
150-199	51	50	190	230	300	30						800
200-249	39	0	115	630	170							915
250-299	9	0	240	200	0							440
300-349	9		300	30								330
350-399	4		4	40								44
≥400	1		0									0
YHT.	417	374	2805	1748	490	55	0	0	0	0	0	5472

Mitä tundralaakion taimettumista koskevaan selvitykseen tulee, on ollut mielekästä jakaa aineisto kahteen osaan sen johdosta, että topografia aiheuttaa vaikeutuneita uudistumisolosuhteita inventointialueen länsiosassa korkeamman maaston takia. Silmäys jakamattoman aineiston ikäluokkajakauman maastonmukaisen sijoittumiseen kertoo karun totuuden (taulukko 3). Uusia männyn sukupolvia on tähän mennessä ehtinyt levitä tarkastelun kohteena olevalla tundrametsäalueella pääsääntöisesti 240–280 metrin korkeuteen, joskin taimia ja yksittäisiä nuoria puita esiintyy 320 metrin korkeuteen saakka – eräs "todellinen solitää jopa 400 metrin korkeuteen saakka. Tundrametsälaakion korkeammalla sijaitsevalla läntisellä osalla taimettuminen oli selvästi heikompaa kuin itäosassa, jossa niin metsikkö- kuin metsänraja oli lä-

hempänä puurajaa. Länsiosasta löytyi 170, itäosasta 631 tainta vain vähän suuremmalta ryväsmäärältä.

Taulukko 3. Tundralaakion taimien ikäluokat korkeusluokittain.

Ikä-	Kasvupaikan korkeus m mpy										
luokka	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	YHT.
	Taimien lukumäärä										
10	75	382	262	38							757
20	29	363	183	75	2	13				1	666
30	29	98	86	29	5	2					249
40	20	47	42	6							115
50	2	10	2								14
YHT.	155	900	575	148	7	15	0	0	0	1	1801

Havainnot vanhimmista ryväsaineistoista todistavat, että puurajan äärimmäiset männyt – yleensä 1900-luvulla syntyneet – kasvavat yli 400 metrin korkeudessa. Se tosiasia, että Saariselän itäisellä tunturialueella puuraja ylittää 500 metrin korkeuden, vahvistaa epäilykset, että tundrametsälaakion mäntymetsät ovat joutuneet kaukomenneisyydessä laajan luonnontuhon kohteeksi, mitä lukuisat varsin vanhat juurakot ja koholla olevat samanikäiset kookkaat maapuut todistavat. Samantapaisia suurtuhoja on esiintynyt niin Saariselällä kuin sen eteläpuolella, josta mm. löytyy Juurakkomaa-nimisiä laajoja, nykyään hyväkasvuisia metsiä. Näillä alueilla ihmisen puuttuminen metsänreunan rakenteeseen on saattanut myötävaikuttaa erilaisten tuhojen esiintymiseen. Muotkan inventointialueen joskus 1400–1600-luvuilla sattuneet myrskytuhot ovat laajuudeltaan 100 km^2 suurempia. Ylä-Lapin alueelta löytyy muitakin suurtuhojen hävittämiä alueita menneiltä ajoilta. Metsäpalot näyttävät olleen yleisempiä, mutta pienialaisempia. Äskettäisten tunturimittaritoukan tuhojen yleisyyttä on vaikea arvioida, mutta niiden laaja-alaisuus näyttää olevan omaa luokkaansa.

Tundrametsälaakiolla yksittäispuiden ja nimenomaan siemenpuuparien ja puuryhmien ympärille nousseet "tarhat" jouduttavat metsä- ja puurajan siirtymistä huomattavasti. Laaja harvahko männyn siemenpuusto saattaa kahden kolmen hyvän siemenvuoden ansiosta täyttää aiemmin männyttömän alueen umpimetsäksi 40–50 vuoden kuluessa (taulukko 4). Tämän tapaisesta prosessista löytyy hyviä esimerkkejä Hiilivirran (1935) määrittelemän metsänrajan siirtymisestä Muotkan alueella. Nopeus on kuitenkin ollut useammissa tapauksissa keskimäärin enintään noin 3 km 50 vuodessa pohjoisen suuntaan. Tämä merkitsee sitä, että laajimpien nykyavoalojen luontaiseen metsittymiseen kuluisi yli 300 vuotta.

Taulukko 4. Esimerkki "tarhojen" rakenteesta. Päätelmä: siemenpuiden tai siemenpuuryhmien keskimääräinen 70 metrin välimatka johtaisi teoriassa >900 taimeen/ha.

Etäisyys, m Siemen- puusta	Taimia, kpl ikäluokittain 10	20	30	40	50	Σ TAIMIA/ vyöhyke	Vyöhykkeen pinta-ala, m^2	Vyöhykkeiden yhteispinta-ala, m^2	Σ -taimia/ koko ala
0-5	8	13	4	8	0	33	33	78	4180
6-10	1	2	0	15	12	30	63	314	2006
11-15	4	8	2	9	20	43	106	707	1500
16-20	1	3	3	0	7	14	120	1256	955
21-25	11	6	5	2	6	30	150	1963	762
26-30	8	3	2	0	3	16	166	2826	587
31-35	8	8	4	1	4	25	191	3847	500
36-40	4	7	2	0	0	13	204	5034	400
41-45	2	3	2	0	1	8	212	6359	333
46-50	1	1	2	0	1	5	217	7850	276
Σ	48	54	26	35	54				

Nykyisen metsän- ja puurajan välinen etäisyys vaihtelee inventoidulla alueella 5–15 km:n välillä. Harvakseltaan esiintyvät yksittäismännyt saattavat "tarhojen" muodostumisen johdosta (vrt. taulukko 4) myötävaikuttaa yhtäaikaisten taimiryhmien, taimikkojen ja ajan mittaan yhtenäisten metsiköiden syntyyn. Yhteensulautumisesta 1950-luvulta lähtien tarjoavat varsinkin Karigasniemen maantienvarsien nykymetsät edustavia esimerkkejä.

Ottaen huomioon Ylä-Lapin tundrametsälaakion vuosisatojen takaisten myrskyjen aiheuttaman nykytilan laajoine puuttomine vaaroineen ja tunturirinteineen on helppoa ymmärtää, että alueen täydellinen luontainen metsittyminen saattaa vaatia vuosisatoja toteutuakseen siitäkin huolimatta, että ilmaston muuttumissuunta näyttää IPCC:n ennusteen mukaan myönteiseltä. Toisaalta niin puu- kuin metsänrajan etenemisrintaman nopeus on niin hidas, että vain rintaman syvyyttä tuntuvasti lisäämällä voidaan rajoittaa jo käynnissä olevan eroosion laajenemista. Rintaman syventämistä ehdotetaan toteutettavaksi perustamalla tundralaakion alkuperää olevia siemenpuuryhmiä laajassa mittakaavassa. Toimenpiteellä olisi paikallisesti luonnonsuojelullisia ja metsätaloudellisia seuraamuksia. Ja Suomen nuoriso saisi itselleen pitkäaikaisen luonnonsuojelun ja omakohtaisen terveydenhoidon temmellyskentän. Vuosina 1951 ja 1990 aloitetut kokeet ovat toistaiseksi antaneet sen verran myönteisiä tuloksia, että laajaan männyn palauttamiseen puuttomille alueille on mahdollisuuksia – etenkin jos IPCC:n enteilemä syiltään arvaamaton ilmastonmuutos osoittautuu paikkansa pitäväksi.

Käynnissä olevan metsän- ja puunrajatutkimuksen tähänastisista tuloksista luontainen siemenvuosien toistumisen tiheneminen, sekä niin metsänkuin puurajan siirtyminen pohjoisemmaksi yhden miespolven aikana lienevät konkreettisimpia pitkäaikaisten ilmaston muutosten todisteita harvahkon globaalisen ilmastoseurantaverkon antamien mittaustulosten luotettavuudes-

ta. Siemenvuosien ennustettavuutta heikentää kuitenkin tulivuorten ylisuurten purkausten arvaamattomuus. Pitkäikäinen biomassa on toisaalta luonnonmukaisin CO^2-päästöjen torjuntakeino ja biomassasta saattaa jo lähi vuosina olla kehitettävissä ympäristöystävällinen ja kilpailukykyinen kuljetusvälineiden energialähde. Kenties Lapissakin seuraavan vuosisadan aikana. Koivullekin saattaisi tulla kantohintaa.

Kirjallisuus

Alfjorden, G. & Remröd, J. 1975. Ny metodik för att förutsäga grobarheten hos tall- och granfrö. Institutionen för skogsförbättring. Info. 3 1975/1976.

Asplund, K., Lähde, E., Numminen, E. 1973. Vajaasti kypsyneen männyn siemenen kehitys käpyjen varastoinnin aikana. Folia Forestalia 185: 1–12.

Bergsten, U. 1987. Incubation of Pinus Silvestris L. and Picea Abies L. (Karst) seeds at controlled moisture content as an invigoration step in the IDS method. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture. Dissertation. 98 s.

— 1992. Resultat av eftermognadsförsök med tallfrö. Manuskript.

The Brundtland-report 1989.

Eide, E. 1923. Om temperaturmaalning og frøsaetning i Nord-Norges furuskoger 1920. – Meddelelser fra det Norske Skogsforsøksv. H.7.

— 1932. Furuens vekst og foryngelse i Finnmark. Ibid.4.

Heikinheimo, O. 1920. Männyn, kuusen ja koivun alpiinisista ja polarisista metsänrajoista Suomessa. Acta Forestalia Fennica 36: 4.

— 1932. Metsäpuiden siementämiskyvystä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 17 (3): 61 s.

— 1921. Suomen metsärajametsät ja niiden vastainen käyttö. Communicationes ex Instituto Quaestionum Forestalium Finlandiae Editae 4: (3).

Helle, T. 1994. Poron laidunnuksen vaikutus metsänrajametsien primaarisukkessioon. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja (painossa).

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

Huovila, S. 1990. Temperature trends in Finland during 1960–1989. Suullinen tiedonanto.

Hustich, I. 1940. Tallstudier sommaren 1939: Enare och Utsjoki: Acta Societatis pro Fauna et Flora Fennica 62 (6): 1–76.

— 1948. The Scots pine in northernmost Finland and it's dependence on the climate in the last decades. Acta Botanica Fennica 42.

Häggman, J. 1992. Männyn siemenen laadun vaikutus jälki-itämiseen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 426.

Kolber, Z. S. et al. 1994. Ison limitation of phytoplankton photosynthetic in the equatorial Pacific Ocean. Letters to Nature. s. 145–149.

Kujala, V. 1927. Tutkimuksia männyn- ja kuusensiemenen rakenteesta ja itävyydestä Suomessa. Communicationes ex Instituto Quaestionum Forestalium Finlandiae Editae 12 (6): 106 s. + 5 kuvasarjaa.

Kupila-Ahvenniemi, Sirkka. 1984. Männyn kukkiminen. Teoksessa: Metsäntutkimuspäivä Oulussa 1984. Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 158: 22–36.

Lassila, I. 1920. Tutkimuksia mäntymetsien synnystä ja kehityksestä pohjoisen napapiirin pohjoispuolella. Acta Forestalia Fennica. 14:3.

Martin, J. H. et al. 1994. Testing the iron hypothesis in ecosystems of the equatorial Pacific Ocean. Nature No: 6493.

Mork, E. 1947. Om frökvalitet og fröproduktsjon hos furu i Hirkjølen. Meddelelser fra det Norske Skogforsøksvesen 14.
Nygren, M. 1985. Männyn (Pinus Sylvestris L.) siementen syyshorros: Kylmäkäsittelyn, idätyslämpötilan ja päivänpituuden vaikutus itävyyteen. Metsänhoitotieteen lisensiaattityö. Helsinki 1985.
— 1986. Männyn siementen syyskeräys: käpyjen kylmävarastoinnin ja idätysolosuhteiden vaikutus itävyyteen. Silva Fennica 20:1
— 1987. Germination characteristics of autumn collected Pinus Silvestris seeds. Acta Forestalia Fennica 201.
— 1992. Männyn siemenviljelyssiemenen itämistunnukset syys- ja talvikeräyksessä. Siemenpäivät Siilinjärvellä, toim. H. Smolander & M. Pulkkinen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 426.
Pohtila, E. 1980. Climatic fluctuations and forestry in Lapland. Holarctic ecology 3: 91–98.
Renvall, A. 1912. Die periodischen Erscheinungen der Reproduktion der Kiefer an den polaren Waldgränze. Acta Forestalia Fennica 1: 154 s.
— 1917. Suojametsäkysymyksestä. Acta Forestalia Fennica 3:2. Julkaisut 11: 1–5.
Räsänen, P. K., Pohtila, E., Laitinen, E., Peltoniemi, A. & Rautiainen, O. 1985. Metsien uudistaminen kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978–1979 inventointitulokset. Folia Forestalia 637.
Saarenmaa, L. 1992. Induktiivinen oppiminen metsänviljelyn tietokannan tulkinnassa. Metsähallituksen metsänhoitotöiden kirjanpitoaineistoon perustuva tutkimus. Helsingin Yliopiston metsäekologian laitoksen julkaisuja 3: 173 s.
Saarenmaa, H. & Poikajärvi, H. 1987. Korkeiden maiden metsien uudistaminen. Ajankohtaista tutkimuksesta. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1987. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 278.
Sahlén, K. 1992. Anatomical and physiological ripening of Pinus Silvestris. L. Seeds in northern Fennoscandia. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Silviculture. Dissertation.
Sarvas, R. 1962a. Investigations on the flowering and seed crop of Pinus Silvestris. Selostus: Tutkimuksia männyn kukkimisesta ja siemensadosta. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 53 (4). 198 s.
— 1974. Investigations on the annual cycle of development of forest trees II. Autumn dormancy and winter dormancy. Tiivistelmä: Tutkimuksia metsäpuiden kehityksen vuotuisesta syklistä. Syys- ja talvihorros. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 84 (1): 1–101.
Savolainen, O., Kärkkäinen, K., Harju, A., Nikkanen, T. and Rusanen, M. 1993. Fertility variation in Pinus Silvestris: A test of sexual allocation theory. American Institute of Botany 80 (9): 1016–1020.
Simak, M. 1966. Mognadsprocessen hos tallfrö. Sveriges skogsvärds förbundets Tidskrift 64.
— 1972. Låga temperaturen inverkan på embryotvecklingen hos tallfrö (Pinus Silvestris). Skogshögskolan. Institutionen för Skogsföryngring, Rapporter och Uppsatser 36.
— 1976. Germination improvement of Scots pine seeds from circumpolar regions using polyethylene glycol. Proc. 2 nd Int. Symp. IUFRO S2.01.06, Tokyo, 1976: 145–153.
— 1985. Seed Germination after incubation at different moisture stress. Proc. Inst. Symp. on Seed Problems under Stressful Conditions, IUFRO-WP S2.01.06. Vienna and Gmunden 1985: 125–137.
— och Gustafson, Å. 1959. Röntgenanalys och det norrländska tallfröets kvalitetsförbättring. Svenska Skogsvårdsförbundets Tidskrift 3: 475-486.
— , Sahlén, K., Thorsén, J. 1984. Germination of PEG-treated Scots pine seeds under various stress conditions. In Perttu, K. (ed.) Ecology and Management of Forest Biomass Production Systems, Department of Ecology and Environmental Research. Swedish University of Agricultural Sciences. Report 15.
Sirén, G. 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in northern Finland. Acta Forestalia Fennica 62 (4). 408 s.
— 1960. Suojametsätutkimuksen nykyvaiheita ja sen tulevia suuntaviivoja. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 3: 83–90.

— 1961. Skogsgränstallen som indikator för klimatfluktuationerna i norra Fennoskandien under historisk tid. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae. 54 (2). 66 s.
— 1970. Remarks on current silvicultural research in the Subarctic of Finland. Teoksessa: Unesco. I Ecology of the subarctic regions. Proceedings of the Helsinki symposium. Unesco, Paris. 343–349.
— 1991. Förskjutningar av tallens skogs- och trädgränser i Fennoskandien i modern tid. Nordenskiöld Samfundets Tidskrift 50: 65–69.
— 1993a. Seed year frequence in the subarctic of Finland. A pilot study. World Resource Review 5 (1): 95–103.
— 1993b. Advances and retreats of pine tree and timberlines in the Far North of Finland. World Resource Review 5 (1): 104–110.
Solantie, R. 1992. Lämpötilan muutos Suomessa "vanhasta" normaalikaudesta 1931–1960 "uuteen" 1961–1990. Lapin tutkimusseuran vuosikirja XXXIII: 33–42 s.
Wigley, T. M. L. 1991. Could reducing fossil – fuel emissions cause global warming? Nature 349: 503–506.

Määrääkö maaperä kuusen polaarisen metsänrajan Pohjois-Lapissa?

KARI MÄKITALO[1], RAIMO SUTINEN[2], EIJA HYVÖNEN[2], EELIS PULKKINEN[2], MARKKU PÄNTTÄJÄ[2] & MARJA-LIISA SUTINEN[1]

[1]Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
PL 16, 96301 ROVANIEMI

[2]Geologian tutkimuskeskus, Pohjois-Suomen aluetoimisto
PL 77, 96101 ROVANIEMI

Johdanto

Kuuset ovat lehtikuusien ohella tärkeimpiä boreaalisen kasvillisuusvyöhykkeen ja metsätundran puulajeja (Hustich 1966). Kuusi (*Picea abies* ssp. *obovata*) muodostaa polaarisen havumetsänrajan osassa Kuolan niemimaata ja Länsi-Siperiassa Kaninin niemimaalta Jamaniin. Keski-Siperiassa kuusi saavuttaa pohjoisimman esiintymisalueensa Chatangassa (71°15' pohjoista leveyttä). Siperian itäosissa kuusen metsänraja painuu huomattavasti länsi- ja keskiosia etelämmäksi ja Tyynen valtameren rannikon kuusi saavuttaa noin 60. leveysasteen tienoilla. Pohjois-Amerikassa kuusien levinnäisyysalue ulottuu muita havupuita pohjoisemmaksi. Valkokuusi (*Picea glauca*) ja mustakuusi (*Picea mariana*) ovat Alaskassa ja Pohjois-Kanadassa metsänrajan muodostavat puulajit (Hustich 1966).

Kuusi levisi jääkauden jälkeen Pohjois-Suomeen paljon mäntyä myöhemmin. Kun mänty oli levittäytynyt Lappiin asti jo noin 8000 vuotta sitten, saavutti kuusi nykyisen metsänrajansa noin 3000 vuotta ja pohjoisen levinnäisyysrajansa vasta noin 2000 vuotta sitten. Tällöin lämmin boreaalikausi, jonka turvin koivu ja mänty olivat kasvaneet huomattavasti nykyistä levinneisyyttään pohjoisempana ja korkeammalla, oli jo päättynyt (Alho 1990).

Tasanen, T., Varmola, M. & Niemi, M. (toim.). Metsänraja tutkimuksen kohteena. Tutkimuspäivä Ylläksellä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 539: 35–48.

Kuusen metsänraja on sittemmin todennäköisesti pysynyt lähes muuttumattomana (Alho 1990). Metsänraja Suomen Lapissa kulkee lännestä Pallastuntureilta itään, nousee kielekkeenä Ivalojoen laaksoa pitkin koilliseen ja kiertää Saariselän tunturialueen eteläpuolitse Venäjän rajan yli (kuva 1). Siellä metsänraja nousee pohjoiseen, tekee Tsarmitunturin kohdalla mutkan Suomen puolelle, nousee koilliseen aina Jäämeren rannikolle asti, josta raja kulkee itä-kaakkoon yli Kuolan niemimaan (Hustich 1966).

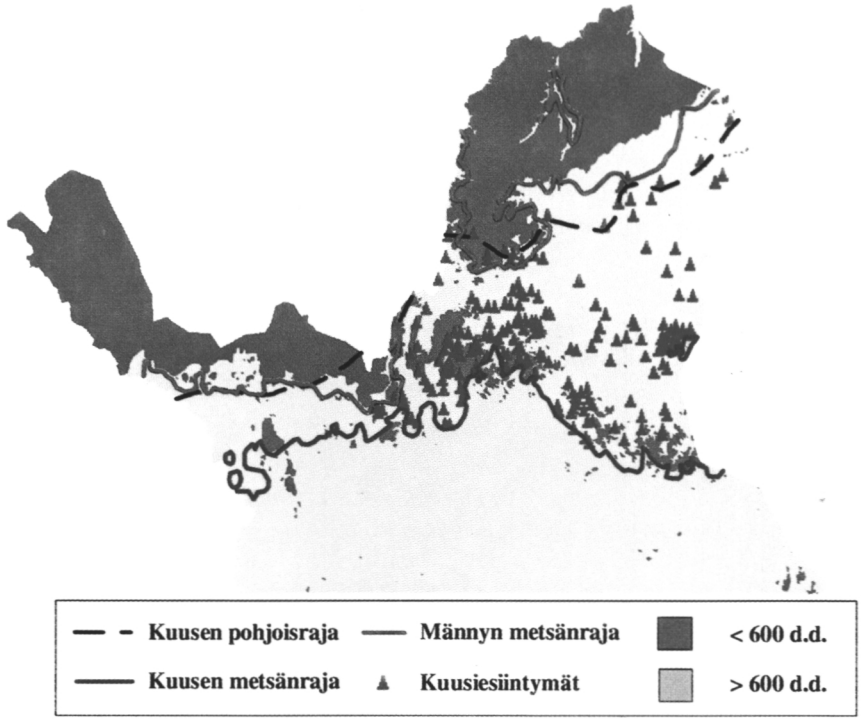
Pohjois-Lappi sijoittuu Fennoskandian kilveksi nimetyn mannerlaatan pohjoisosaan. Pomokairan itäosassa sekä Porttipahdan koillis- ja Vuotson pohjoispuolisilla alueilla kallioperä koostuu pääasiassa 3000 miljoonaa vuotta vanhan arkeisen pohjakompleksin gneisseistä, joista pohjoisosan suuri granuliittialue rajaantuu eteläreunassaan ns. Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeen proterotsooisiin (n. 2500 milj. v.) liuskeisiin. Nämä muodostavat myös mm. Pomokairan länsiosan. Sekä arkeisia, että proterotsooisia kiviä lävistävät nuoret graniitit, jotka ovat rakenteeltaan karkeita. Tertiäärin aikaisia (60–2 milj. v.) kallion savirikkaita rapaumia tavataan monin paikoin Keski-Lapin vihreäkivialueella. Rapaumatuotteita joutui pleistoseenijäätiköiden kerrostamaan moreeniin, jossa ne merkittävästi vaikuttavat puiden kasvupaikan vesi- ja ravinnetalouteen.

Alueilla, joilla sekä kuusi (*Picea abies* ssp. *europea* ja ssp. *obovata*) että mänty (*Pinus sylvestris*) esiintyvät, kasvaa kuusi aina mäntyä pohjoisempana ja korkeammalla Fennoskandiaa ja Kuolan niemimaan keskiosaa lukuunottamatta. Suomen Lapissa männyn metsänraja noudattaa pääpiirteissään 600 d.d:n isogrammia, jota yleisesti on pidetty havumetsän rajana. Vaikka kuusen metsänraja jääkin männyn vastaavaa etelämmäksi, esiintyy pienialaisia kuusimetsiköitä ja puuryhmiä aina männyn metsänrajalle asti (kuva 1).

Kuusen ja männyn levinnäisyysalueiden määräytymisestä on esitetty erilaisia hypoteeseja, jotka Regel (sit. Schmidt-Vogt 1978) on luokitellut seuraavasti:

1. Kuusen ja männyn levinneisyysalueet pohjoisessa ovat ilmastotekijöiden määräämiä.
2. Kuusen ja männyn levinneisyys voidaan selittää niiden vaellushistorialla.
3. Kuusen ja männyn levinneisyys selittyy edafisilla eli maaperätekijöillä.
4. Levinneisyysalueet voidaan selittää sekundäärisillä tekijöillä, kuten ihmisen vaikutuksella (esimerkiksi hakkuut), metsäpaloilla jne.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvitellä maaperätekijöiden vaikutusta kuusen polaarisen metsänrajan määräytymiseen Pohjois-Lapissa paikkatietotarkasteluna geofysikaalisten ja -kemiallisten aineistojen ja metsäsuunnittelun kuviotietojen pohjalta. Tutkimus liittyy osana laajempaan tutkimushankkeeseen "Metsämaan luokitus metsätalouden tarpeisiin Pohjois-Suomessa".



Kuva 1. Kuusen ja männyn metsänrajat, kuusen pohjoisraja (Suomen kartasto 1988) ja kuusiesiintymät Inarin Lapin alueella (Kallio ym. 1971) lämpösummakarttapohjalla.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksessa käytettiin sekä vektori- että rasterimuotoista aineistoja, joiden avulla kuusen metsänrajakysymystä tarkasteltiin paikkatietojärjestelmässä (ARC/INFO).

Vektorimuotoiset aineistot

Vektorimuotoista aineistoa ovat Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) alueellinen geokemiallinen kartoitusaineisto, Metsähallituksen (MH) PATI-paikkatietojärjestelmän metsikkökuviotiedot Sodankylästä ja Inarista, Metsäntutkimuslaitoksen (METLA) metsikkökuviotiedot Laanilan tutkimusalueelta sekä Inarin Lapin kasvillisuustiedot (Kallio ym. 1971).

GTK:n geokemiallinen alueellinen aineisto (näytetiheys 1/4 km^2) kattaa koko maan. Näytteistä on analysoitu moreenin siltti- ja savifraktion kuumaan kuningasveteen liukenevan osan kemiallinen koostumus. Aineiston

käyttökelpoisuutta lisää se, että kuningasvesiuuton ja Metsäntutkimuksessa yleisesti käytetyn ammoniumasetaattiuuton liuottamien ravinnepitoisuuksien välillä on havaittu olevan selvä riippuvuus (Kontio ym. 1992, Pulkkinen & Rissanen 1994).

MH:n ja METLA:n metsikkökuviotiedoista on ominaisuustiedoksi poimittu puulaji, pohjapinta-ala ja kasvupaikkatyyppi, jotka on paikkatietojärjestelmässä yhdistetty kuvioiden keskipisteisiin digitoidun sijaintitiedon kanssa. Mukana ovat kaikki ne alueen kuviot, joissa kuusta esiintyy.

Rasterimuotoiset aineistot

Rasterimuodossa ovat METLA:n kasvukauden tehoisa lämpösumma-aineisto ja GTK:n aerogeofysikaalinen matalalento-aineisto. METLA:n kasvukauden tehoisa lämpösumma-aineisto (kynnysarvo +5 °C) on interpoloitu Ilmatieteen laitoksen havaintoasemaverkoston välialueille 200 metriä x 200 metriä pikselikokoon (Ojansuu & Henttonen 1983, Ritari & Nivala 1993).

Aerogeofysikaalisissa mittauksissa rekisteröidään maan magneettinen totaalikenttä, sähkömagneettisen kentän reaali- ja imaginäärikomponentti sekä gammasäteily. Keskimääräinen lentokorkeus on 40 metriä ja lentonopeus 50 m/s. Linjaväli on yleensä 200 metriä ja pisteväli menetelmästä riippuen 10–50 metriä. Mittaukset tehdään joko pohjois-eteläsuunnassa tai itä-länsisuunnassa riippuen geologisten rakenteiden suunnasta. Paikkatietotarkastelua varten linjojen välit interpoloitiin. Aineiston pikselikoko on 50 metriä x 50 metriä.

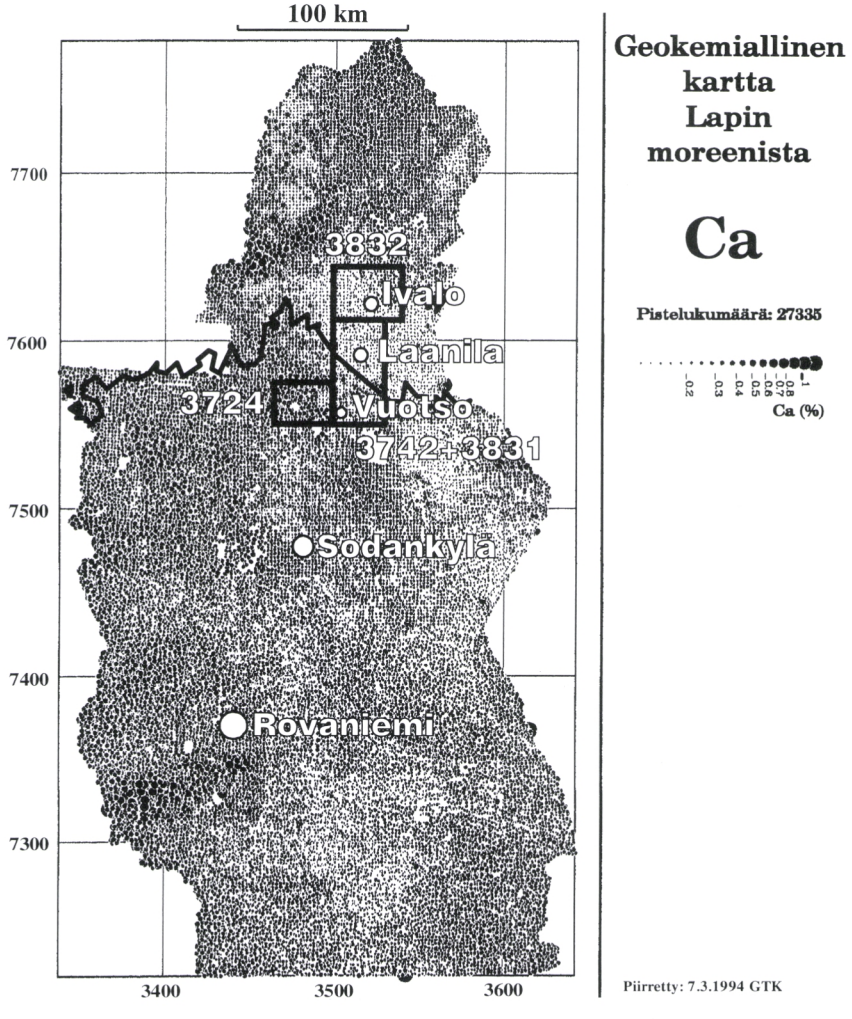
Magneettiset mittaukset antavat tietoa para- ja ferromagneettisten mineraalien jakaumasta kallioperässä. Menetelmän syvyysulottuma on sadoista metreistä kilometreihin, joten ne soveltuvat hyvin kivilajikartoitukseen ja malminetsintään. Tässä tutkimuksessa magneettista totaalikenttäaineistoa käytettiin kivilajiassosiaatioiden rajaamiseen. Kivilajit puolestaan määräävät niistä syntyvän moreenin kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet.

Gammasäteilymittaus perustuu siihen, että kaikki mineraalit ja näinollen myös maa ja kallioperä ovat jossain määrin radioaktiivisia. Vaikka eri kivilajit poikkeavat toisistaan gammasäteilyn määrässä (Lanne 1986), on moreeni eri kivilajien sekoituksena esimerkiksi kaliumin (K) suhteen homogeeninen (esimerkiksi Pomokairan alueella kalium 0,3–0,4 %, Lestinen 1980). Aineisto soveltuu täten hyvin pintamaan vesipitoisuuden kuvaamiseen, sillä säteilyn vaimenemisen voidaan pääsääntöisesti katsoa johtuvan maan sisältämästä vedestä (Zotimov 1971, Sutinen 1992). Jo noin 10 cm vesipatsas vaimentaa 50 % säteilystä. Vastaavaan vaimennukseen tarvitaan 100 metriä ilmaa (Grasty 1977).

Tulokset ja tarkastelu

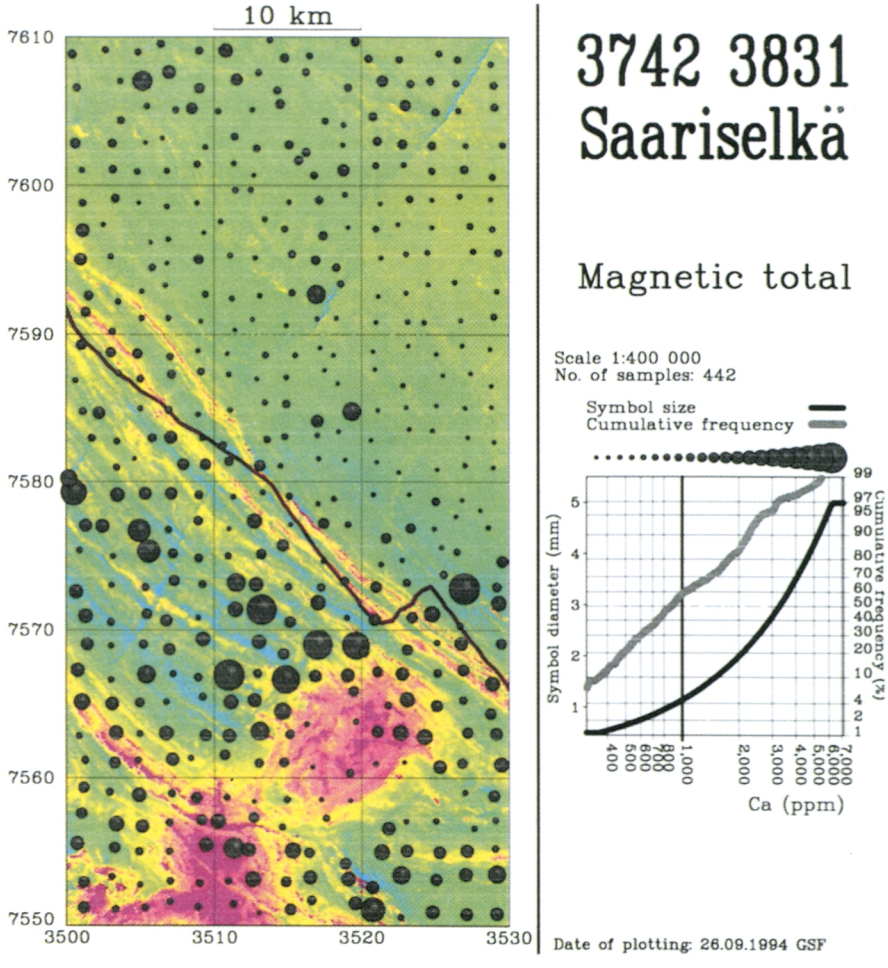
Maan geokemia

Kuusen metsänraja Saariselän tunturialueen eteläpuolella noudattaa selvästi granuliittialueen ja vihreäkivivyöhykkeen liuskealueen rajaa. Geokemian kartoitusaineistosta laaditulla kalsiumkartalla granuliittialue erottuu selvästi kalsiumköyhänä alueena sen eteläpuolisesta vihreäkivivyöhykkeestä, jossa pitoisuudet ovat korkeammat (kuva 2).

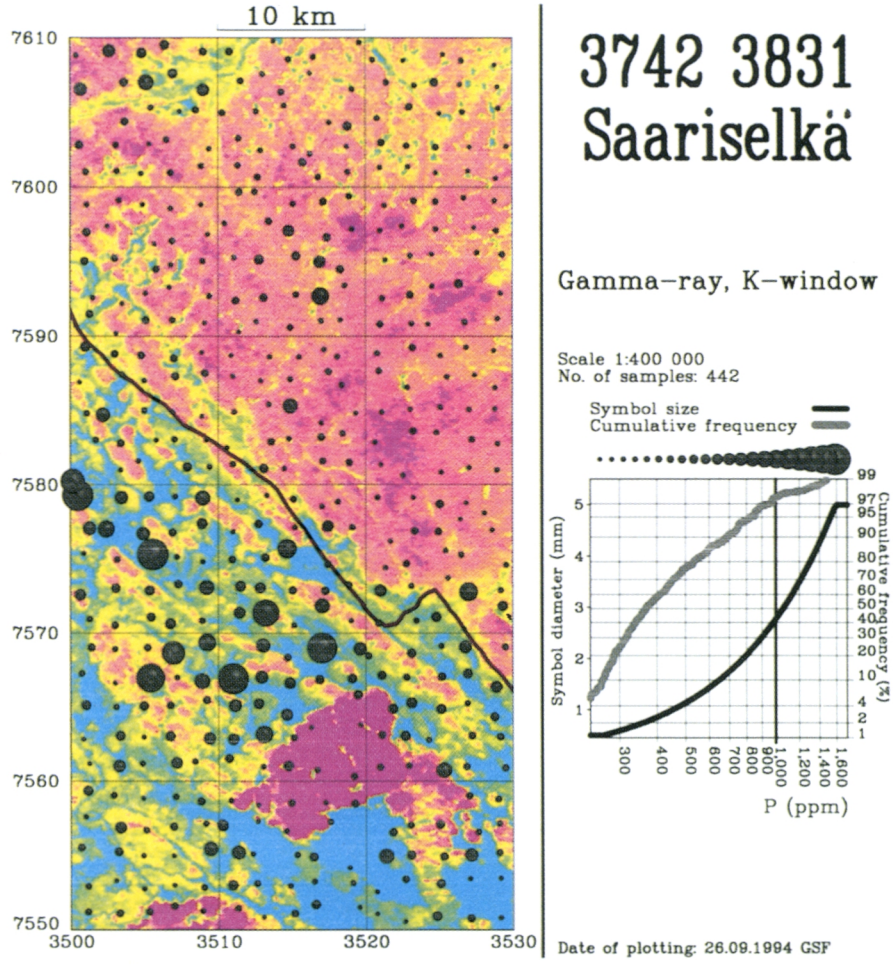


Kuva 2. Moreenin kalsiumpitoisuus Pohjois-Suomessa, kuusen metsänraja ja tutkimusalueet.

Kuvissa 3 ja 4 moreenin kalsium- ja fosforipitoisuuksia kuusen metsänrajalla on tarkasteltu karttalehtien 3742 ja 3831 alueella. Ravinteiden pitoisuudet pienenevät jyrkästi siirryttäessä liuskealueelta kuusen metsänrajan pohjoispuoleiselle granuliittialueelle.



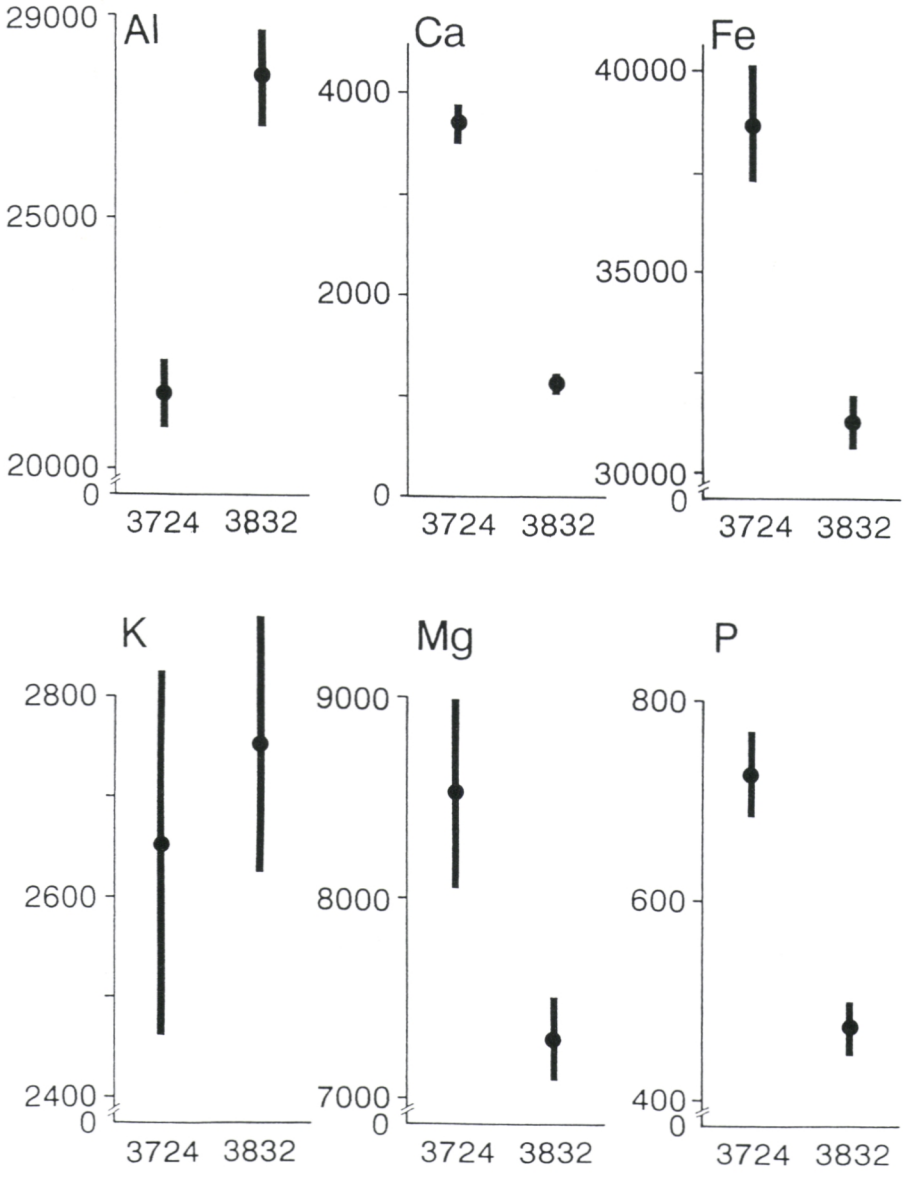
Kuva 3. Sähkömagneettinen totaalikenttä, moreenin kalsiumpitoisuus (●) ja kuusen metsänraja (—) Saariselän alueella.



Kuva 4. Gammasäteilykartta, moreenin fosforipitoisuus (●) ja kuusen metsänraja (—) Saariselän alueella.

Puustoltaan kuusivaltaisen vihreäkivivyöhykkeen moreenin ravinnepitoisuuksia (karttalehti 3724 Porttipahta) verrattiin pitoisuuksiin mäntyvaltaisella granuliittialueella (karttalehti 3832 Ivalo). Kalsium- ja fosforipitoisuudet osoittautuivat vihreäkivivyöhykkeellä 2–3 kertaisiksi granuliittialueeseen verrattuna (kuva 5). Alueiden välisiä eroja ravinnepitoisuuksissa testattiin

yksisuuntaisella varianssianalyysillä. Kalsium ja fosforipitoisuuksien lisäksi alueet poikkeavat tilastollisesti erittäin merkitsevästi toisistaan myös magnesium-, rauta- ja alumiinipitoisuuksien suhteen. Sen sijaan kaliumpitoisuudet ovat sekä mänty- että kuusimailla samaa luokkaa.



Kuva 5. Moreenin ravinnepitoisuudet (ppm) Porttipahdan alueella vihreäkivivyöhykkeellä (karttalehti 3724 Porttipahta) ja Ivalon alueella granuliittivyöhykkeellä (karttalehti 3832 Ivalo) geokemiallisen kartoitusaineiston mukaan.

Geofysikaaliset aineistot

Kivilajialueiden välinen raja erottuu selväpiirteisesti magneettisen totaalikentän vaihteluiden avulla tarkasteltuna. Kuvassa 3 s. 40 granuliittialue kuvautuu yhtenäisenä vihreänä pintana ja liuskekivialue punaisten magnetiittijuonteiden kirjaamana alueena. Kallioperän ruhjevyöhykkeet, joilta magneettinen aines on rapautunut, kuvautuvat sinisinä magneettisen kentän minimeinä. Lounais-luodesuuntaiset Nattasten graniittialueet näkyvät kuvassa voimakkaan punaisina magneettisina muutosalueina.

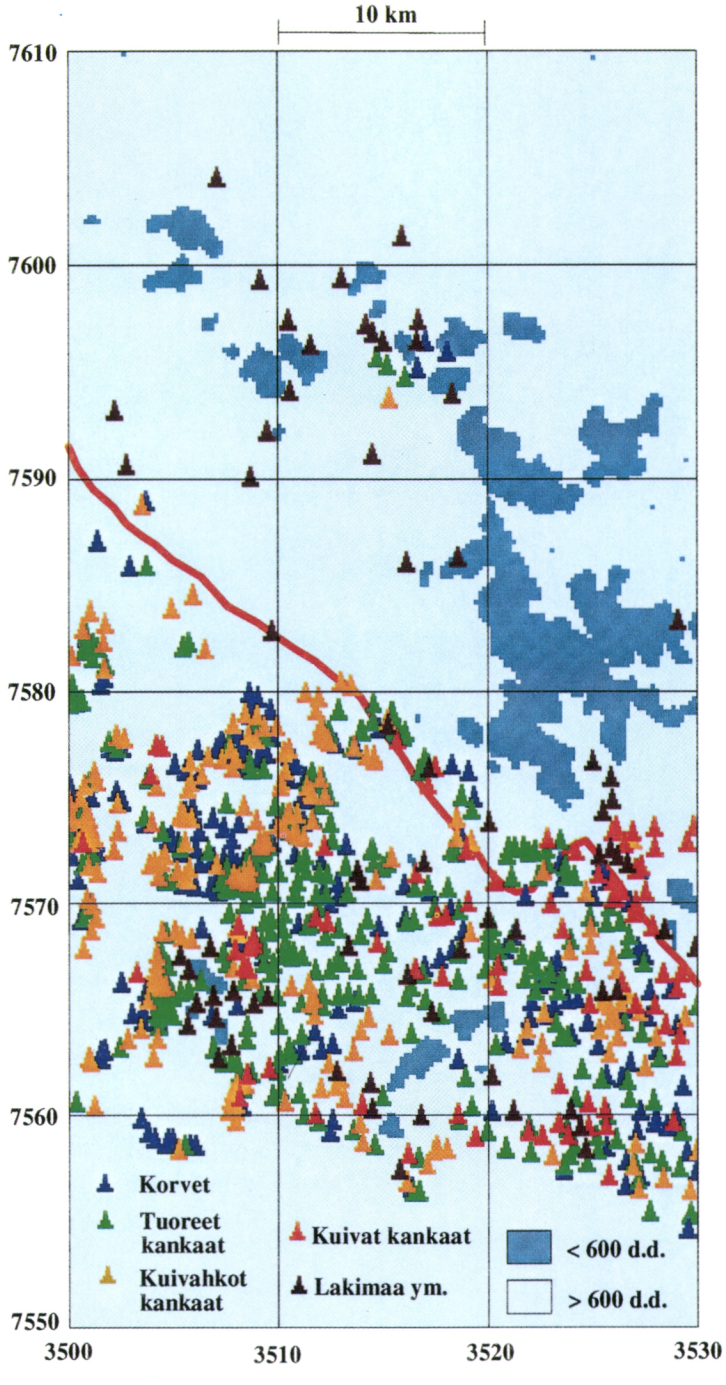
Pintamaan kosteussuhteita kuvaavassa gammasäteilykartassa 40 kivilajiraja on myös erittäin selvästi havaittavissa (kuva 4). Granuliittialueen moreenit ovat karkeita ja kuivia, ja ne kuvautuvat lähes yhtenäisenä punaisena, voimakkaan säteilyn alueena. Liuskealueen savimineraalirikkaat, hienojakoiset moreenit ovat märkiä ja kuvautuvat kartassa keltaisina ja vihreinä sävyinä. Suot, joilla vesi totaalisesti vaimentaa säteilyn, näkyvät kartassa sinisinä alueina. Nattasten graniittialueella gammasäteily on erityisen voimakasta, sillä alueella on avokallioita ja rakkoja. Lisäksi alueen moreenit ovat lähtömateriaalinsa mukaisesti karkeita ja täten kuivia.

Kuusen metsänraja seuraa pääpiirteittäin geofysikaalisin menetelmin määriteltyä kivilajiassosiaatioiden rajaa. Granuliittialue, jolla karkeat ja kuivat moreenit ovat tyypillisiä, muodostaa kuuselle kuivuusrajan (kuva 4). Siten pohjoisessa moreenit ovat männyn maita (Cajander 1917, Kujala 1929). Metsänrajan eteläpuolisen vihreäkivialueen moreenit ovat savimineraalirikkaita (peräisin tertiäärirapaumista) ja siten märkiä sekä tyypillisiä kuusen maita.

Pohjois-Lapin kuivien kasvupaikkojen alue on Pohjanmaan rannikkoalueen ohella maamme vähäsateisinta aluetta (Ilmasto 1987), mikä edelleen korostaa alueen epäedullisuutta kuusen kannalta (Cajander 1917). Vaikka Pohjois-Lappi toisaalta onkin sadannan ja haihdunnan erotuksella mitattuna humidisimpia alueita Suomessa, ei pieni haihdunta karkeilla vettä läpäisevillä mailla pysty kompensoimaan ohuen humuskerroksen ja maan pintakerroksen liiallista kuivumista kasvukauden aikana kuusen kannalta. Edelleen myös kapillaarinen vedennousu jää heikoksi karkeissa moreeneissa ja lajittuneissa maissa. Maan vedenpidätyskyky on tärkein myös alueen männiköiden tuotokseen vaikuttavista tekijöistä (Viro 1962).

Metsikkökuvioaineistot

MH:n ja METLA:n metsikkökuviotietoja ja Kallion ym. (1971) kuusiesiintymiä verrattiin Suomen kartaston esittämään kuusen metsänrajaan (Suomen kartasto 1988) Saariselän alueella (kuva 6). Kuusen metsänraja noudattelee melko hyvin kuusta kasvavien kuvioiden pohjoisrajaa. Alueen itäosassa samoin kuin Laanilan alueella kuusikoita kasvaa kartaston esittämän kuusen



Kuva 6. Kuusimetsien sijainti MH:n ja METLA:n metsikkökuvioaineistojen ja Inarin Lapin kuusiesiintymien (Kallio ym. 1971) pohjalta ja kuusen metsänraja Saariselän alueella lämpösummakarttapohjalla. MH:n ja METLA:n aineistot on esitetty kasvupaikkatyy-peittäin, Inarin Lapin aineisto sisältyy luokkaan lakimaat ym.

metsänrajan pohjoispuolella. Havaitut poikkeamat voidaan selittää maan kosteussuhteita kuvaavan gammasäteilykartan (kuva 4) ja moreenin ravinnepitoisuuksien avulla (kuvat 3 ja 4). Kyseiset kuusikot kasvavat etupäässä ympäristöään kosteammilla ja ravinteikkaammilla paikoilla.

Lämpösumma ei näytä selittävän kuusen metsänrajan sijaintia Pohjois-Lapissa (kuva 1). Saariselän alueella kasvukauden keskimääräinen lämpösumma jää vain korkeimmilla tunturialueilla alle 600 d.d. (kuva 6), jota yleisesti pidetään miniminä havumetsien esiintymiselle.

Suurin osa metsikkökuvioista on määritetty kasvupaikkatyypiltään tuoreiksi ja kuivahkoiksi kankaiksi. Sen sijaan kuivien kankaiden osuus on pieni. Tuoreilla kankailla kuusi esiintyy muita kasvupaikkoja useammin pääpuulajina. Kasvupaikkajakaumassa ei ole havaittavissa mitään vaihettumista tuoreista kankaista kuiviin kankaisiin metsänrajaa lähestyttäessä (kuva 6). Tuoreiden kankaiden kuusikuvioita esiintyy yleisesti aina metsänrajalle asti, mikä edelleen tukee aiemmin esitettyjä tuloksia kivilajialuerajan jyrkkyydestä. Näin ollen ainakaan nykyisen ilmaston vallitessa ei ole odotettavissa, että kuusen metsänrajan pohjoispuoliset männiköt kuusettuisivat ja kuusen metsänraja vähitellen liukuisi pohjoiseen.

Kuusen ja männyn kasvupaikkavaatimukset

Puiden juuristojen syvyysjakauman on todettu olevan perinnöllinen ominaisuus ja erilainen valovaatimuksiltaan erilaisilla lajeilla (Gale & Grigal 1987). Kuusen juuristo on hyvin pinnallinen, minkä on havaittu olevan tyypillistä varjostusta kestäville ns. kliimakspuulajeille. Monet pioneeripuulajit, jotka yleensä ovat valoa vaativia, pystyvät kasvamaan myös kuivilla ja ravinneköyhillä mailla, koska niiden juuristo on syvempi ja ne pystyvät valtaamaan suuren maatilavuuden juuristollaan. Tähän ryhmään voitaneen mäntykin lukea kuuluvaksi. Kliimakspuulajit ovat sen sijaan pinnallisen juuristonsa takia paremmin sopeutuneet kasvamaan kasvupaikoilla, joilla vesi ja ravinteet ovat keskittyneet lähelle maanpintaa.

Männyn ja kuusen luontaisen esiintymisen perusteella kuusta voidaan pitää ravinnevaatimuksiltaan mäntyä vaateliaampana. Puulajien ravinteiden käyttö ei välttämättä kuitenkaan vastaa niiden ravinnetarvetta, koska ravinteidenotto on osittain kytkeytynyt vedenottoon (Aaltonen 1936). Maan fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet ovat usein kiinteässä riippuvuussuhteessa toisiinsa. Maan hienoaineksen (yleisesti <0,06 mm lajitteet) määrä korreloi selvästi paitsi kasvupaikan viljavuutta indikoivan kationinvaihtokapasiteetin kanssa (Viro 1962) myös maan vedenpidätyskyvyn kanssa (Viro 1962, Sepponen 1981, 1985). Kuusen vaateliaisuuden puolesta todistaa kuitenkin se, että niilläkin soilla, joilla vesi on liikkuvaa ja happipitoista, kuusta esiintyy yleensä vain ravinteikkaimmilla suotyypeillä. Kalsiumin saata-

vuutta on pidetty erityisen tärkeänä kuusen kasvun kannalta (Aaltonen 1936).

Kuusen ja männyn vedenkulutusta ja vedentarvetta on tutkittu mm. puiden haihduntaa mittaamalla (esim. Eidman & Schwenke, sit. Heinonen 1983). Hyvän vesitilanteen vallitessa mänty käyttää vettä jopa kuusta enemmän tuotettua kuiva-ainemäärää kohti. Toisaalta mänty pystyy maan kuivuessa sopeuttamaan haihdutustaan huomattavasti paremmin kuin kuusi. Kuivuudesta on kuusella seurauksena selvä tuotoksen pieneneminen. Kesän kuivimpina kuukausina kuusen kasvu saattaa pysähtyä kokonaan (Aaltonen 1936).

Kuivuuden lisäksi matalajuuristoinen kuusi kärsii mäntyä enemmän granuliittialueen kuiville kankaille luonnonoloissa tyypillisistä metsäpaloista. Kulo paitsi tuhoaa täysikasvuiset puuyksilöt myös estää tehokkaasti kuusen luontaisen uudistumisen kuivalle kuloalalle (Aaltonen 1936). Viime aikoina ei kuusen metsänrajan ole kuitenkaan todettu siirtyneen eikä metsänrajan pohjoispuolisten kuusiesiintymien tuhoutuneen kulojen takia (Kallio ym. 1971).

Kuusen ja männyn menestymisen välillä on eroja myös veden vaivaamilla kasvupaikoilla. Kuusi pystyy kasvamaan kasvupaikoilla, joilla maan huokostila on ajoittain veden kyllästämä (esim. maan vesipitoisuus θ=0,58 cm^3cm^{-3}, Pomokairan Poksaselkä). Kuusi selviää maan ajoittaisesta hapettomuudesta jälkijuuriensa avulla, jotka kasvavat humuskerroksessa ja jopa sammalkerroksen alaosissa. Sen sijaan männyn vesipitoisuustoleranssi näyttää olevan hyvin kapea ($0,05<\theta<0,18$ cm^3cm^{-3}) (Sutinen ym. 1993). Esimerkiksi Pomokairassa mänty kasvaa kuusikkojen ympäröimänä Pomovaaran graniitin päällä karkeassa moreenissa (Mäkitalo ym. 1993). Sen sijaan mänty ei menesty tyypillisillä kuusen mailla, eikä sitä ole voitu niille menestyksellä viljelläkään.

Kuusiesiintymät metsänrajan pohjoispuolella

Kuusen puurajan ulottumiseen selvästi metsänrajaa pohjoisemmaksi on useitakin syitä. Granuliittialue ei ole ehyt, vaan siinä esiintyvät kvartsikarbonaattijuonet takaavat kuuselle riittävät elinolot veden ja ravinteiden muodossa. Oma lukunsa on Sarmin alue (Sarmikuusikot), jonka moreenissa on ympäristöään enemmän vettä sitovaa hienoainesta. Ivalojoen suistoalueella alluviaalisiltti tarjoaa kuuselle riittävän vesi- ja ravinnetaseen, mutta ylävirran hiekka- ja sorakankailla kuusi ei menesty. Kuusen polaarisen puurajan pohjoispuolella sopivia kasvupaikkoja on niukalti. Yksittäisten kuusiryhmien ulottuminen aina männyn metsänrajalle saakka (kuva 1) viittaa vahvasti siihen, ettei vaellushistorialla voida selittää kuusen metsänrajan mäntyä eteläisempää sijaintia.

Vaikka Saariselän granuliittialue ja esimerkiksi Pomovaara selkeästi määräävät puulajin, on syytä painottaa, että yleensä moreenit ovat äärimmäisen heterogeenisia (Sutinen ym. 1994). Sen mukaisesti vesi- ja ravinnepitoisuuksien vaihtelut mahdollistavat sekametsiköiden olemassaolon myös näillä alueilla. Sekametsiköiden syntyä edistää tietenkin myös se, että kuusen ja männyn kasvupaikkavaatimukset maan vesi-, happi- ja ravinnetalouden suhteen ovat osittain päällekkäiset. Gammasäteilyyn ja maan sähköisiin ominaisuuksiin perustuvilla menetelmillä voidaan tunnistaa ne kuusikot, joissa myös männyllä on kasvuedellytykset (Mäkitalo ym. 1993, Sutinen ym. 1994).

Tämän tutkimuksen tulokset ovat analogisia vastaavilta kivilajialueilta Pohjois-Amerikasta saatujen tulosten kanssa (Timoney ym. 1993). Moreenien ravinteisuudessa ja tekstuurissa esiintyy alueellisia eroja, jotka korreloivat paikallisen kallioperän ominaisuuksien kanssa. Kasvilajien esiintyminen ja lajikoostumus puulajit mukaanluettuina riippuvat paikan pohjoisuuden ja korkeuden ohella voimakkaasti maan happamuudesta, ravinnepitoisuudesta, kosteudesta ja tekstuurista (Pulkkinen ym. 1989, Timoney ym. 1993). Samalla tavoin kuin maaperä määrää valkokuusen ja mustakuusen vuorottelun metsänrajan muodostavana puulajina Pohjois-Amerikassa (Hustich 1966, Timoney ym. 1993), se määrää kuusen ja männyn esiintymisen Pohjois-Lapissa.

Kirjallisuus

Aaltonen, V. T. 1936. Kuusi männyn kilpailijana kasvupaikasta. Referat: Die Fichte als Konkurrentin der Kiefer um den Standort. Acta Forestalia Fennica 42 (3): 1–39.

Alho, P. 1990. Suomen metsittyminen jääkauden jälkeen. Summary: The history of forest development in Finland after the last Ice Age. Silva Fennica 24 (1): 9–19.

Cajander, A. K. 1917. Metsänhoidon perusteet II. Suomen dendrologian pääpiirteet. WSOY, Porvoo. 652 s.

Gale, M. R. & Grigal, D. F. 1987. Vertical root distributions of northern tree species in relation to successional status. Canadian Journal of Forest Research 17: 829–834.

Grasty, R. L. 1977. Applications of gamma radiation in remote sensing. Julkaisussa: Schanda (toim.). Remote Sensing for Environmental Sciences. Springer — Verlag, New York. s. 257–276.

Heinonen, T. 1983. Pääpuulajien kasvupaikkavaatimukset ja metsän uudistaminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 124: 17–26.

Hustich, I. 1966. On the forest-tundra and the northern tree-lines. A preliminary synthesis. Reports from Kevo Subarctic Research Station 3: 7–47.

Kallio, P., Laine, U. & Mäkinen, Y. 1971. Vascular flora of Inari Lapland. 2. Pinaceae and Cupressaceae. Reports from Kevo Subarctic Research Station 8: 73–100.

Kontio, M., Pulkkinen, E. & Räisänen M-L. 1992. Lapin maaperän ravinteisuus ja happamoitumisherkkyys geologian ja geokemian kannalta. Julkaisussa: Kauhanen, H. & Varmola, M. (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 413: 61–72.

Kujala, V. 1929. Untersuchungen über Waldtypen in Petsamo und in angrenzenden Teilen von Inari-Lappland. Selostus: Tutkimuksia Petsamon ja siihen rajoittuvien Inarin Lapin osien

metsätyypeistä. Communicationes ex instituto Quaestionum Forestalium Finlandiae 13. 125 s.

Lanne, E. 1986. Statistical multivariate analysis of airborne geophysical data on the SE border of the Central Lapland greenstone complex. Geophysical Prospecting 34: 1111–1128.

Lestinen, P. 1980. Peurasuvannon karttalehtialueen geokemiallisen kartoituksen tulokset. Summary: The results of the geochemical survey in the Peurasuvanto map-sheet area. Geokemiallisten karttojen selitykset, lehti 3723. Geologinen tutkimuslaitos. Espoo. 97 s. + liitt.

Mäkitalo, K., Sutinen, R., Sutinen M-L. & Pänttäjä, M. 1993. Metsämaan vesipitoisuuden luokitus dielektrisyyden ja gammasäteilyn avulla: potentiaalinen apuväline metsänuudistamisen suunnitteluun. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479: 62–78.

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.

Pulkkinen, E., Räisänen, M-L. & Ukonmaanaho, L. 1989. Geobotanical and biogeochemical exploration for gold in the Sattasvaara volcanic complex, Finnish Lapland. Journal of Geochemical Exploration 32: 223–230.

— & Rissanen, K. 1994. Vertical distribution of some elements and 137Cs-isotope in overbank sediments as an indicator of pollution in the Inari area, Northern Finnish Lapland. Journal of Geochemical Exploration (painossa).

Ritari, A & Nivala, V. 1993. Pohjois-Suomen numeerinen ilmastomalli mesoskaalassa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 479: 88–98

Schmidt-Vogt, H. 1977. Die Fichte. Band 1. Taxonomie, Verbreitung, Morphologie, Waldgesellschaften. Paul Parey Verlag. Hamburg und Berlin. 647 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.

— 1985. The ecological classification of sorted forest soils of varying genesis in northern Finland. Seloste: Syntytavaltaan erilaisten lajittuneiden kangasmetsämaiden ekologinen luokittelu Pohjois-Suomessa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 129. 77 s.

Suomen kartasto. 1987. Ilmasto. Maanmittaushallitus ja Suomen maantieteellinen seura. Vihko 131. 31 s.

— 1988. Kasvillisuus ja kasvisto. Maanmittaushallitus ja Suomen maantieteellinen seura. Vihko 141. 32 s. + liitt.

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

— Hyvönen, E., Mäkitalo, K. & Sutinen, M-L. 1994. Soil classification using dielectric and gamma-ray moisture detection: Potential aid for forest regeneration. International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, 12–15. September, Strasbourg, France. Proceedings III: 529–538.

— Mäkitalo, K., Sandström, O. & Sutinen, M-L. 1993. High soil water content coinsides with mortality of Scots pine seedlings. Käsikirjoitus.

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

Viro, P. J. 1962. Forest site evalution in Lapland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 55 (9): 1–14.

Zotimov, N. V. 1971. Use of the gamma field of the earth to determine the water content of soils. Soviet Hydrology: Selected Papers, Issue 4: 313–320.

Venäjän metsänrajametsien käytön kehitysnäkymiä

PERTTI VEIJOLA

Metsähallitus
Ylä-Lapin luonnonhoitoalue, PL 36
99801 IVALO

Taustaa

Skandinavian metsänraja-alueet poikkeavat olosuhteiltaan selvästi Euraasian mantereen metsänrajaseutujen keskimääräisistä oloista. Mereisen ilmaston ja vaihtelevan topografian vuoksi monet piirteet ovat erilaisia verrattuna itäisempiin, topografialtaan tasaisempiin ja ilmastoltaan mantereisempiin alueisiin, missä pohjoinen metsänraja ja sen tuntumassa olevat kasvillisuusvyöhykkeet esiintyvät selväpiirteisempinä. Ruotsissa ja Norjassa Kölivuoriston molemmin puolin metsänrajat ovat selvästi alpiinisia aivan pohjoisimpia osia lukuunottamatta, joiden olemuksesta on aikojen kuluessa esitetty monenlaisia tulkintoja. Lapin metsänrajoilla on Holtmeierin (1974) käsityksen mukaan selvä kaksoisluonne arktisine ja alpiinisine piirteineen, mihin Jäämeren rannikolla tulee vielä mereisyystekijä mukaan.

Lapin arktis-alpiiniset metsänrajat jatkuvat idässä Kuolan niemimaan puolelle, missä vähitellen itäisenä piirteenä kuusi tulee voimakkaammin mukaan metsäkuvaan. Kuolan metsänrajaseudut muodostavat mielenkiintoisen Fennoskandiaan kuuluvan kokonaisuuden, missä myös selvät alpiiniset metsänrajat ovat edustettuina korkeimmilla tuntureilla. Lännestä päin tarkasteltuna Kuolassa kiinnittävät huomiota luonnon itäiset piirteet, vaikka Venäjän metsänrajaseutujen joukossa sille tyypillisiä ovat läntiset, mereiseen ilmastoon liittyvät ominaisuudet.

Suomalaisella metsänrajatutkimuksella on pitkät perinteet Venäjän alueiden tuntemuksessa alkaen 1800-luvun Kuolan retkikunnista, mutta varsinkin metsäntutkimuksessa on venäläisen metsänrajatiemyksen tarkastelu jäänyt varsin vähäiseksi. Maantieteen ja kasvimaantieteen tutkijat ovat olleet sel-

Tasanen, T., Varmola, M. & Niemi, M. (toim.). Metsänraja tutkimuksen kohteena. Tutkimuspäivä Ylläksellä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 539: 49–59.

västi kiinnostuneempia venäläisistä näkemyksistä (Hustich 1966, Ahti ym. 1968, Haapasaari 1988). Tarkastelua vaikeuttavat venäläisen lähestymistavan ja terminologian suuret erot läntisiin verrattuna.

Venäjän metsänraja-alueet

Yleistä

Venäjällä metsänrajaseutujen tutkimusta on tehty kauan. Vaikka usein kasvimaantieteellinen tutkimus on näkyvästi esillä, on monitieteellinen lähestymistapa selvä. Venäläiset käyttävät sanaa "tundratiede" (tundravedenie) kuvaamaan tätä aihepiiriä. Metsänrajakysymysten merkeissä on pidetty useita, laajoja, monitieteellisiä konferensseja, joiden julkaisut antavat käsityksen tutkimuksen laajuudesta ja monipuolisuudesta (esim. Tikhomirov ja Norin 1967, Semjonov 1984, Kalabin 1993). Venäläiselle lähestymistavalle on luonteenomaista myös käytännön hyötynäkökohtien mukanaolo. Esimerkiksi metsänrajametsien suojavaikutuksille pohjoisille asutuskeskuksille ja maataloudelle annetaan suuri merkitys, ja näitä vaikutuksia pyritään aktiivisesti kehittämään. Monitieteellisyydestä huolimatta metsänraja-alueiden rajaus ja luokitus vaihtelevat huomattavasti eri tieteissä.

Metsätundra

Kasvimaantieteellisesti painottuvassa tarkastelussa keskeinen teema on metsätundra ja sen rajaaminen. Tikhomirov (1970) toteaa, että metsätundra (lesotundra) tuli käsitteenä venäläiseen kirjallisuuteen 1800-luvun puolivälin jälkeen ja että sitä on tutkittu hyvin laajasti ja monipuolisesti. Venäläisillä kasvimaantieteilijöillä on ollut vaihtelevia käsityksiä metsätundran olemuksesta. Norin (1961) pohdiskelee metsätundran asemaa todeten, että sitä on pidetty osana pohjoisinta taigaa tai tundran eteläosana. Ensimmäisenä sille antoi itsenäisen kasvillisuusvyöhykkeen aseman Cinserling (1932) tutkiessaan Kuolan niemimaan kasvillisuutta. Hänen laaja tutkimuksensa on edelleenkin eräs Kuolan kasvimaantieteen usein viitattuja perusselvityksiä. Cinserling tulkitsi lähinnä Friesin (1913) selvityksien perusteella metsätundran ulottuvan Ruotsiin asti. Metsätundraa on pidetty yleisesti omana kasvillisuusvyöhykkeenään (Tikhomirov 1970). Bliss & Matveyeva (1992) esittävät kuitenkin metsätundran taigan osana sekä Pohjois-Amerikassa että Euraasiassa. He toteavat, että arktisen vyöhykkeen etelärajaksi yleensä katsotaan ilmastollinen puuraja vedenjakajaylängöillä. Puustoa voi esiintyä jokilaak-

soissa ja muuten suojaisissa paikoissa eteläisellä tundralla. Norin (1961) tiivistää metsätundratyyppisen kasvillisuuden erikoispiirteet seuraavasti:

- Harventunut puusto mutta samalla sulkeutunut juuristo, mikä yhdessä pienen latvuspeittävyyden kanssa vaikuttaa pintakasvillisuuteen. Syntyy mosaiikkirakenteinen kasvipeite. Käytännön luokituksessa metsätundraan luetaan metsiköt, joiden tiheys on alle 0,3.

- Erikoislaatuisten puiden elomuotojen esiintyminen; kitumetsä (krivoles'e).

- Kasvistossa on hypoarktinen elementti eli lajistoa, joka on yhteistä taigan pohjoisosalle ja tundran eteläosalle.

- Metsätundran eteläraja asettuu sinne, missä vielä ylängöillä ja vastaavilla kasvupaikoilla metsätundratyyppinen kasvillisuus on vallitsevana.

Uusimmassa Venäjän euroopanpuoleisen osan kasvillisuuskartassa (Lavrenko & Isačenko 1979) määritellään tundran ja pohjoisen taigan välinen alue tundranläheiseksi harvaksi metsäksi, missä on mukana eteläistä pensastundraa eli – kokonaisuutena metsätundraksi. Kuolan niemimaalla on oma pohjoisatlanttinen koivuvaltaisen metsätundran (berezovye redkoles'ja) alueensa, missä koivikoissa on vaihtelevasti sekapuuna kuusta ja mäntyä. Koivikot jaetaan pintakasvillisuuden perusteella kahteen ryhmään. Lisäksi erotetaan tasankojen ja tuntureiden koivikot. Mänty- ja kuusivaltaiset metsät luetaan kuuluviksi pohjoiseen taigaan.

Varsinaisen yleisen kasvimaantieteellisen luokituksen ohella käytetään metsäkasvillisuuden vyöhykejakoa, missä puustolle ja sen kasvuedellytyksille annetaan luokitusperusteena suurempi paino. Tässä järjestelmässä suunnilleen edellisen laajuinen koivuvaltainen metsätundra luetaan yhdessä varsinaisen tundran kanssa kuuluvaksi Norjan rannikon ja Kuolan niemimaan tundraprovinssiin. Kurnaev (1973) toteaa, että verrattuna itäisempiin vastaaviin alueisiin Kuolassa on laajemmat mahdollisuudet saada aikaan metsiä metsätundralle sekä kasvattaa siellä uusia puu- ja pensaslajeja. Metsätundra rajoittuu tämän jaon mukaan Kuolassa suoraan pohjoiseen taigaan, eikä välissä ole jo Vienanmeren itäpuolella erottuvaa harventuneen taigan (redkostojnaja taiga) vyöhykettä, mikä on taigan pohjoisin osa.

Myös muualla on metsänrajaekotoni määritelty metsätundraksi. Hustich (1966) nimeää taloudellisen metsänrajan ja puulajirajan välisen alueen metsätundraksi. Sjörs (1967) pitää metsätundraa boreaalisen vyöhykkeen pohjoisimpana ja ylimpänä alavyöhykkeenä. Walter & Breckle (1986) määrittelevät metsätundran Eurosiperian boreaalisen havumetsävyöhykkeen ja tundran väliseksi ekotoniksi (Zono-Ökoton). Sirén (viimeksi 1991) käyttää metsänraja-alueista nimeä metsätundra. Pohjois-Amerikassa on käytössä nimi pohjoinen metsä/tundra ekotoni (Larsen 1989). Ahti ym. (1968) pitävät kui-

tenkin Fennoskandian tunturikoivikoita pohjoisboreaalisen vyöhykkeen mereisenä osana tai orohemiarktisena alueena.

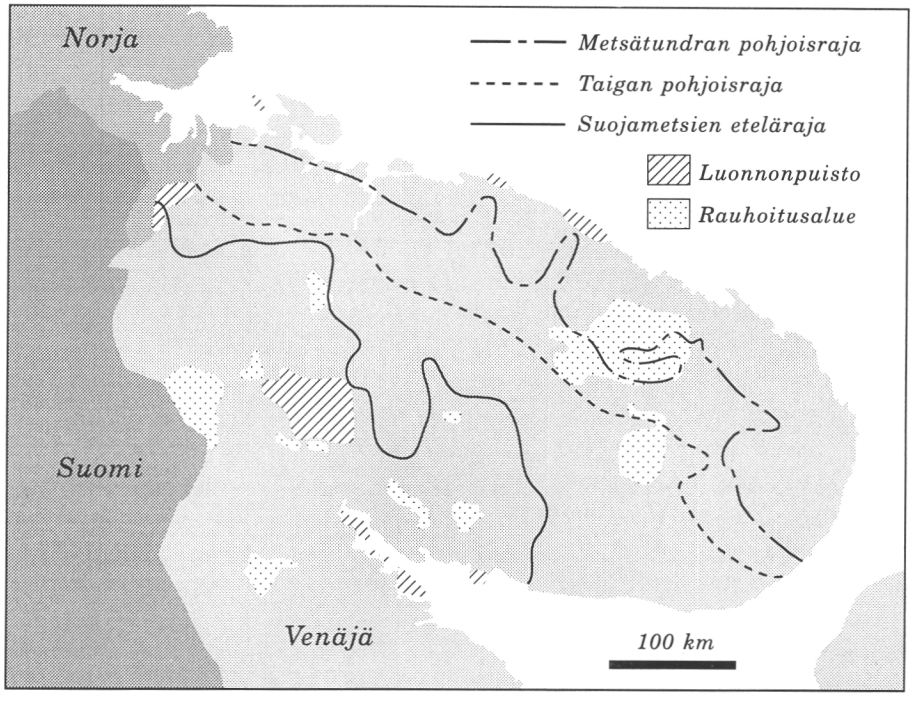
Tundrametsä

Maantieteen näkökulmasta Parmuzin (1979) esittää maisematyypin, fyysismaantieteellisen vyöhykkeen, tundrametsä (tundroles'e), johon myös metsätundra sisältyy. Hänen tulkintansa mukaan tämä myös Amerikassa tavattava vyöhyke eroaa ilmaston, maaperän, kasvillisuuden, eläimistön sekä hyödyntämisen edellytysten suhteen sekä tundrasta että taigasta. Tundrametsä ulottuu poikki Euraasian mantereen, mutta on selvästi metsätundraa laajempi käsite. Siihen kuuluu koko Kuolan niemimaa lukuunottamatta rannikon kapeaa, varsinaista tundravyöhykettä. Tundrametsän länsieurooppalaisen vyöhykkeen mereisessä sektorissa muodostaa yksinään Kuolan provinssi. Metsätundran leveys on Kuolassa 20–50 km, ja sen eteläpuolista metsäaluetta Parmuzin pitää harventuneiden metsien alavyöhykkeenä.

Tundranläheiset metsät

Metsätieteissä käytetään Venäjällä metsänrajametsistä omaa käsitettä; tundranläheiset metsät (suoraan käännettynä: tundran edessä olevat metsät, predtundrovye lesa). Niihin kuuluviksi luetaan tundran metsäsaarekkeet, metsätundra, pohjoisen taigan pohjoisin osa eli harventunut taiga (Čertovskoj ym. 1987). Jo vuonna 1959 erotettiin tundranläheiset suojametsät (pritundrovye zaščitnye lesa) hallituksen päätöksellä talousmetsistä ja määrättiin kuuluviksi metsien pääryhmään I, missä metsien päätavoitteena ovat suojavaikutukset. Vaikka suojametsät ovat olleet olemassa näin kauan, pidettiin ensimmäinen, tundranläheisten metsien metsätaloutta käsittelevä tieteellinen konferenssi vasta vuonna 1983. Konferenssin johtopäätöksenä todettiin, että tulee kehittää oma metsänhoidon järjestelmänsä näille metsille, tehostaa tutkimusta suojavaikutusten kehittämiseksi sekä tarkistaa eteläraja ja kehittää aluejakoa. Myös Murmanskin alueen tundranläheisten suojametsien merkittävää laajentamista on esitetty (Krjučkov ym. 1988). Käytännön ongelmiksi on todettu kaupalliset hakkuut, ohjaamaton porojen laidunnus, metsäpalot ja ilmansaasteet (Semjonov 1984). Krjučkov ym. (1988) tuovat esille, että monet taajamat, jotka aikaisemmin olivat taigan tai metsätundran ympäröimiä, ovat nykyisin metsätundralla tai tundralla ja että metsien väheneminen jatkuu edelleen. Tällaisia taajamia ovat esimerkiksi Pecenga, Nikel', Moncegorsk, Murmansk ja Kirovsk. Edelleen he toteavat, että suojametsissä tehdään paikotellen kaupallisia hakkuita ja että polttopuun hankinta uhkaa joissakin tapauksissa tundralla olevia metsäsaarekkeita. Murmanskin alueen tundranläheisten metsien rajaus on esitetty kuvassa 1.

Seuraavat tiedot tundranläheisistä metsistä ovat teoksen Čertovskoj'n ym. (1987) mukaan. Tundranläheiset metsät käsittävät yhteensä noin 45 miljoonan hehtaarin alueen, josta metsää on 47 %. Euroopan puolella on alueesta noin neljäsosa. Kokonaisuutena kysymyksessä on varsin luonnontilainen alue, jossa vanhojen metsien osuus on noin 80 %. Metsäalasta vain 0,1% on aukeita hakkuualoja ja 1 % paloaukeita. Eroosiota ja termokarstimuodostumia on lähes 9 % osuudella pinta-alasta. Puuston kokonaistilavuus on noin 1 400 milj. m^3, josta havupuiden osuus on 95 %. Tundranläheisille metsille ei ole tehty omaa erityistä aluejakoa, mutta tavallisesti niitä tarkastellaan seuraavien suurien metsäkasvillisuusalueiden mukaisesti: Kuola, Itä-Eurooppa, Länsi-Siperia, Keski-Siperia, Itä-Siperia ja Koillinen alue. Myös metsänkäsittelyohjeet noudattavat osin tätä jakoa. Alueittain on olemassa yksityiskohtaisia metsävaratietoja.



Kuva 1. Murmanskin alueen suojametsät Krjučkov ym. (1988) mukaan sekä luonnonsuojelualueet Kalabin (toim. 1992) mukaan.

Piirteitä Murmanskin alueen metsätalouden tilanteesta

Kestävyys

Entisen Neuvostoliiton metsätalouden ja metsäteollisuuden ongelmia on tarkasteltu viime vuosina monissa selvityksissä. IIASA:n yhteistyössä Venäjän viranomaisten kanssa tehty tutkimus antaa selvän kuvan ongelmien laadusta ja laajuudesta (Nilsson ym. 1992). Raportissa todetaan, että vaikka koko maan tasolla hakkuut alittavat suunnitteen, niin alueellisesti kestävyys monesti ylitetään. Esimerkkeinä selvistä ylihakkuutilanteista mainitaan Arkangelin, Komin ja Karjalan sekä eräät Siperian alueet. IIASA:n raportissa on myös laskettu alueellisia kehitysennusteita. Murmansk, Karjala, Komi ja Arkangeli kuuluvat pohjoiseen alueeseen, jonka keskeinen kysymys on vanhojen metsien uudistamisen ajoitus. Kaikki vaihtoehtoiset mallit osoittavat lähivuosikymmenille varsin hyviä hakkuumahdollisuuksia. Tarkastelussa ei ole voitu erottaa osa-alueita, eikä tundranläheisiä metsiä. Vuonna 1993 valmistui Jaakko Pöyry Oy:n laatima "master plan" Venäjän Pohjois-Euroopan alueelle. Tämän suunnitelman mahdollisia vaikutuksia tundranläheisiin metsiin ei ole julkistettu.

Murmanskin aluetta on pidetty pitkään runsasmetsäisenä alueena, jossa metsien hyödyntäminen voi olla laajaa. Koko Venäjän tundranläheisistä alueista täällä on kauimmin suoritettu kaupallisia hakkuita ja metsien hyödyntäminen on intensiivisempää kuin muilla alueilla. Vuotuinen hakkuumäärä on ollut 1960-luvulla suurimmillaan yli 2 milj. m^3 vuodessa (Atlas murmanskoj... 1971). Vojtenko (1993) arvioi nykytilannetta todeten, että hakkuusuunnite on alentunut 1980-luvulla selvästi. Venäjän metsäministeriö on vahvistanut vuonna 1991 suunnitteeksi 875 000 m^3 vuodessa. Alueen oman puunkäytön arvioidaan olevan noin miljoona kuutiometriä vuodessa, ja lisäksi merkittäviä määriä viedään muualle, esimerkiksi Suomeen. Vojtenko toteaa, että määrällisen ongelman lisäksi on olemassa rakenteellinen ongelma, sillä hakkuut ovat pitkän aikaa keskittyneet mäntyvaltaisiin metsiin. Männiköissä suunnite on ylitetty kaksin-kolminkertaisesti, ja samanaikaisesti kuusikot ja koivikot ovat lähes käyttämättä.

Metsänkäsittelyn ongelmia

Venäjällä on julkaistu verrattain paljon pohjoisten alueiden metsiä ja metsänkäsittelyä koskevia tutkimustuloksia ja ohjeita. Esimerkkeinä laajemmista julkaisuista voidaan mainita "Hakkuut ja metsän uudistaminen pohjoisessa" (Melehov 1960), "Metsänuudistaminen Karjalassa ja Murmanskin alueella" (Ramenskaja 1975) sekä " Pohjolan männiköt" (Cvetkov & Semjonov 1985), jossa mielenkiintoisella tavalla kytketään männiköiden käsittely pa-

loekologiaan. "Tundranläheiset metsät" (Čertovskoj'n ym. 1987) ja "Neuvostoliiton tundrametsä" (Parmuzin 1979) keskittyvät nimenomaan metsänraja-alueiden kysymyksiin.

Kirjallisuudessa ja käytännön ohjeissa on tarjolla monipuolinen hakkuutapojen valikoima, mutta puunkorjuun koneellistamiseen liittyen ns. keskitetyt päätehakkuut ovat olleet laajasti käytetty menetelmä myös pohjoisilla alueilla. Tämän menetelmän riskeihin tundranläheisissä metsissä on kiinnitetty huomiota jo varhain (Melehov 1960). Vallitsevan metsänkäsittelyn kritiikki on yleistynyt 1980-luvulta lähtien, ja monissa yhteyksissä on esitetty tarve muuttaa metsänkäsittelyä teollisuuden raaka-ainepainotteisesta ekologis-suojelulliseen suuntaan (esim. Krjučkov ym. 1988). Cvetkov (1989) on esittänyt, että Murmanskin alueella tulisi olla kaksi metsänhoidon järjestelmää: tundran läheinen suojelullinen ja pohjoisen taigan uudistamis-suojelullinen. Avohakkuiden korvaamista vaiheittaisella luontaisella uudistamisella ja valintahakkuilla pidetään tärkeänä (Vojtenko 1993, Semjonov 1993). Tämä kehitys edellyttää myös korjuuteknologian muutosta. Semjonov (1993) esittää, että tulee kehittää uusi "tundranläheisen metsänhoidon" suunta, joka vastaisi olemassaolevia esimerkiksi vuoristometsien ja subtrooppisten metsien hoidon järjestelmiä.

Nykyiset käsittelyohjeet

Uudessa Venäjän federaation metsälainsäädännössä painotetaan ekologisia ja luonnonsuojelullisia tavoitteita (Osnovy lesnogo... 1993). Laissa määrätään tundranläheiset metsät suojelumetsien pääryhmään I kuuluviksi. Talousmetsistäkin voidaan erottaa erityisesti suojeltavia osia. Laissa sanotaan, että mm. tundranläheisissä metsissä sallitaan vain kasvatushakkuut ja niitä vastaavat hakkuutavat. Muuten Murmanskin alueella noudatetaan päätehakkuissa yleisiä Luoteis-Venäjän metsien käsittelyohjeita. Uutena yksityiskohtana on 1993 otettu käyttöön ohje, joka rajoittaa yksittäisen uudistushakkuualan koon enintään 20 hehtaariin, ja viereen voi tehdä uuden uudistusalan aikaisintaan neljän vuoden kuluttua (Zimin 1993).

Tundran metsittäminen

Venäjän tundratutkimuksen tuloksissa tuodaan selvästi esille käsitys, että ihmisen pitkäaikainen vaikutus on merkittävästi pienentänyt metsänrajametsien pinta-alaa. Laajoilla alueilla on tundrankaltaisia kasviyhdyskuntia, joita voidaan nimittää "antropogeeniseksi tundraksi" (Tikhomirov 1963). Liittyen tällä vuosisadalla todettuun metsän etenemiseen tundralle on jo 1950-luvulla alettu viljelemällä edistää tätä kehitystä (Andreev 1954). Krjučkov (1984) toteaa, että työ on käynnissä laajoilla alueilla Nikelistä Magadaniin. Tavoit-

teena on ensisijaisesti kehittää tundralla olevien taajamien ympäristöä asukkaille miellyttävämmäksi ja luoda maatalousalueille suojavyöhykkeitä. Myös eroosioalueiden ja teollisuusaukioiden kasvillisuuden palauttaminen ja poronlaitumien kehittäminen liittyy samaan kokonaisuuteen. Käytännön esimerkki toiminnasta on Murmanskin erikoishoitoalue, joka on perustettu 1980-luvun alussa. Hoitoalueeseen kuuluvat kaupungin lähiseudut, noin 45 000 hehtaaria. Päätehtävänä on kaupungin läheisten hävitettyjen männiköiden palauttaminen viljelemällä. Hoitoalueella on oma taimitarhansa kasvihuoneineen. Vuotuinen viljelyala on 20–30 hehtaaria ja tähän mennessä on viljelty yhteensä noin 1 800 hehtaaria. Männyn lisäksi käytetään kuusta, lehtikuusta ja sembramäntyä. Hoitoalueessa tehdään vain kasvatushakkuita (Necaev 1993).

Luonnonsuojelualueet

Luonnonsuojelualueilla on Venäjän pohjoisosissa pitkät perinteet, sillä perustettiinhan Lapin suojelualue jo vuonna 1930. Luonnonsuojelualuejärjestelmän nykytilaa ja kehittämissuunnitelmia on kuvattu useissa julkaisuissa (Krjučkov ym. 1988, Krjučkov & Kondratovič 1988, Kalabin 1992). Yleisenä tavoitteena esitetään, että subarktisella alueella ekologisen tasapainon säilyttäminen edellyttää, että luonnontilaisten alueiden osuus on vähintään 85–90 % pinta-alasta. Pääryhmän I metsillä on tärkeä luonnonsuojelullinen merkitys.

Varsinaisia luonnonsuojelualueita on monta eri tyyppiä. Tieteellisillä suojelualueilla (zapovednik) ei sallita luonnonvarojen hyödyntämistä (kuva 1). Erityiset suojelualueet (zakasnik) on tarkoitettu tietyn ekosysteemin osan, esimerkiksi jonkin eläinlajin suojeluun. Rajoitettu talouskäyttö on sallittua. Kansallispuistoissa (prirodnyj nacionalnyj park) painottuvat luonnonsuojelun ohella kulttuuri ja virkistyskäyttö. Lisäksi on olemassa luonnonmuistomerkkejä ja soidensuojelualueita.

Luonnonsuojelualueiden kehittämiseksi on olemassa valtakunnallisia ja alueellisia suunnitelmia, joissa tavoitteena on eri luontotyyppien edustavuus ja toisaalta alueellinen kattavuus (Kondratovič & Nikonov 1993). Murmanskin alueen vireillä olevista hankkeista voidaan mainita Terin rannikon kansallispuisto ja Kantalahden "luonnonpuisto". Puunhankinnan ja luonnonsuojelun vastakkaiset tavoitteet tulevat esille myös Venäjän pohjoisten alueiden luonnonsuojelualueiden kehittämisessä (esim. Telegin 1993). Krjučkov (1993) on sitä mieltä, että ilmansaaste tuhot kyseenalaistavat uusien luonnonsuojelualueiden suunnittelun leveällä vyöhykkeellä Nikkeli-Kantalahti-Kovdor välisellä alueella. Vuoden 1990 alun tilanteen mukaan oli pääryhmän I metsien ja luonnonsuojelualueiden osuus alueiden pinta-alasta seuraava: Komi 14,8 %, Karjala 17,3 %, Arkangeli 13,1 %, Vologda 16.6 % ja

Murmansk 51,5 % (Gladkov ym. 1993). Arktiseen ympäristönsuojelusopimukseen liittyvän selvityksen mukaan, missä mukana ovat vain varsinaiset suojelualueet, koko Venäjän tundrasta on suojeltu noin 11% ja metsätundrasta sekä pohjoisesta taigasta noin 0,5 % (Huberth Hansen 1993).

Yhteenveto

Venäläinen, monitieteinen, pitkät perinteet omaava tundran ja metsänrajan tutkimus on tuottanut monia myös suomalaisesta näkökulmasta kiinnostavia tuloksia. Saattaisi olla syytä miettiä, tarjoaisiko venäläinen metsätundran ja tundranläheisten metsien analysointi joitakin myös Suomeen sovellettavia aineksia. Pohjoisten metsien käsittelymenetelmien kehittämisessä tulisi yhteistyötä tehostaa ja metsänrajametsiä käsittelevä venäläinen julkaisuaineisto tulisi saada käyttöön Suomessa. Suomen ja Venäjän välinen yhteistyö luonnonsuojelualueiden perustamisessa on etenemässä Karjalasta pohjoista kohti, ja monia mielenkiintoisia yhteisiä hankkeita on vireillä. Kannattaa harkita, olisiko Suomella voimavaroja ja edellytyksiä osallistua aktiivisemmin maankäytön ja luonnonsuojelualueiden suunnitteluun myös kauempana idässä, missä esimerkiksi Ruotsi ja eräät Keski-Euroopan maat tekevät yhteistyötä.

Kirjallisuus

Ahti, T., Hämet-Ahti, L. & Jalas, J. 1968. Vegetation zones and and their sections in northwestern Europe. Annales Botanici Fennici 5 (3): 169–211.

Andreev, V. N. 1954. Prodviženie drevesnoj rastel´nosti v tundry v svjazi s zaščitnymi svojstvami lesoposadok na severe. Botaničeskij Žurnal 39 (1): 28–47.

Atlas Murmanskoj oblasti, 1971. Glavnoe upravlenie geodezii i kartografii pri sovete Ministrov SSSR. Moskva. 33 s.

Bliss, L. C. & Matveyeva, N. V. 1992. Circumpolar arctic vegetation. Teoksessa: Chapin III, S. F., Jefferies, R. L., Reynolds, J. F., Shaver, G. R., Svoboda, J. & Chu, E. W. (toim.). Arctic ecosystems in a changing climate. An ecophysiological perspective. Academic Press, San Diego ym. s. 59–89.

Čertovskoj, V. G., Semenov, V. F., Cvetkov, V. F., Smolonogov, E. P., Vegerin, A. M., Mironenko, O. N., Tihmenev, E. A. & Listov, A. A. 1987. Predtundrovye lesa. BO "Agropromizdat", Moskva. 169 s.

Cinserling, Ju. D. 1932. Geografija rastinel´nogo pokrova severo-zapada evropejskoj časti SSSR. Trudy geomorfologiceskogo instituta. Vypusk 4. Izdatel´stvo Akademii Nauk SSSR. Leningrad. 377 s.

Cvetkov, V. F. 1989. Sistemy lesnogo hozjaistva Myrmanskoj oblasti. Teoksessa: Vinogradov, A. N. (toim.) Problemy kompleksnogo ispol´zovanija prirodnyh resyrsov Kol´skogo poluostrova. Vsesojuznaja konferencija, Apatity, 30.11–2.12 1989. Tezisy dokladov. Akademii Nauk SSSR, Kol´skij Naucnyj Centr. s. 119–120.

— & Semenov, B. A. 1985. Sosnjaki Krainego Severa. Agropromizdat. Moskva. 115 s.

Fries, Th. 1913. Botanische Untersuchungen im nördlichen Schweden. Ein Beitrag zur Kentniss der alpinen und subalpinen Vegetation in Torne Lappmark. Almqvist & Wiksell, Uppsala & Stockholm. 361 s.

Gladkov, V. P., Vorob´ev, G. A., Ermolin, B. V., Kondratovič, I. I. & Kučko A. A. 1993. Ohranjaemye prirodnyh territorii Evropejskogo Severa Rossijskoj Federacii. Julkaisussa: Kalabin, G. V. (toim.) Rastitel´nye resursy Evropejskogo Severa: produktivnost´, racional´noe ispol´zovanie, ohrana. Kol´skij Nautcnyj Centr, Rossijskoj Akademii Nauk. Apatity. 47–49 s.

Haapasaari, M. 1988. The oligotrophic heath vegetation of northern Fennoscandia and its zonation. Acta Botanica Fennica 135: 1–219 + App.: Tables 1–23 s.

Holtmeier, F-K. 1974. Geoökologische Beobachtungen und Studien an der subarktischen und alpinen Waldgrenzen in vergleichender Sicht. Franz Steiner Verlag GMBH, Wiesbaden. 130 s.

Huberth Hansen, J-P. 1993. The state of habitat protection in the Arctic. Conservation of Arctic Flora and Fauna, Report No 1. Directorate for Nature Management. Trondheim. 200 s.

Hustich, I. 1966. On the forest-tundra and the northern treelines. A preliminary synthesis. Reports from Kevo subarctic Research Station 3: 7–47 s.

Kalabin, G. V.(toim.) 1992. Osobo ohranjaemye prirodnye territorii Murmanskoj oblasti. Kol´skij Naucnyj Centr, RAN, Apatity. 68 s.

— (toim.) 1993. Rastitel´nye resursy Evropejskogo Severa: produktivnost´, racional´noe ispol´zovanie,ohrana. Kol´skij Naucnyj Centr, Rossijskoj Akademii Nauk. Apatity. 104 s.

Kondratovič, I. I. & Nikonov, V. V. 1993. Principy formirovanija regional´noj sistemy osobo ohranjaemyh prirodnyh territorii i ejo strukturnuh elementov. Julkaisussa: Kalabin,G.V (toim.) Rastitelnoe resyrsy Evropejskogo Severa: produktivnost´, racional´noe ispol´zovanie, ohrana. Kol´skij Nautcnyj Centr, Rossijskoj Akademii Nauk. Apatity. 44–46 s.

Krjučkov, V. V. 1984. Strategia ohrany prirody Severa. Priroda 1: 38–50 s.

— 1993. Ohranjaemye prirodnye territorii Kol`skogo Severa: real´noe polozenie i perspektivy. Julkaisussa: Kalabin, G.V. (toim.) Rastitel´nye resursy Evropejskogo Severa: produktivnost´, racional´noe ispol´zovanie, ohrana. Kol´skij Naucnyj Centr, Rossijskoj Akademii Nauk. Apatity. 52–54 s.

— Kondratovič, I. I. & Andreev, G. N. 1988. Krasnaja kniga ekosistem Kols´kogo Severa. Akademii Nauk SSSR Ordena Lenina Kol´skij Filial Imeni S. M. Kirova. Apatity. 102 s.

Kurnaev, S. F. 1973. Lesorastitel´noe rajonirovanie SSSR. Izdatelstvo "Nauka", Moskva. 202 s.

Larsen, J. A. 1989. The northern forest border in Canada and Alaska. Biotic communities and ecological relationships. Springer-Verlag, New York. 255 s.

Lavrenko, E. M. & Isačenko, T. I.(toim.) 1979. Karta rastitel´nosti evropejskoj časti SSSR, M. 1: 2 500 000. Botaničeskij institut im. V. L. Komarova, Rossijskaja Akademija Nauk. Sankt-Peterburg.

Melehov, I. S. 1960. Rubki i vozobnovlenie lesa na severe. Arhangel´skoe Knižnoe Izdatel´stvo. Arhangel´sk. 201 s.

Nečaev, V. N. 1993. Suullinen tiedonanto. Murmansk 11. 8.

Nilsson, S., Sallnäs, O. Hugosson, M. & Svidenko, A. 1992. The forest resources of the former european USSR. IIASA, The Parthenon Publishing Group, Carnforth- NewYork. 407 s.

Norin, B. N. 1961. Čto takoe lesotundra ? Botaničeskij Žurnal 46 (1): 22–36 s.

Osvovy lesnogo zakonodatel´stva Rossijskoj Federacii. "Ekos-Inform". 1993. Moskva. 63 s.

Parmuzin, Ju. P. 1979. Tundroles´e SSSR. "Mysl´". Moskva. 295 s.

Ramenskaja, M. L. (toim.) 1975. Lesovosstanovlenie v Karel´skoj ASSR i Murmanskoj oblasti.Karelsk. Petrozavodsk. 204 s.

Semjonov, B. A. 1984. Soveščanie "Predtundrovye lesa SSSR i vedenie v nih hozjajstvo". Lesovedenie 5: 76–77 s.

— 1993. Problemy predtundrovyh lesov. Lesnoe Hozjaistvo 1: 28–30 s.

Sirén, G. 1991. Förskjutningar av tallens skogs- och trädgränser i Fennoskandien i modern tid. Nordenskiöld Samfundets Tidskrift 50: 62–69.

Sjörs, H. 1967. Nordisk växtgeografi. Stockholm. 240 s.

Telegin, A. V. 1993. K voprosu o sozdanii Kandalakskogo prirodnogo parka. Teoksessa: Kalabin, G. V. (toim.) Rastitel´nye resursy Evropejskogo Severa: produktivnost´, racional´noe ispol´zovanie, ohrana. Kol´skij Naucnyj Centr, Rossijskoj Akademii Nauk. Apatity. s. 85–86 s.

Tikhomirov, B. A. 1963. Principal stages of vegetation development in northern U.S.S.R. as related to climatic fluctuations and the activity of man. The Canadian Geographer VII (2): 55–71 s.
— 1970. Forest limits as the most important biogeographical boundary in the North. Ecology of the subarctic regions. Proceedings of the Helsinki UNESCO symposium 1966. 35–44 s.
— & Norin, B. N. (toim.) 1967. Rastitel´nost lesotundry i puti ee osvoenija. Izdatelstvo "Nauka", Leningrad. 321 s.
Walter, H. & Breckle, S-W. 1986. Ökologie der Erde. Band 3. Spezielle Ökologie der gemässigten und arktischen Zonen Euro-Nordasiens. UTB Grosse Reihe. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 587 s.
Vojtenko, V. I. 1993. Sostojanie i ispol´zovanie lesosyrj´evyh resursov Murmanskoj oblasti. Teoksessa: Kalabin, G. V.(toim.) Rastitel´nye resursy Evropejskogo severa: Produktivnost, racional´noe ispol´zovanie, ohrana. Kol´skij Naucnyj Centr, Rossijskoj Akademii Nauk. Apatity. 11–13 s.
Zimin, A. 1993. Suullinen tiedonanto 13.8.

Poron laidunnuksen vaikutus metsänrajametsien primaarisukkessioon

TIMO HELLE

Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema
PL 16, 96301 ROVANIEMI

Johdanto

Samanlaisessa elinympäristössä esiintyessään poron ja sen villin kantamuodon tunturipeuran ravinnon koostumus eivät poikkea toisistaan. Se, että poron vaikutukset kasvillisuuteen ovat yleensä selvemmät, johtuu korkeammasta kannan tiheydestä (vrt. esim. Bergerud 1980, Helle & Kojola 1993). Pitkään jatkuneen intensiivisen talvilaidunnuksen vaikutukset jäkäläkankaiden kasvillisuuteen tunnetaan tarkoin (Ahti 1961, Oksanen 1978, Helle & Aspi 1983). Kesälaidunnusta sen sijaan on tutkittu hyvin vähän.

Viime aikoina on kuitenkin alettu kiinnittää huomiota poron ja tunturikoivun (*Betula pubescens* Ehrh. subsp. *tortuosa* (Lebed.) Nyman) suhteisiin; tunturikoivun lehdet ovat suosittua ja paljon käytettyä kesäravintoa (Haukioja & Heino 1974). Kullman (1991) pitää mahdollisena, että eräiden ajanjaksojen keskimääräistä heikompi tunturikoivun uudistumistulos Ruotsin tuntureilla olisi seuraus intensiivisestä hirven tai poron laidunnuksesta. Oksanen ym. (1994) ovat todenneet, että Pohjois-Fennoskandian tunturikoivikoiden tiheydessä ja pituus- ja ikäjakaumassa sekä yksittäisten puiden pituudessa ja kasvutavassa ilmenevä vaihtelu selittyy ilmastotekijöiden ohella poron ja lampaan laidunnuksella. Suomen Tunturi-Lapissa intensiivisesti laidunnettuihin tunturikoivikoihin syntyy yleensä runsaasti taimia porojen aiheuttaman maanpinnan rikkoutumisen ansiosta ainakin 300 metrin korkeudelle asti. Uudistumistulos saattaa kuitenkin jäädä heikommaksi kuin laiduntamattomassa koivikossa, sillä pienten taimien kuolleisuus on korkea vuosittain toistuvan lehtien riipimisen vuoksi (Helle & Kajala 1992).

Tasanen, T., Varmola, M. & Niemi, M. (toim.). Metsänraja tutkimuksen kohteena. Tutkimuspäivä Ylläksellä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 539: 60–70.

Tunturikoivu esiintyy metsänrajapuuna, usein männyn tai kuusen seurassa, myös alpiinisella metsänrajalla yhtenäisen tunturikoivuvyöhykkeen eteläpuolella (Hämet-Ahti 1978). On monia syitä olettaa, että siellä poron intensiivinen koivun käyttö vaikuttaa välillisesti myös havupuiden taimien menestymiseen. Tämä koskee yhtä hyvin metsänrajametsän primaari- kuin sekundaarisukkessiota. Vahva lumipeite suojaa taimia kevättalviselta kylmäkuivumiselta (Mork 1968, Kallio ym. 1971, Frey 1983, Kullman 1986), tuulen kuljettamien lumikiteiden aiheuttamilta mekaanisilta vaurioilta (Eiche 1966, Tranquillini 1979) sekä varmistaa riittävän kosteuden alkukesällä kuusen siemenen alkaessa itää (Lassila 1920, Vaartaja 1950, 1954, Kullman 1986). Lumipeite on metsän suojassa yleensä paljon vahvempi kuin tuulelle alttiissa avomaastossa (Helimäki 1974, Ohlsson 1981), joten periaatteessa sama ero esiintynee tiheän ja toisaalta poron harventaman taimikon välillä. Etukasvuisella koivulla voi olla havupuiden taimille myös muita suojavaikutuksia (Kullman 1985), joskin metsikön myöhemmissä kehitysvaiheissa puulajien välille voi muodostua myös kilpailutilanne (Kullman 1991).

Poron laidunnuksen vaikutuksia taimikkovaiheessa oleviin metsänrajametsiin tutkittiin Tuntsan paloalueella Sallassa, missä kesällä 1960 raivonnut palo poltti (Suomen puolella) noin 20 000 ha metsää. Osa tunturikoivikoista jäi kuitenkin palamatta, ja kuusta sekä alempana myös mäntyä säästyi siemenpuiksi kosteikossa ja rakkakivikossa. Luontaisesti syntyneet koivuvaltaiset taimikot peittävät tällä hetkellä tuntureiden rinteet alkuperäiseen tunturikoivuvyöhykkeeseen asti. Tutkimusasetelma poron vaikutusten tutkimiseksi on Tuntsalla erinomainen sen vuoksi, että normaalisti laidunnetulle alueelle löytyy laiduntamaton kontrolli porojen esteaidan ja valtakunnan rajan väliseltä alueelta.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksessa verrattiin Peuratunturin ja Puitsin rinnetaimikoita 30 vuotta Tuntsan palon jälkeen. Porojen laiduntaman Peuratunturin kontrollina käytettiin Puitsia, joka on ollut koko palon jälkeisen ajan porojen esteaidan itäpuolella ja siten laidunnuksen ulkopuolella. Geologialtaan ja myös muissa suhteissa tunturit ovat hyvin samanlaisia, Peuratunturi tosin korkeampi kuin Puitsi (530 metriä ja 460 metriä). Palolta säästyneitä alkuperäisiä tunturikoivikoita on Peuratunturissa edelleen 460–480 metrin ja Puitsilla 420–440 metrin korkeudella. Ennen paloa tuntureiden rinteillä kasvoi kuusi-koivu-sekametsää, alempana myös mäntyä. Kosteikoissa ja rakoissa yksittäisiä puita ja pieniä puuryhmiä säilyi tulelta, eikä niitä kerätty systemaattisesti pois ylempää tunturista myöskään paloa seuranneessa "nokisavotassa".

Aineisto kerättiin kummassakin tunturissa länsi-itä-suuntaiselta gradienttilinjalta, joka alkoi 325 metrin korkeudelta ja päättyi yhtenäiselle taimikko-

rajalle tunturin ylärinteellä. Koealat sijoittuivat gradienttilinjalle 100 metrin välein. Kukin koeala käsitti 5 tai 13 ympyräkoealaa, joiden pinta-ala oli joko 10 m^2 tai 25 m^2. Pienempää koealamäärää ja pienempää ympyräkoealaa käytettiin alarinteiden tiheissä ja tilajärjestykseltään tasaisissa taimikoissa. Kultakin ympyräkoealalta laskettiin eri puulajien taimien lukumäärä sekä suhteellista porotiheyttä kuvaavat (kesä) papanakasat. Lisäksi arvioitiin koivun ja kuusen valtapituus sekä mitattiin kymmenen lähimpänä ympyräkoealan keskipistettä kasvavaa koivuntainta. Samoista taimista arvioitiin porojen riipimän lehtibiomassan osuus koko biomassasta. Kultakin koealalta tehtiin myös kasvillisuuskuvaus sekä mitattiin kivisyys ja humuksen paksuus.

Kokonaislehtibiomassa ja poron käyttämän biomassan arvioimiseksi taimen pituuden ja lehtibiomassan välinen riippuvuus määritettiin Peuratunturissa erikseen ala- ja ylärinteen taimille. Puukohtaisen kokonaislehtibiomassa y (kuivapaino grammoina) laskettiin seuraavilla funktioilla:

alarinne: $y = -3{,}320 + \text{pituus}$; $r^2 = 0{,}755$, $n = 60$, $p < 0{,}001$,
ylärinne: $y = -1{,}018 + \text{pituus}$; $r^2 = 0{,}486$, $n = 60$, $p < 0{,}001$.

Koivuntaimien ikävertailu Peuratunturin ja Puitsin välillä perustui yhteensä 120 satunnaisesti valittuun taimeen tunturien ala-, keski- ja ylärinteiltä. Ikä määritettiin juuren niskan vuosilustoista.

Lopuksi, tai itse asiassa jo ennen varsinaisen tutkimuksen aloittamista, haluttiin varmistua siitä, että mahdolliset tutkimusalueiden väliset erot taimikoissa johtuvat nimenomaan poron laidunnuksesta. Tätäkin varten koejärjestely oli jo valmiina. Jänisvitsikkoon (325 m mpy) Peuratunturin ja Puitsin välille metsähallitus rakensi vuonna 1978 0,25 ha:n laajuisen poronpitävän aitauksen. Sen sisään syntynyttä taimikkoa verrattiin aitauksen ympärillä olevaan taimikkoon kesäkuussa 1991. Tutkimuksen kenttätyöt tehtiin muilta osin heinä-elokuussa 1991 ja 1992.

Tulokset

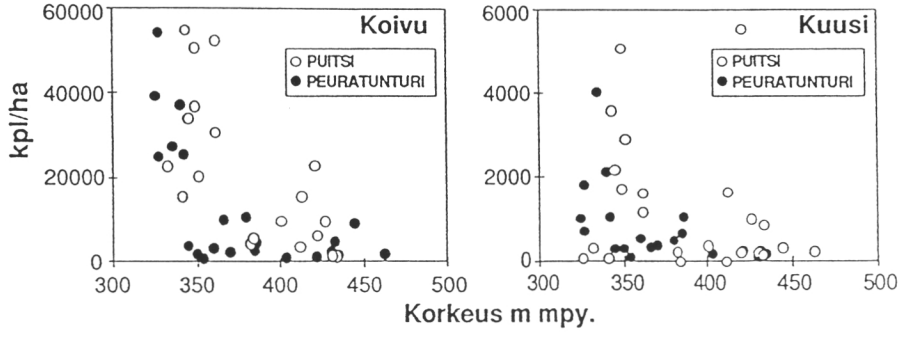
Taimikoiden tiheys ja pituus

Yhtenäiset tai lähes yhtenäiset taimikot ulottuvat Peuratunturissa 480 metriin ja Puitsilla 430 metrin korkeuteen (kuva 1). Ero taimikkorajan korkeudessa johtuu siitä, että muutenkin kasvipeitteetön rakkavyöhyke alkaa Puitsilla 50 metriä alempaa kuin Peuratunturissa. Koealojen taimista oli 93 % koivun- ja loput kuusentaimia. Näiden keskimääräisissä runsaussuhteissa ei ollut säännönmukaisia, koealan sijainnista korkeusgradientilla johtuvia ero-

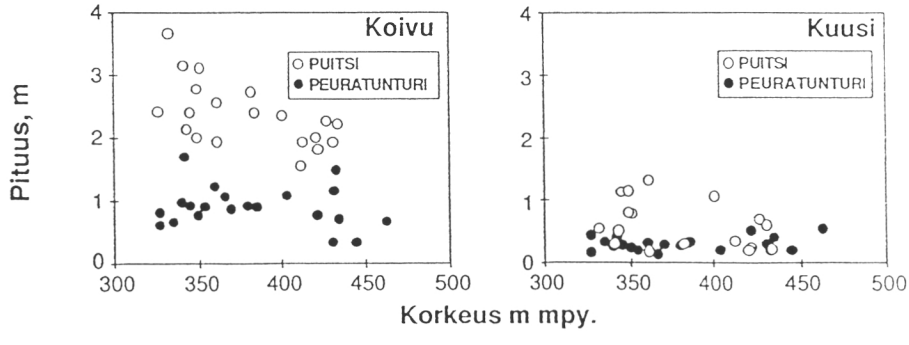
ja; kuusta esiintyi yhtä ylhäällä tunturissa kuin koivuakin. Männyntaimia löytyi vain kuudelta koealalta (enimmillään 220 tainta/ha), jotka kaikki sijaitsivat 360 metrin alapuolella.

Sekä koivun- että kuusentaimien määrä väheni jyrkästi kummassakin tunturissa 350 metrin yläpuolelle mentäessä. Niiden määrissä ei ollut eroa tuntureiden välillä 350 metrin alapuolella sijaitsevilla koealoilla (ANOVA: koivu, $F = 0{,}053$, $n = 13$, $df = 1$, $p = 0{,}822$; kuusi, $F = 0{,}039$, $n = 13$, $df = 1$, $p = 0{,}848$). Tämän rajan yläpuolelle sijoittuvilla koealoilla kummankin lajin taimia oli enemmän laiduntamattomalla Puitsilla (koivu: $F = 7{,}227$, $n = 20$, $df = 1$, $p = 0{,}012$; kuusi: $F = 4{,}640$, $n = 20$, $df = 1$, $p = 0{,}041$).

Koivuntaimien valtapituudet olivat Puitsilla 2–3-kertaiset Peuratunturiin verrattuna (kuva 2). Puitsilla valtapituudet pienenivät suoraviivaisesti korkeuden kasvaessa, Peuratunturissa sen sijaan samanlaista säännöllistä pituusvaihtelua ei esiintynyt. Myös kuusentaimet olivat Puitsilla merkittävästi pitempiä kuin Peuratunturissa (ANOVA: $F = 6{,}171$, $n = 40$, $df = 1$, $p = 0{,}018$), kun sen sijaan koealan sijainnilla korkeusgradientilla ei ollut vaikutusta taimien pituuteen kummallakaan alueella (kuva 2).



Kuva 1. Koivun- ja kuusentaimikoiden tiheydet laidunnetuilla (Peuratunturi) ja laiduntamattomalla (Puitsi) alueella.



Kuva 2. Koivun- ja kuusentaimien valtapituudet laidunnetulla (Peuratunturi) ja laiduntamattomalla (Puitsi) alueella.

Tunturien välisen vertailun tulokset käyvät koivun osalta hyvin yksiin Jänisvitsikon aitauskokeen tulosten kanssa. Koivut olivat aitauksen sisällä selvästi pitempiä kuin aitauksen ulkopuolella (aitaus 237 ± 46 cm (n = 24), aitauksen ulkopuoli 152 ± 48 cm (n = 30); ANOVA: F = 42,841, n = 54, df = 1, p < 0,001). Sen sijaan taimikon tiheydessä ei ollut eroa (aitaus 28 600 ± 26 800 kpl/ha (S.D.) (n = 25), aitauksen ulkopuoli 28 000 ± 19 200 kpl/ha (S.D.) (n = 30); ANOVA: F = 0,009, n = 57, df = 1, p = 0,926).

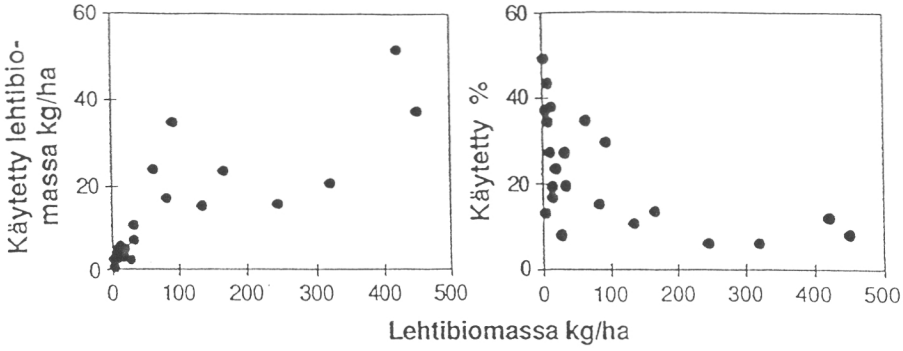
Koealakohtaiset koivu- ja kuusimäärät korreloivat Peuratunturissa positiivisesti keskenään (r = 0,565, df = 21, p < 0,01), Puitsilla korrelaatio oli selvästi heikompi (r = 0,404, df = 18, p < 0,1). Korrelaatiot heijastelevat ensisijaisesti sitä itsestäänselvyyttä, että molempia pääpuulajeja on eniten tuntureiden alarinteen koealoilla, vähiten lähellä metsänrajaa. Kummallakin alueella kuusen määrä oli maksimissaan silloin, kun koivun tiheys on noin 30 000 tainta hehtaarilla. Toisaalta aineistosta ei löydy selviä viitteitä siitä, että koivun pituus tai etukasvuisuus suhteessa kuuseen olisi vähentänyt kuusen määrää tai hidastanut sen kasvua.

Koivuntaimien ikävertailu

Puitsin koivuntaimet olivat eri rinnekorkeuksilla systemaattisesti vanhempia kuin Peuratunturissa, joskin ero keskirinteessä oli vain suuntaa-antava (taulukko 1). Maksimi-iän suhteen ero oli suurin (10 v) tunturien ylärinteillä. Molemmissa tuntureissa keski-ikä näytti alenevan korkeuden kasvaessa, mutta vaihtelu oli merkitsevää vain Puitsilla (ANOVA: F = 3,492, n = 60, df = 2, p = 0,037).

Taulukko 1. Koivuntaimien iät ($\bar{x}$ ± S.D. sekä vaihteluväli) Peuratunturissa ja Puitsilla eri korkeuksilla. Otoskoko kaikissa tapauksissa 20. Erojen merkitsevyys testattu ANOVA:lla.

	Peuratunturi	Puitsi	F	p
Alarinne	14 ± 7	22 ± 6	17,12	< 0,001
	2 – 26	11 – 31		
Keskirinne	13 ± 7	17 ± 6	3,53	0,068
	8 – 22	6 – 27		
Ylärinne	9 ± 4	19 ± 8	4,380	0,043
	3 – 19	6 – 29		



Kuva 3. Poron käyttämä lehtibiomassa suhteessa tarjolla olevaan biomassaan (A) ja koivuntaimien käyttö (montako prosenttia lehdistä riivitty) (B) Peuratunturissa.

Laidunnuksen jakautuminen

Papanatiheyksillä ilmaistut suhteelliset porotiheydet eivät olleet Peuratunturissa yhteydessä korkeuteen tai koivuntaimien määrään. Korrelaatio toisen tärkeän kesäravintokasvin, metsälauhan, peittävyyden kanssa oli sen sijaan merkitsevä ($r = 0{,}508$, $df = 22$, $p < 0{,}05$). Toisaalta poro-koivu-suhteissa ilmeni muunlaista säännönmukaisuutta (kuva 3).

Porojen käyttämä lehtibiomassa oli suurin siellä, missä sitä oli eniten tarjolla, ts. alarinteen tiheissä taimikoissa. Koivunlehtien käyttöteho (kuinka monta prosenttia lehdistä riivitty) sen sijaan kasvoi, kun saatavilla oleva lehtibiomassa pieneni, ts. mitä ylemmäksi tunturiin noustiin. Käyttötehon ja korkeuden välillä olikin vahva korrelaatio ($r = 0{,}717$, $df = 21$, $p < 0{,}001$). Koivunlehtien käyttöteho oli Peuratunturissa selvästi suurempi kuin Puitsilla (25 ± 16 % (S.D.) *vs* 9 ± 3 % (S.D.)), jossa lehtien käyttäjät olivat lähinnä hyönteisiä. Puitsilla käyttöteho ei myöskään korreloinut koealan korkeuden kanssa ($r = 0{,}376$, $df = 10$, $p > 0{,}05$).

Lumensyvyydet

Maaliskuussa 1993 mitatut lumensyvyydet olivat Puitsilla selvästi suurimmat lukuunottamatta tunturien ylärinnettä taimikkorajan ja paljakan vaiheilla (taulukko 2).

Taulukko 2. Lumensyvyydet ($\bar{x}$ ± S.D.) Peuratunturissa ja Puitsilla maaliskuussa 1993 eri korkeuksilla. Erojen merkitsevyys testattu ANOVA:lla. Havaintojen lukumäärä sulkeissa.

Sijainti	Peuratuntri	Puitsi	F	p
Ylärinne	51 ± 21	39 ± 32	1,879	0,180
	(21)	(12)		
Keskirinne	64 ± 21	100 ± 23	32,556	< 0,001
	(31)	(20)		
Alarinne	74 ± 17	98 ± 23	12,000	< 0,001
	(21)	(14)		

Tulosten tarkastelu

Huomattava osa tutkimustuloksista, jotka koskevat suurten kasvinsyöjänisäkkäiden vaikutuksia kasvillisuuteen, perustuu aidattujen ja aitaamattomien alueiden vertailuun (mm. Adams 1975, Crawley 1983, Risenhover & Maass 1987). Koska aitaukset on yleensä rakennettu käytännön tarpeita silmällä pitäen, myöhemmin "keksitty" koejärjestely ei välttämättä täytä kaikkia ekologiselle kokeelle asetettuja vaatimuksia. Tämä pätee myös tähän tutkimukseen. Ihanteellinen koejärjestely olisi nimittäin edellyttänyt sen ohella, että metsät olisi tarkoin inventoitu ennen paloa, että Peuratunturiin olisi rakennettu aitauksia eri korkeuksille heti palon jälkeen kesällä 1960 ja näille vielä mielellään toistot pariin muuhun palaneeseen tunturiin. Laidunnuksen vaikutuksia kehittyvään taimikkoon olisi voitu seurata kussakin tapauksessa maaperältään ja ilmastoltaan täysin samanlaisissa olosuhteissa. Tulosten tulkintaan ei tällöin sisältyisi riskiä, että laidunnuksella selitetään eroja, jotka todellisuudessa johtuvat ainakin osaksi muista tekijöistä. Toisaalta "luontaisesti" syntyneet kokeet mahdollistavat sellaisetkin tutkimukset, jotka muussa tapauksessa jäisivät kokonaan tekemättä korkeiden kustannusten vuoksi (esim. laajat metsäpalot, laidunnettu-laiduntamaton-vertailu jne.) tai joista olisi saatavissa tuloksia vasta vuosikymmenien päästä, vaikka ne nyt päätettäisiinkin aloittaa.

Tunturien välinen ero oli selvin koivuntaimikon pituudessa, mikä pystyttiin myös varmimmin osoittamaan laidunnuksesta johtuvaksi Jänisvitsikon aitauskokeen avulla. Lehtien riipiminen saattaa vahingoittaa kärkisilmua, mistä puolestaan on seurauksena latvanvaihto ja pituuskasvun hidastuminen. Alle 100 cm:n mittaisista taimista porot riipivät tehokkaimmin latvat ja ylä-

oksien kärjet, ts. juuri ne versonosat, joissa pituuskasvu tapahtuisi. Tämä selittänee sen, että vaikka koivunlehtien käyttöteho jäi Peuratunturin alarinteen tiheissä taimikoissa selvästi alhaisemmaksi kuin ylempänä tunturissa, koealan sijainnilla korkeusgradientilla ei ollut vaikutusta taimikon pituuteen päin vastoin kuin laiduntamattomalla Puitsilla.

Toiseksi kävi ilmi, että Peuratunturin koivuntaimikot olivat Puitsin taimikoita nuorempia. Ei ole kuitenkaan todennäköistä, että Peuratunturin taimettuminen olisi alkanut jostain syystä myöhemmin. Maastotyön yhteydessä kullakin koealalla arvioitiin etäisyys lähimpään siemennyskelpoiseen (palossa säästyneeseen) koivuun, mutta tässä ei ollut eroja tuntureiden välillä (julkaisematon aineisto). Ainoaksi varteenotettavaksi selitykseksi jääkin pian palon jälkeen syntyneiden taimien korkea kuolleisuus: saatavilla oleva lehtibiomassa oli vielä vähäinen, mistä syystä käyttöteho oli ilmeisesti korkea (vrt. kuva 3). Pienten taimien korkea kuolleisuus on yleinen ilmiö kovan laidunnuspaineen alaisissa koivikoissa Tunturi-Lapissa (Helle & Kojola 1993). Se on myös ilmeisin syy tässä työssä todettuun taimikon harvuuteen Peuratunturin yli 350 metrin korkeudella sijaitsevilla koealoilla.

Vastapalanut maaperä on huono itämis- ja kasvualusta kuusentaimille (Aaltonen 1919, Kujala 1926, Kallio ym. 1971). Kuusen taimettumishistoriasta Tuntsan paloalueella saadaan tarkempaa tietoa, kunhan kerätty ikäaineisto on analysoitu. Inventointiajankohtana, kun palosta oli kulunut 30 vuotta, kuusen taimitiheydet olivat samaa suuruusluokkaa kuin Kempin (1989) Metsä–Lapissa tutkimissa vanhoissa metsänrajametsissä. Niissä taimitiheydet olivat suurimmat lähellä metsänrajaa (n. 390 m mpy), kun Tuntsalla parhaiten olivat taimettuneet tunturien alarinteet (< 350 m mpy). Syynä vanhojen metsien heikkoon uudistumistulokseen tuntureiden alarinteellä on ilmeisesti paksu kuntta sekä tiheä sammal- ja varpukasvillisuus (Aaltonen 1919, Renvall 1919, Hustich 1940, Kallio ym. 1971), ts. tekijät, jotka palaneelta alueelta puuttuvat.

Kuusentaimikoiden tiheydessä ja pituudessa ilmeni Tuntsalla samat erot kuin koivuntaimikoissakin. Jänisvitsikon aitauksella ei esiintynyt kuusta, joten erojen selittäminen nimenomaan laidunnuksesta johtuviksi jää tältä osin spekulatiiviseksi. Toisaalta havainnot sopivat hyvin yhteen kuusentaimien menestymistä koskevan tiedon kanssa, jossa korostetaan erityisesti vahvan lumipeitteen positiivisia vaikutuksia (Skre 1972, Frey 1983, Havas 1978, Kullman 1986, Kemppi 1989). Tässä tutkimuksessa todettiin, että lumipeite oli vahvempi laiduntamattomalla alueella, mihin oli syynä mitä ilmeisimmin pitempi ja tiheämpi koivuntaimikko. Puuston ja pensaskasvillisuuden lumen syvyyttä lisäävä vaikutus tunturin rinteellä on monissa aikaisemmissa tutkimuksissa todettu "itsestäänselvyys" (Nordhagen 1927, Kalliola 1939, Dahl 1956, Helimäki 1974, Ohlsson 1981).

Kuusen hyötyminen tiheästä etukasvuisesta koivusta voi muuttua myöhemmin lajien väliseksi kilpailuksi (Kullman 1986); jo Frödin (1916) havaitsi, että kuusen kasvu parani, kun tunturimittari tuhosi sekapuuna samalla

kasvupaikalla esiintyneen tunturikoivun. Tuntsan paloalueen primaarisukkessio on vielä niin varhaisessa vaiheessa, että selviä merkkejä lajien välisestä kilpailusta ei ole havaittavissa. Se tosin oli nähtävissä, että kuusen tiheys oli suurin taimikoissa, joissa koivuntaimia oli noin 30 000 kpl/ha, ts. puolet todetusta maksimitiheydestä.

Sallan pohjoisen paliskunnan porojen talvikannan tiheys oli 1950- ja 1960-luvun vaihteessa noin 3 yksilöä/km^2, minkä jälkeen tiheys aleni kolmannekseen vuoteen 1970 mennessä; syynä oli ainakin osittain juuri Tuntsan palon aiheuttama talvilaidunmenetys. Paloa edeltäneelle tasolle tiheys nousi vasta 1980-luvun lopulla. Ennen paloa, kun porotiheys oli korkea ja tunturikoivikot pienialaisia, koivikoihin on kohdistunut ilmeisesti erittäin kova laidunnuspaine. Vielä vähemmän poroa kohti oli syötävää palon jälkeen nopeasti vähentyneestä porotiheydestä huolimatta; tässä tutkimuksessa kävi ilmi, että taimikon vakiintuminen oli laidunnetulla alueella suhteellisen vähäistä vielä 10–15 vuotta palon jälkeen. Jos alueella olisi ollut luontainen petojen säätelemä peurakanta (0,8 yksilöä/km^2, Bergerud 1980), taimettuminen olisi tapahtunut ehkä hivenen nopeammin. Alueen alkuperäiset tunturikoivikot ovat kuitenkin niin pienialaisia, että niihin on kohdistunut ilmeisen kova laidunnuspaine jo peurakaudella.

Kiitokset

Haluan kiittää erityisesti Matti Särkelää, joka organisoi Tuntsalla tehdyt maastotyöt. Hänellä oli apunaan Pekka P. Helle, Rainer Hourula, Seppo Lohiniva, Aarno Niva ja Juhani Särkelä. Raimo Pikkupeuraa ja Eija Virtasta kiitän avusta kirjoituksen valmistelussa. Sallan pohjoinen paliskunta tarjosi maastotyöntekijöiden tukikohdaksi Tuntsan porokämpän.

Kirjallisuus

Aaltonen, V. T. 1919. Kangasmetsien luonnollisesta uudistumisesta Suomen Lapissa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 1: 1–319.

Adams, S. N. 1975. Sheep and cattle grazing in forests: a review. Journal of Applied Ecology 12: 143–152.

Ahti, T. 1961. Taxonomic studies on reindeer lichens (Cladonia, subg. Cladina). Annales Botanici Societatis "Vanamo" 32: 1–160.

Bergerud, A. T. 1980. A review of the population dynamics of caribou and wild reindeer in North America. Julkaisussa: Reimers, E., Gaare, E. & Skjenneberg, S. (toim.). Proceedings of the 2nd International Reindeer/Caribou Symposium, Roros, Norway, 1979. Direktoratet for vilt og ferskvannfisk, Trondheim. s. 556–581.

Crawley, M. J. 1983. Herbivory: the dynamics of animal-plant interactions. Studies in ecology. Vol. 10. University of California Press, Berkeley. s. 437.

Dahl, E. 1956. Rondane: mountain vegetation in South Norway and its relation to the environment. Det Norske Videnskaps-Akademi, I Matematisk–Naturvitenskapelig Klasse 3: 1–374.
Eiche, W. 1966. Cold damage and plant mortality in experimental provenance plantations with Scots pine in northern Sweden. Studia Forestalia Suecica 36: 1–218.
Frey, W. 1983. The influence of snow on growth and survival of planted trees. Arctic and Alpine Research 15 (2): 241–251.
Frödin, J. 1916. Studier över skogsgränserna i norra delen av Lule Lappmark. Acta Univ. Lunds 13: 2.
Haukioja, E. & Heino, J. 1974. Birch consumption by reindeer (Rangifer tarandus) in Finnish Lapland. Reports from the Kevo Subarctic Research Station 11: 22–25.
Havas, P. 1978. Kasvien talvi. Acta Lapponica Fenniae 10. 9 s.
Helimäki, U. I. 1974. Lapin ilmastosta ja tunturien ilmaston erikoisuuksista. Acta Lapponica Fenniae 8: 23–27.
Helle, T. & Aspi, J. 1983. Effects of winter grazing by reindeer on vegetation. Oikos 40: 337–343.
— & Kajala, L. 1992. Browsing of sub-arctic birch forests by reindeer. Disturbance related dynamics of birch and birch dominated ecosystems. A Nordic Symposium Iceland 1992. Iceland Forest Research Station. Extended abstracts. s. 25–27.
— & Kojola, I. 1993. Reproduction and mortality of Finnish semi-domesticated reindeer in relation to density and management strategies. Arctic 46 (1): 72–77.
Hustich, I. 1940. Tallstudier sommaren 1939 i Enare och Utsjoki. Acta Societas pro Fauna et Flora Fennica 62 (6): 1–76.
Hämet-Ahti, L. 1978. Koivumetsävyöhyke – Fennoskandian erikoisuus. Acta Lapponica Fennica 10: 31–35.
Kallio, P., Laine, U. & Mäkinen, Y. 1971. Vascular flora of Inari Lapland 2. Pinaceae – cupressaceae. Reports from the Kevo Subarctic Research Station 8: 73–100.
Kalliola, R. 1939. Pflanzensoziologische Untersuchungen in der alpinen Stufe Finnisch-Lapplands. Annales Botanici Societatis "Vanamo" 13 (2): 1–321.
Kemppi, E. 1989. Kuusen luontainen uudistuminen metsänraja-alueilla. Metsänhoitotieteen pro gradu -työ. Helsingin yliopisto. 79 s.
Kujala, V. 1926. Untersuchungen über den Einfluss von Waldbränder auf die Waldvegetation in Nordfinnland. Selostus: Tutkimuksia kulojen vaikutuksesta metsäkasvillisuuteen Pohjois-Suomessa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 10 (5): 1–41.
Kullman, L. 1985. Växtbiografi – ett komplement i föryngringsforskningen. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 3: 3–9.
— 1986. Recent tree-limit history of Picea abies in the southern Swedish Scandes. Canadian Journal of Forest Research 16: 761–771.
— 1991. Structural change in a subalpine birch woodland in North Sweden during the past century. Journal of Biogeography 18 (1): 53–62.
Lassila, I. 1920. Tutkimuksia mäntymetsien synnystä ja kehityksestä pohjoisen napapiirin pohjoispuolella. Acta Forestalia Fennica 14 (3): 1–95.
Mork, E. 1968. Okologiske undersokelser i fjellskogen i Hirkjolen forsokområde. Meddeleser Fra Norske skogsforsoksvesen. 93 (7): 467–614.
Nordhagen, R. 1927. Die Vegetation und Flora des Sylene-gebietes. I. Die Vegetation. Skr. Nor. Vidensk. Akad. I: Mat. Naturv. Kl. 1927: 1–627.
Ohlsson, B. 1981. Utsjoen-Inarin Lapin ilmasto-oloista ja kallioperästä. Luonnon tutkija 85: 75–79.
Oksanen, L. 1978. Lichen grounds on Finnmarksvidda, northern Norway in relation to summer and winter grazing by reindeer. Reports from the Kevo Subarctic Research Station 14: 64–72.
Oksanen, L., Moen, J. & Helle, T. 1994. Timberline patterns in northernmost Fennoscandia: the relative importance of climate and grazing. Acta Botanica Fennica (painossa).
Renvall, A. 1919. Suojametsäkysymyksestä 1–6. Acta Forestalia Fennica 11: 1–671.
Risenhover, K. L. & Maass, S. A. 1987. The influence of moose on the composition and structure of Isle Royale forests. Canadian Journal of Forest Research 17: 357–364.
Skre, O. 1972. High temperature demands for growth and development in Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) in Skandinavia. Meldinger Fra Norges Landbrukshøgskole 51 (7): 1–29.

Tranquillini, W. 1979. Physiological ecology of the alpine timberline. Tree existence at high altitudes with special reference to the European Alps. Ecological studies 31: 1–137.
Vaartaja, O. 1950. On factors affecting the initial development of pine. Oikos 2.
— 1954. Factors causing mortality of tree seeds and succulent seedlings. Acta Forestalia Fennica 62 (3).

Kovakuoriaislajiston monimuotoisuus pohjoisissa metsänrajametsissä

ANNA-LIISA SIPPOLA[1], JUHA SIITONEN[2] & REINO KALLIO[1]

[1]Lapin yliopisto, Arktinen keskus
PL 122, 96101 ROVANIEMI
[2]Metsäntutkimuslaitos, Kolarin tutkimusasema
95900 Kolari

Johdanto

Noin 15 000 km^2 tiettömiä alueita rauhoitettiin Pohjois-Lapissa erämaalain nojalla vuonna 1991 (Suomen säädöskokoelma 1991). Erämaa-alueet pyritään säilyttämään tulevaisuudessakin tiettöminä ja luonteeltaan erämaisina. Yli 80 % alueiden pinta-alasta on puutonta paljakkaa, soita ja tunturikoivikoita. Havumetsät kattavat noin 12 % erämaiden kokonaispinta-alasta, ja suurin osa (80 %) niistä on männiköitä. Kuusen metsänraja ulottuu erämaa-alueiden eteläosiin; kuusivaltaiset metsät kattavat 16 % metsäalasta. Metsät ovat etupäässä yli 200 vuotta vanhoja ja suurelta osin luonnontilaisia. Valtaosa metsäalasta, mm. kaikki kuusivaltaiset metsät, on rajattu metsätalouden ulkopuolelle, mutta osaa mäntymetsistä (noin 200 km^2) voidaan käsitellä nk. luonnonmukaisin hakkuin (Erämaakomitean mietintö 1989). Sekä erämaa-alueet että Lapin laajat kansallis- ja luonnonpuistot tarjoavat hyvän mahdollisuuden tutkia luonnontilaisten ekosysteemien lajistoa ja verrata sitä metsätalouskäytössä olevien alueiden lajistoon. Metsätaloutta pidetään tärkeimpänä yksittäisenä uhanalaisuuden aiheuttajana monissa eliöryhmissä, mm. kovakuoriaisilla (Uhanalaisten...1991). Luonnon monimuotoisuuden säilyttämiseksi olisi oleellista tietää, onko luonnonmetsistä löydettävissä sellaisia rakennepiirteitä, joita säilyttämällä voidaan paremmin ylläpitää monimuotoista metsälajistoa myös talousmetsissä.

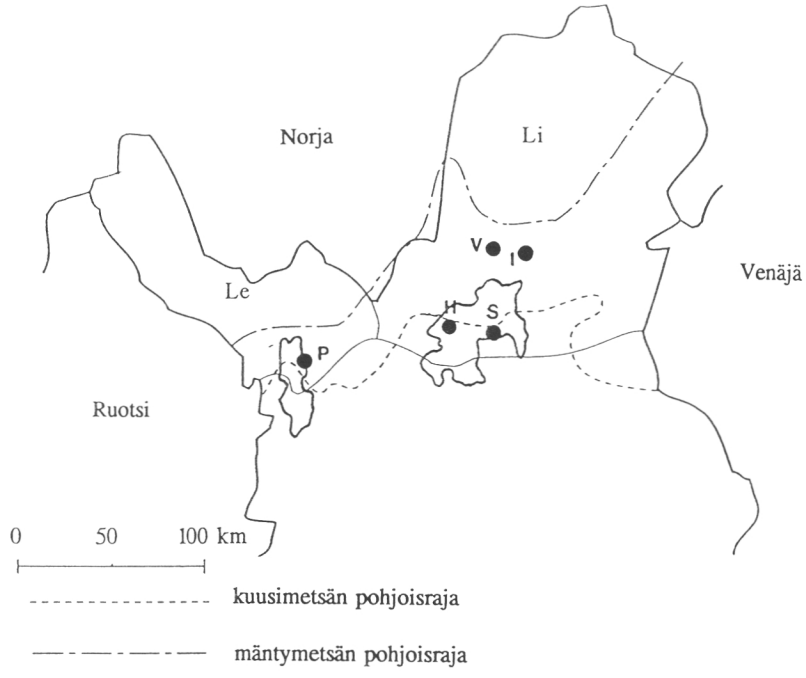
Tasanen, T., Varmola, M. & Niemi, M. (toim.). Metsänraja tutkimuksen kohteena. Tutkimuspäivä Ylläksellä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 539: 71–79.

Erämaametsien samoin kuin muiden metsänrajametsien selkärangattomasta lajistosta tiedetään Suomessa hyvin vähän. Ei esimerkiksi tiedetä, poikkeaako lajisto näillä alueilla eteläisempien alueiden vanhojen metsien lajistosta. Vuonna 1992 alkaneen tutkimuksemme tarkoituksena on tuottaa perustietoa metsänrajametsien kovakuoriaislajistosta. Tutkimuksessa haetaan vastauksia mm. seuraaviin kysymyksiin:

- Millainen kovakuoriaislajiston koostumus on eri elinpaikoilla pohjoisissa metsänrajametsissä?
- Voidaanko metsikkötunnusten (mm. pääpuulaji, metsätyyppi, elävän puuston määrä, lahopuun määrä ja laatu) avulla selittää ja ennustaa, miten paljon lajeja tietyssä metsikössä on ja mitä lajeja kyseisessä metsikössä esiintyy?
- Miten eri tavoin käsiteltyjen metsien lajisto eroaa luonnontilaisten metsien lajistosta?
- Kuinka monimuotoinen lajisto erämaametsissä on verrattuna eteläisempien alueiden metsiin, ja millainen merkitys erämaametsillä on harvinaisten ja uhanalaisten lajien elinympäristönä?

Aineisto ja menetelmät

Tutkimusalueet sijaitsevat Pallas-Ounastunturin kansallispuistossa ja sen ympäristössä sekä Hammastunturin erämaa-alueella ja sitä ympäröivissä talousmetsissä Inarissa (kuva 1). Tutkimusalueille on perustettu 1992–93 yhteensä 35 yhden hehtaarin kokoista koealaa eri tyyppisiin metsiköihin. Kesällä 1992 tutkimusta tehtiin luonnontilaisissa kuivahkon ja kuivan kankaan mäntymetsissä, joihin perustettiin neljälle eri alueelle (Pallas, Härkäselkä, Sotajoki, Inari) yhteensä 12 koelaa. Koealoja perustettiin kullekin alueelle puustoltaan keskimääräiseen sekä niukka- ja runsaspuustoiseen metsikköön, joissa myös lahopuun määrä vaihteli mahdollisimman paljon. Kesällä 1993 tutkimusta laajennettiin tuoreen kankaan kuusikoihin ja kuusivaltaisiin lehtoihin sekä siemenpuuhakkuilla käsiteltyihin männiköihin ja männyntaimikoihin. Kultakin koealalta on mitattu hehtaarin alalta elävä puusto, lahopuun määrä ja laatu sekä pintakasvillisuuden lajit ja niiden peittävyydet. Kovakuoriaislajistosta on otettu näytteitä ikkunapyydysten avulla. Ikkunapyydykset pyytävät lentäviä hyönteisiä, jotka törmäävät läpinäkyvään pleksiruutuun ja putoavat sen alla olevaan keräysastiaan. Keräysastiassa on vettä, pesuainetta, joka poistaa veden pintajännityksen, sekä säilövänä aineena karkeaa suolaa.



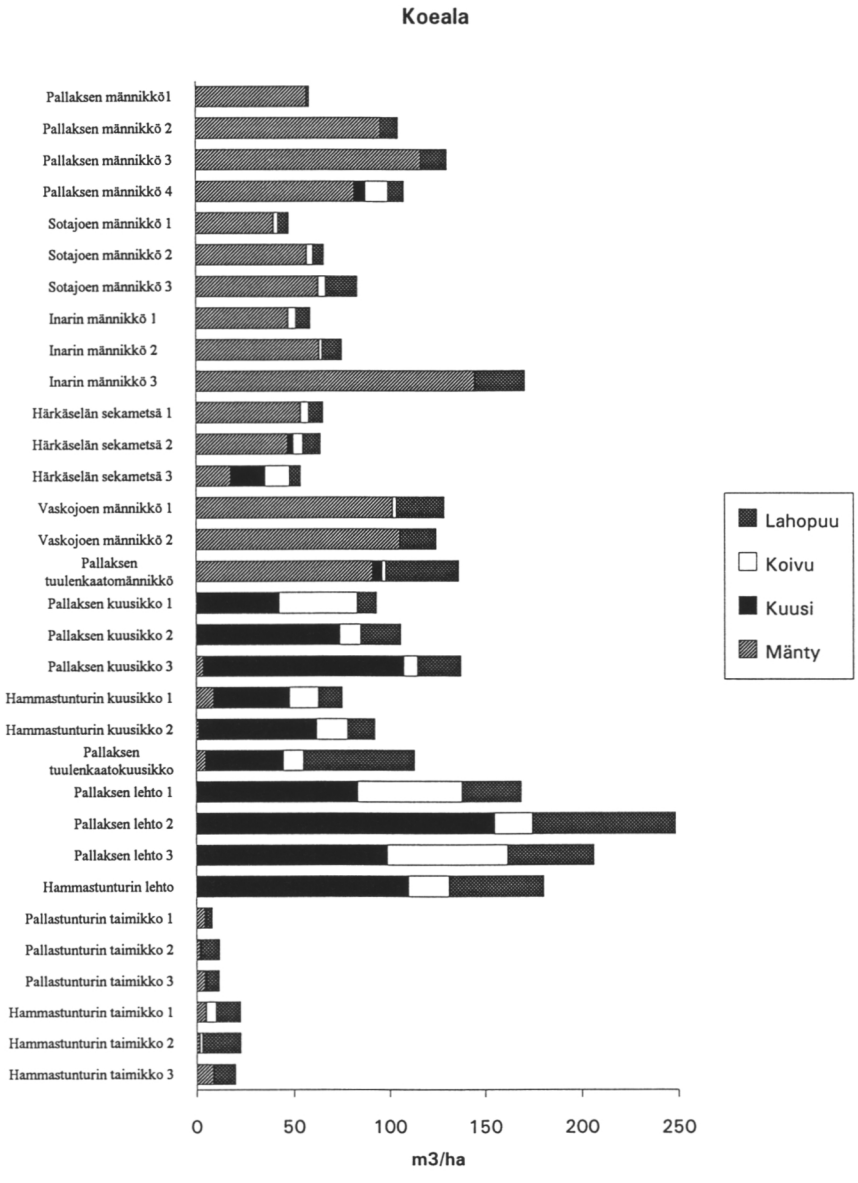
Kuva 1. Koealueiden sijainti. P= Pallas, H= Härkäselkä, S= Sotajoki, I= Inari, V= Vaskojoki. Vaskojoen männiköt kuuluvat vuoden 1993 Inarin-Hammastunturin alueen männiköihin. Luonnontieteelliset maakunnat, Enontekiön Lappi (Le), Inarin Lappi (Li).

Kesällä 1992 pyynnissä käytettiin 50 x 50 cm akryyliruutuja, joiden alle kiinnitettiin 70 cm pitkä kukkalaatikko. Kullekin koealalle ripustettiin puiden väliin yksi tai kolme paria pyydyksiä. Kesällä 1993 siirryttiin helppokäyttöisempiin ristikkomallisiin ikkunapyydyksiin. Pyydykset koostuivat kahdesta ristikkäin olevasta 40 x 60 cm polykarbonaattiruudusta, joiden alapuolelle kiinnitettiin muovikankainen suppilo ja keräyspullo. Kullekin koealalle ripustettiin viisi pyydystä. Pyyntijakso oli sekä 1992 että 1993 kesäkuun alusta syyskuun loppuun. Pyydykset tyhjennettiin noin kolmen viikon välein.

Tulokset

Puusto

Elävän puuston kuutiomäärä oli kuivahkon kankaan männiköissä keskimäärin 74 m^3/ha ja kuolleen puun määrä 10 m^3/ha. Niukkapuustoisimmilla kuivilla kankailla elävää puustoa oli 50 m^3/ha ja kuollutta puuta 5 m^3/ha (yksittäisten koealojen puustotiedot, kuva 2).



Kuva 2. Elävän ja kuolleen puun määrät koealoilla puulajeittain.

Runsaspuustoisimmilla kuvioilla elävän puuston tilavuus oli 97 m^3/ha ja kuolleen puun tilavuus 16 m^3/ha. Luonnontilaisissa männiköissä lahopuun osuus puuston kokonaiskuutiomäärästä vaihteli siten 9–14 % välillä ja oli keskimäärin 12 %. Myrskytuhoalueilla lahopuun osuus oli selvästi suurempi, keskimäärin 28 m^3/ha (21 % kokonaispuustosta). Koivun osuus elävän puuston tilavuudesta vaihteli mäntyvaltaisissa metsissä 0–26 %:n välillä. Keskimäärin koivua oli 6 % elävän puuston tilavuudesta hehtaarilla.

Tuoreen kankaan kuusikoissa elävän puuston tilavuus oli keskimäärin 85 m^3/ha ja kuolleen puun määrä 14 m^3/ha. Lahopuun osuus kokonaiskuutiomäärästä oli samaa suuruusluokkaa kuin männiköissä (keskimäärin 14 %, vaihtelu 10–23 %). Koivua kuusikoissa oli keskimäärin 23 % elävän puuston tilavuudesta (vaihtelu 6–49 %). Pallaksella myrskytuhokuusikossa kuolleen puun osuus oli 51 % puuston kokonaiskuutiomäärästä (113 m^3/ha).

Lehdot olivat selvästi runsaspuustoisimpia metsiä. Elävää puuta oli lehdoissa keskimäärin 152 m^3/ha (vaihtelu 131–175 m^3/ha) ja kuollutta puuta 50 m^3/ha (vaihtelu 31–74 m^3/ha). Kuolleen puun osuus puuston kokonaismäärästä oli 24 %. Sekä lahopuun määrä että osuus elävästä puustosta olivat selvästi suuremmat kuin tuoreen kankaan kuusikoissa ja kuivahkon kankaan männiköissä. Puulajisuhteiltaan lehdot koostuivat pääasiassa kuusesta (osuus elävästä puustosta keskimäärin 73 %) ja koivusta (27 %). Muita puulajeja (pihlaja, leppä, raita) esiintyi satunnaisesti. Pallaksen tuoreille kankaille perustetuissa noin 20 vuoden ikäisissä männyntaimikoissa lahopuuta oli keskimäärin 6 m^3/ha eli noin puolet vanhan luonnontilaisen metsän lahopuun määrästä. Inarin kuivahkon kankaan männyn siemenpuualoilla lahopuuta oli keskimäärin 14 m^3/ha eli likimain saman verran kuin vanhassa luonnontilaisessa metsässä. Uudistusalojen lahopuu koostui suurimmaksi osaksi metsään jätetyistä talouskäyttöön kelpaamattomista maapuista sekä kannoista ja oksista. Merkittävin ero luonnonmetsän lahopuihin oli kuolleissa pystypuissa, joita luonnontilaisissa männiköissä oli noin 40 % kuolleen puun kokonaismäärästä, kun taimikoissa kuolleita pystypuita oli vain noin 2 % kuolleen puun määrästä.

Mäntyvaltaisten metsien kovakuoriaislajisto

Kesän 1992 ikkunapyynnin kokonaisyksilömäärä mäntyvaltaisilta kuivahkoilta kankailta oli 4905 ja lajimäärä 195. Pallaksella havaituista 90 lajista 47 oli uusia havaintoja Enontekiön Lapissa. Vastaavasti Inarin Lapille uusia lajeja oli Inarin-Sotajoen-Härkäselän alueella pyydetyistä 175 lajista 60. Kymmenen runsaimman lajin osuus kokonaisyksilömäärästä oli yli 70 %. Suurin osa näistä kuului lyhytsiipisten (*Staphylinidae*) ja sylkikuoriaisten (*Cantharidae*) heimoihin. Nämä kovakuoriaiset ovat petoja ja elävät toukkana metsän pohjakerroksessa karikkeissa tai muussa lahoavassa eloperäisessä aineksessa. Petokovakuoriaisten osuus koko näytteen yksilömäärästä oli yli 50 %. Muita runsaita lajeja olivat mm. venhokuoriaislaji (*Anaspis arctica*, toukkana laholla koivulla), seppälaji (*Eanus costalis*, toukkana metsämaassa kasvien juurilla), ja konnakuoriaislaji (*Epuraea aestiva*, toukkana kimalaispesissä). Suurin osa runsaista lajeista (74 % niistä lajeista, joita saatiin vähintään 30 yksilöä) esiintyi kaikilla neljällä tutkimusalueella. Useimpia lajeja saatiin vain muutamia yksilöitä ja 93 lajia (48 % kaikista löydetyistä lajeista) saatiin yksi tai kaksi yksilöä.

Männiköistä löydettiin kesällä 1992 11 lajia, joista tunnetaan korkeintaan 25 löytöpaikkaa Suomesta. Kaikki nämä lajit ovat levinneisyydeltään pohjoisia Fennoskandiassa (Lindroth 1960, Lundberg 1986), ja niiden tunnettujen löytöpaikkojen pieni määrä heijastaa ennemminkin sitä, että pohjoisten alueiden lajisto on huonosti tutkittua ja dokumentoitua, kuin lajien todellista harvinaisuutta. Lajiluettelo ja mäntymetsien lajiston lähempi tarkastelu on esitetty käsikirjoituksessa (Sippola ym. 1994).

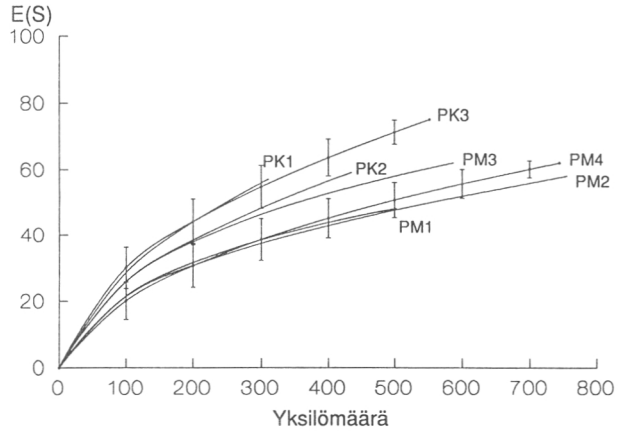
Lajirikkautta eri tutkimusalueiden välillä verrattiin rarefaktion (Simberloff 1978, Kouki ja Haila 1985) avulla. Rarefaktiokäyrät kuvaavat odotettua lajimäärää, kun näytekokoa (yksilömäärää) pienennetään. Menetelmä mahdollistaa siten eri kokoisten näytteiden vertaamisen. Eri alueiden mäntymetsien välillä ei ollut merkitsevää eroa lajirikkaudessa.

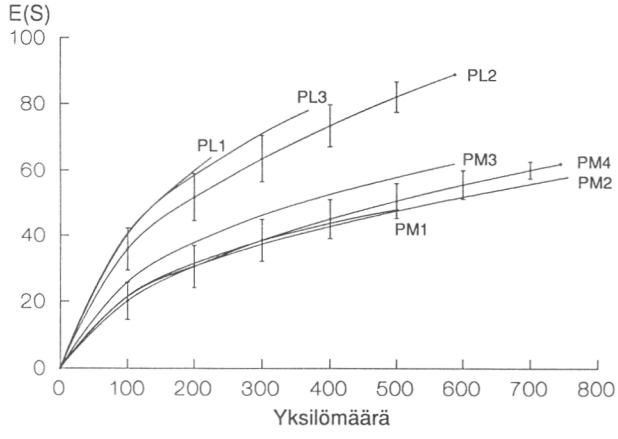
Lajirikkaus erityyppisissä metsissä

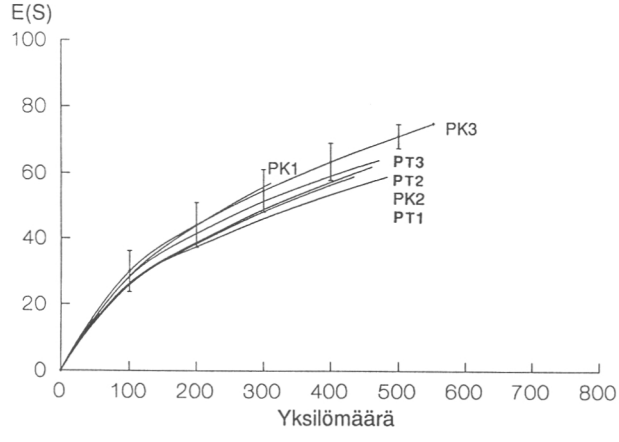
Kesän 1993 ikkunapyynnit tuottivat yhteensä noin 15 000 yksilöä ja arviolta 350 lajia. Koska koko aineistoa ei ole vielä määritetty, seuraava tarkastelu perustuu kesä-heinäkuun pyyntijaksoihin Pallas-Ounastunturin alueen koealoilta (noin 6500 yksilöä ja 250 lajia).

Tuoreen kankaan paksusammalkuusikot olivat merkitsevästi lajirikkaampia kuin kuivahkon ja kuivan kankaan männiköt, ja lehdot olivat puolestaan merkitsevästi lajirikkaampia kuin kuusikot (kuva 3). Lehdoissa oli saman kokoisessa näytteessä noin kaksi kertaa niin paljon lajeja kuin männiköissä. Tuoreen kankaan männyn istutustaimikot olivat yhtä lajirikkaita kuin tuoreen kankaan vanhat kuusimetsät. Toisin kuin usein on esitetty, lajirikkaus sukkession alkuvaiheessa ei siis ollut suurempi kuin vanhassa metsässä. Lajiston samanlaisuutta (beeta-diversiteettiä) eri tyyppisten metsiköiden välillä ei ole toistaiseksi analysoitu tarkemmin. Lajiluetteloiden perusteella monet runsaat metsän yleislajit (mm. eräät lyhytsiipiset ja sylkikuoriaiset sekä maaperässä toukkana elävät sepät) esiintyivät kaikenlaisissa metsissä pääpuulajista ja sukkessiovaiheesta riippumatta. Eräät runsaat lajit esiintyivät pelkästään männiköissä tai kuusikoissa. Pallaksen tuoreen kankaan taimikoiden lajisto poikkesi selvästi vanhan kuusimetsän lajistosta. Useimmat kuusella elävät lahopuulajit puuttuivat taimikoista, sen sijaan taimikoissa esiintyi nuorilla männyillä eläviä lajeja.

Lahopuulla eläviä harvinaisia (korkeintaan 50 tunnettua esiintymispaikkaa Suomessa, Rassi 1993) kovakuoriaislajeja tavattiin yhteensä 24. Harvinaisia lajeja löytyi eniten kuusikoista ja lehdoista. Uhanalaisluettelossa (Uhanalaisten... 1991) mainittuja lajeja on tähän mennessä löydetty viisi: kalvaskeräpallokas (*Agathidium pallidum*), kuusenlaakavilistäjä (*Cypha latiuscula*), aarnivilistäjä (*Phymatura brevicollis*), murroskolva (*Pytho abieticola*) ja pohjankukkajäärä (*Evodinus borealis*). Kaikki edellämainitut lajit tavattiin kuusivaltaisista metsistä.







Kuva 3. Rarefaktiokäyrät Pallaksen Kuusikoiden ja männiköiden (PK1-3 ja PM1-4), lehtojen ja männiköiden (PL1-3 ja PM1-4), sekä kuusikoiden ja taimikoiden (PK1-3 ja PT1-3) välillä. Janat kuvaavat estimoidun lajimäärän 95 % luottamusväliä.

Tulosten tarkastelua

Mäntymetsistä saatu runsas maakunnille uusien lajien määrä (EnL 47 uutta lajia, InL 60 uutta lajia) osoittaa, että pohjoisten metsänrajametsien lajisto on ollut Suomessa toistaiseksi varsin huonosti dokumentoitu. Samaa havaintoa tukee se, että mäntymetsistä kesällä 1992 löydetyt 11 harvinaista lajia ovat kaikki levinneisyydeltään pohjoisia. Tarkempi kuva lajistosta ja mm. harvinaisista lajeista saadaan, kun kesän 1993 tulokset on analysoitu, ja lajistoa päästään vertaamaan muiden alueiden vanhojen metsien lajistoon. Lajistoa eri alueiden välillä (esim. erämaametsien ja eteläisempien vanhojen metsien välillä) voi verrata, jos vertailtavilla alueilla on käytetty täsmälleen samanlaista näytteenottomenetelmää tai kun jonkin alueen lajisto on pitkän ajan kuluessa selvitetty perinpohjaisesti. Vertailukelpoisia ikkunapyyntejä on tehty tai tehdään parhaillaan mm. Pohjois-Karjalassa ja Pohjois-Hämeen vanhoissa metsissä sekä Karjalan tasavallan vanhoissa metsissä Venäjällä. Vertailu näiden alueiden lajistoon on mahdollista, kun em. tutkimusten tulokset on julkaistu. Kovakuoriaislajistoltaan hyvin tunnettuja pohjoisia alueita on tällä hetkellä mm. Kuusamossa (Muona & Viramo 1986), Kolarissa (Siitonen, julkaisematon) ja Pohjois-Ruotsissa Messauressa (Lundberg 1974, 1977).

Metsänrajametsien läheisten männiköiden lajisto osoittautui varsin samankaltaiseksi itä–länsisuunnassa. Lajirikkaudessa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja eri tutkimusalueiden välillä, ja myös lajiston koostumus oli varsin samanlainen. Sen sijaan eri metsätyyppien ja hakkuualueiden lajirikkaus ja lajisto ovat alustavan tarkastelun perusteella selvästi erilaisia. Lehdot erottuivat selkeästi lajirikkaimpana muista metsätyypeistä. Köyhin lajisto oli karuissa mäntymetsissä.

Tuoreiden kankaiden taimikot eivät poikenneet lajimääriltään alkuperäisistä vanhoista kuusikoista. Lajiston koostumus oli kuitenkin erilainen: vanhoille kuusikoille tyypilliset lajit olivat korvautuneet paljolti nuorissa männyissä elävillä ja aukeiden paikkojen lajeilla. Metsän käsittely vaikuttaa eniten elintavoiltaan erikoistuneiden lajien esiintymiseen. Lahopuun määrä ja laatu sekä pienilmasto ovat eräitä keskeisiä tekijöitä vanhojen metsien lajien sekä uhanalaisten lajien säilymiselle (ks. mm. Heliövaara & Väisänen 1984, Rassi & Väisänen 1987). Kun lahopuun saatavuus ja laatu muuttuvat, myös lajisto muuttuu. Toistaiseksi olemme käyttäneet lajiston tutkimisessa vain yhtä näytteenottomenetelmää. Monet, etenkin uhanalaiset lajit ovat elintavoiltaan erikoistuneita, harvalukuisia lajeja, joiden löytyminen kvantitatiivisin pyyntimenetelmin on satunnaista – uhanalaiset pitää etsiä niille sopivista elinpaikoista. Pohjoisten metsänrajametsien kuvaa lahopuukovakuoriaisista täydennetään lahopuuhun kohdennetuilla pyynneillä kesällä 1994.

Kirjallisuus

Erämaakomitean mietintö 1989. Komiteanmietintö 1988:39. Helsinki 238 s.

Heliövaara, K. & Väisänen, R. 1984. Effects of modern forestry on northwest European forest invertebrates: a synthesis. Acta Forestalia Fennica 189: 1–32.

Kouki, J. & Haila, Y. 1985. Lajimäärä, näytekoko ja rarefaktio -lajimäärän vertailun ongelmia. Luonnon Tutkija 89: 156–159.

Lindroth, C. H. (ed.) 1960. Catalogus Coleopterorum Fennoscandiae et Daniae. Entomologiska sällskapet i Lund. 467 s.

Lundberg, S. 1974. Skalbaggar funna i Messaureområdet, Lule Lappmark. 1 (Coleoptera). Entomologiske Tidsskrift 95: 85–94.

— 1977. Skalbaggar funna i Messaureområdet, Lule Lappmark. 2 (Coleoptera). Entomologiske Tidsskrift. 98: 91–94.

— (ed.) 1986. Catalogus Coleopterorum Sueciae. Entomologiska Föreningen i Stockholm och Naturhistoriska Riksmuseet. Stockholm.

Muona, J. & Viramo, J. 1986. The Coleoptera of the Koillismaa area (Ks), North-East Finland. Oulanka Reports 6: 3–50.

Rassi, P. & Väisänen, R. (eds.) 1987. Threatened animals and plants in Finland. English summary of the report of the committee for the conservation of threatened animals and plants in Finland. Ministry of Environment, Helsinki. 82 s.

— (toim.) 1993. Suomen kovakuoriaisten (Coleoptera) frekvenssipisteet 1.1.1960–1.1.1990. Maailman Luonnon Säätiön WWF Suomen Rahaston Raportteja No 6. Helsinki. 136 s.

Simberloff, D. 1978. Use of rarefaction and related methods in Ecology. Julkaisussa: Dickson, K. L., Cairns, Jr., & Livingston, R. J. (toim.). Biological data in water pollution assessment: ASTM STP 652, s. 150–165.

Sippola, A-L., Siitonen, J. & Kallio, R. 1994. Faunistics of Coleoptera in subarctic pine forests in Finnish Lapland. Käsikirjoitus.

Suomen säädöskokoelma 1991, N:o 62. Erämaalaki. Helsinki s. 129–131.

Uhanalaisten eläinten ja kasvien seurantatoimikunnan mietintö 1991. Komiteanmietintö 1991: 30. Helsinki. 328 s.

Metsänraja tutkimuksen kohteena – kirjallisuuskatsaus

Tapani Tasanen
Metsäntutkimuslaitos, Kolarin tutkimusasema
95900 KOLARI

Pertti Veijola
Metsähallitus, Ylä-Lapin luonnonhoitoalue
PL 36, 99801 IVALO

Tasanen, T., Varmola, M. & Niemi, M. (toim.). Metsänraja tutkimuksen kohteena. Tutkimuspäivä Ylläksellä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 539: 80–145.

Sisällys

1 JOHDANTO 82
2 KÄSITTEITÄ 84
2.1 Metsänraja ja puuraja 84
2.2 Kasvimaantieteen käsitteet ja rajaukset 86
3 METSÄNRAJAEKOTONI – VAIHETTUMISVYÖHYKE 89
3.1 Alueelliset kuvaukset 89
3.2 Pohjoisten metsänrajojen puulajit 91
3.3 Metsänraja-alueiden kasvillisuus ja eläimistö 95
4 METSÄNRAJOJEN MUODOSTUMINEN JA KEHITYS 96
4.1 Metsänrajojen muodostumiseen vaikuttavat tekijät 96
4.1.1 Ihmisen toiminta 97
4.1.2 Ekologiset ja biologiset tekijät 97
4.1.3 Eri tekijöiden yhteisvaikutus 102
4.2 Metsänrajan dynamiikka 105
4.2.1 Ilmaston vaihtelu 105
4.2.2 Puulajien levinneisyyshistoria 106
4.2.3 Metsäkasvillisuuden sukkessio 106
4.2.4 Metsänrajan ilmastonvaihtelusta johtuvat muutokset 107
5 METSÄNRAJAMETSÄT LUONNONVARANA 108
5.1 Puuvarat ja niiden hyödyntäminen 108
5.1.1 Perinteinen puunkäyttö 108
5.1.2 Metsäteollisuuden puunhankinta 110
5.2 Porotalous 112
5.3 Virkistyskäyttö 114
5.4 Muut luontaiselinkeinot 114
5.5 Monikäytön tutkimus 115
6 SUOJAMETSÄALUEET 115
7 METSÄNRAJAMETSIEN KÄSITTELY 117
7.1 Metsägenetiikka ja metsänjalostus 117
7.2 Metsänuudistaminen 118
7.3 Metsän kasvatus puuntuotannon ja muiden käyttömuotojen kannalta 120
8 METSÄNRAJA-ALUEIDEN MAANKÄYTÖN SUUNNITTELU 121
8.1 Kaavoitus 121
8.2 Luonnonsuojelualueet ja erämaat 121
9 METSÄNRAJA JA IHMINEN 122
10 TULEVAISUUDEN HAASTEET 125
KIRJALLISUUS 126

1 Johdanto

Metsänraja on kiinnostanut eri tieteenalojen tutkijoita jo toistasataa vuotta. Suomessa metsänrajatutkimus kohdistuu lähinnä polaariseen metsänrajaan ja sen lähialueisiin. Muualla maailmassa valtaosa metsänrajatutkimuksesta on keskittynyt alpiinisten metsänrajojen ongelmien ratkomiseen. Suomessa alpiininen metsänraja tulee vastaan ainoastaan korkeimmilla tuntureilla 300–500 metrin korkeudessa. Sen yläpuolelle jää melko pieni alue tunturipaljakoita, joten metsänrajalla ei ole täällä lähimainkaan yhtä suurta merkitystä kuin esimerkiksi Ruotsissa, Norjassa ja Keski-Euroopan maissa. Muissa maanosissa polaarinen metsänraja on vaikeasti saavutettavissa – asutut alueet sijoittuvat säännöllisesti sen eteläpuolelle. Hyvä tieverkko ja helppokulkuinen maasto ovat niinikään tekijöitä, jotka puuttuvat useimpien muiden maiden metsänrajaseuduilta. Näillä seikoilla on huomattava merkitys tutkimukseen liittyvien havaintojen teon ja maastomittausten kannalta. Kansainvälinen kiinnostus metsänrajatutkimukseen Suomessa ja lähialueilla lisääntynee edellä mainituista syistä tulevaisuudessa.

Tämän katsauksen tarkoituksena on luoda kokonaiskuva kotimaisesta ja ulkomaisesta metsänrajatutkimuksesta viime vuosisadan vaihteesta nykyhetkeen saakka. Pyrkimyksenä ei ole laatia lähimainkaan täydellistä luetteloa aihepiiriin liittyvistä julkaisuista. Sen sijaan katsauksessa haetaan esille eri vuosikymmeninä ja eri alueilla vallinneita suuntauksia ja painotuksia. Myös tutkimuksen taustalla olevat käytännön toiminnan tavoitteet ja tiedon tarpeet, esimerkiksi suojametsäkysymykset ja puuttomien alueiden metsitys tulevat huomioon otetuiksi. Metsänrajakysymyksiä koskevan tiedon kokoamisen ja jäsentelyn ohessa on pyrkimyksenä tuoda esiin mahdollisia uusia tutkimusongelmia, joihin ei ole toistaiseksi kiinnitetty riittävästi huomiota. Mikäli tällaisia tutkimuksen aukkoja löytyy, lienee esityksestä apua niukkojen voimavarojen kohdentamisessa sekä eri tutkimusyksiköiden välisen työnjaon ja yhteistyöhankkeiden suunnittelussa. Edelleen, katsauksella pyritään luomaan siltaa tulevaisuuteen. Kirjallisuuden avulla esitellään, miten eri tieteenalat voimiaan yhdistämällä pyrkivät löytämään ratkaisuja koko sirkumpolaarista vyöhykettä koskeviin luontoon ja talouteen liittyviin sekä poliittisiin ongelmiin. Esimerkkeinä mainittakoon koko arktista ja subarktista aluetta koskeva, luonnon monimuotoisuuden säilyttämiseen tähtäävä yhteistyö sekä ilmaston muutoksen vaikutusten ennustaminen ja varautuminen näihin.

Metsänrajan ja puurajan tutkimuksesta valtaosa painottuu ekologisten kysymysten tarkasteluun. Erityisesti metsänrajan sijaintiin ja syntyyn vaikuttavien ekologisten tekijöiden selvittäminen on tutkijoiden jatkuvan kiinnostuksen kohteena. Maailmanlaajuisesti tarkasteltuna suurin osa aihepiiriin liittyvistä julkaisuista käsittelee alpiinista metsänrajaa. Eri syistä muodostuneilla metsänrajoilla ja puurajoilla on runsaasti yhteisiä piirteitä, joten alpiiniseen metsänrajaan liittyvän kirjallisuuden tarkastelu on perusteltua.

Metsänraja-alue ja siihen liittyvät tutkimuskohteet ymmärretään tässä yhteydessä varsin laajasti. Ekologiset kysymykset muodostavat metsänrajatutkimuksen selkärangan, johon liittyy huomattava joukko muita tutkimusaiheita. Näitä ovat mm. suojametsäkysymykset, maankäytön suunnittelu, puuntuotanto metsänraja-alueilla, metsien monikäyttö ja luonnonsuojelu. Ekologisen ja biologisen tarkastelun ohella metsänrajakysymyksiä lähestytään lähinnä metsätieteiden, taloustieteiden ja yhteiskuntatieteiden näkökulmista. Tarkastelu ei rajoitu alueellisesti yksinomaan metsänrajan tai puurajan välittömään läheisyyteen. Tarkkaa alueellista rajausta ei pystytä tekemään, koska katsauksessa esiteltävissä tutkimuksissa esiintyy tässä suhteessa huomattavaa vaihtelua. Kasvillisuus- ja ilmastovyöhykkeiden avulla voidaan polaarisen metsänrajan osalta tehdä se karkea rajaus, että tämä kirjallisuuskatsaus käsittelee julkaisuja ja tutkimuksia alkaen pohjois-boreaalisesta vyöhykkeestä ja päätyen arktiseen vyöhykkeeseen – nykyisille tai historiallisille puurajoille.

Metsänrajatutkimuksen merkitystä pohdittaessa on paikallaan korostaa myös sitä seikkaa, että metsänrajametsissä tehdyillä havainnoilla on varsin usein huomattavaa yleisempääkin merkitystä. Esimerkiksi puiden sopeutumisesta ilmastoon on saatu runsaasti arvokasta tietoa nimenomaan niiden esiintymisen äärirajoilla. Sama koskee myös muita kasveja sekä eläimiä. Vuonna 1975 julkaistussa Lapin tutkimuspoliittisessa ohjelmassa (Yliniemi & Saastamoinen 1975) todetaan: "Metsien hoitoa ja biologiaa selvittelevät tutkimukset Lapissa ovat erittäin merkityksellisiä koko valtakunnan metsätalouden kannalta, sillä äärellisissä ja siten erittäin vaikeissa luonnonolosuhteissa hankitut tiedot ovat sovellettavissa helpompiin luonnonolosuhteisiin, mutta päinvastaisista sovellutuksista on erittäin huonoja kokemuksia".

Kirjallisuusviitteiden valinta ja rajaaminen tietyillä säännöillä on välttämätöntä eheän ja lukijaa mahdollisimman hyvin palvelevan lopputuloksen aikaansaamiseksi. Tässä katsauksessa viitataan pääsääntöisesti julkaisuihin, joissa tarkastellaan suoraan metsänrajan tai puurajan ongelmia. Huomattava määrä yleistä ekologian teorianmuodostusta, johon metsänraja-alueiden ekologinen tutkimus nojautuu, jää tämän tarkastelun ulkopuolelle. Lukija pääsee kuitenkin helposti käsiksi kyseiseen kirjallisuuteen tarkastelemalla lähdeluetteloja niistä julkaisuista, joihin tässä viitataan. Metsää ja puita koskeva tutkimus korostuu esityksessä. Muu biologinen tutkimus, jota on metsänraja-alueilla tehty valtavan paljon, on samaten jätettävä tässä yhteydessä varsin suppean käsittelyn varaan katsauksen pitämiseksi kohtuullisissa mitoissa. Samaten rajaamisen välttämättömyys jättää puurajojen pohjoispuolella sijaitsevia arktisia alueita koskevan tutkimuksen pääsääntöisesti tämän katsauksen ulkopuolelle.

Metsänrajaa koskevaa tietoa on koottu moneen otteeseen kirjallisuuskatsausten ja oppikirjojen muotoon. Kirjoittajat ovat pyrkineet kokonaisvaltaiseen esitykseen, mutta aiheen laajuus on pakottanut tiettyihin rajauksiin. Perustutkimusta ja soveltavaa tutkimusta ei yleensä ole tarkasteltu samassa jul-

kaisussa. Varsinkin kansainväliselle lukijakunnalle tarkoitetut julkaisut on rajattu selkeästi esimerkiksi ekologiaan tai tietylle maantieteelliselle alueelle.

Alpiinisten metsänrajojen ekologiasta ovat mm. Wardle (1974), Tranquillini (1979) ja Arno (1984) laatineet oppikirjatyyppisen esityksen laajoine kirjallisuusluetteloineen. Vastaavan polaarista metsänrajaa koskevan selvityksen Kanadan ja Alaskan osalta on kirjoittanut Larsen kahdessa julkaisussa (1974 ja 1989). Suomalaisista metsänrajatutkijoista, jotka ovat pyrkineet metsänrajakysymysten kokonaisvaltaiseen tarkasteluun, on mainittava erityisesti Hustich (1966) ja Kallio (1983, 1990).

2 Käsitteistä

2.1 Metsänraja ja puuraja

Metsänraja sekä puuraja voivat syntyä varsin monella tavalla ja monista eri syistä. Tämä seikka on kielikysymysten ohella johtanut laajaan käsitteiden kirjoon. Myös aihepiirin monitieteellisyys lisää käsitteiden määrää. Käsitteiden päällekkäisyys ja pienemmät tai suuremmat merkityserot ovat yleisiä. Sekaannusten tai suoranaisten väärinkäsitysten riski on melkoinen. Tässä esityksessä tarkastellaan lähinnä sellaisia peruskäsitteitä, jotka ovat vakiintuneet metsänrajaa tutkivan tiedeyhteisön kieleen maailmanlaajuisesti.

Yleisimmin *metsänrajalla* (timberline, forest line, forest limit, forest border, Waldgrenze, skogsgräns) tarkoitetaan rajaa, joka asettuu sulkeutuneen puuston muodostamien metsiköiden sekä yksin tai pieninä ryhminä kasvavien puiden muodostaman vyöhykkeen välille. Tarkemmat määritelmät poikkeavat toisistaan jonkin verran alueen, kielen, tieteenalan tai tarkasteluajankohdan mukaisissa puitteissa. Kaikki määritelmien laatijat ovat kuitenkin joutuneet ottamaan kantaa kahteen peruskysymykseen: Mikä on puu? Mikä on metsä? Puulla tulee useimpien määritelmien mukaan olla puumainen kasvutapa ja tietty minimipituus, joka yleensä vaihtelee 2–5:een metriin. Metsä tunnustetaan metsäksi, kun tietyt sulkeutuneisuuden kriteerit täyttyvät. Niitä mitataan tavallisimmin puumäärinä pinta-alayksikköä kohti.

Kokonaisvaltaiseen metsänrajakäsitteistön määrittelyyn ovat pyrkineet erityisesti Kihlman (1890), Hustich (1952, 1966, 1979, 1983), Ellenberg (1966), Mork (1970), Kalliola (1973), Payette (1983), Arno (1984), Tuhkanen (1984, 1993) ja Larsen (1989). Seuraavissa kappaleissa esitetyt määritelmät pohjautuvat näihin julkaisuihin, ellei niiden kohdalla ole mainittu viitettä.

Venäjällä käytetään metsänrajan käsitteen sijasta yleisemmin kasvillisuusvyöhykkeiden nimiä. Krjučkov (1993b) on määritellyt metsänrajan suh-

teellisen ja absoluuttisen metsättömyyden käsitteillä. Amerikkalaisissa julkaisuissa metsänraja (timberline) puolestaan on varsin usein melko epämääräinen yleiskäsite, joka saattaa tarkoittaa myös puurajaa tai leveähköä vyöhykettä, puustoisen ja aukean alueen välistä rajaseutua. Sujuvan kielenkäytön vuoksi tässäkin esityksessä noudatetaan soveltuvin osin samaa käytäntöä.

Alpiininen metsänraja tarkoittaa maaston korkeuden mukaan sijoittuvaa rajaa, jonka yläpuoliset alueet ovat esimerkiksi niittyjä, tunturipaljakoita tai paljaita kallioita. Alpiinisia metsänrajoja esiintyy kaikkien maanosien vuoristoissa.

Polaarinen (arktinen) metsänraja sijaitsee meillä pohjoisella pallonpuoliskolla arktisen tundran ja boreaalisen (subarktisen) havumetsävyöhykkeen välissä. Hustich (1966) katsoo metsänrajan ja uloimman puurajan väliin jäävän vyöhykkeen nimeksi sopivan parhaiten *metsätundra* (forest-tundra, Waldtundra, kampfzone, skogstundra, lesotundra). Tämän vyöhykkeen puusto muodostuu yksittäisistä puista tai useiden puiden muodostamista saarekkeista. Kanadassa ja Siperiassa metsätundravyöhyke voi olla useiden satojen kilometrien levyinen. Paikoin metsätundran tilalla on nk. *krummholzvyöhyke*, jossa puiden kasvutapa on pensastava tai maanpinnan myötäinen. Käsitteellä *krummholz* on yleensä eri merkitys englannin- ja saksankielisissä lähteissä. Erityisesti amerikkalaiset käyttävät tätä käsitettä kuvaamaan normaalisti pystysuorassa kasvavan puuston pensastavaa ja mutkaista kasvutapaa *yleensä*. Saksankieliset lähteet käyttävät termiä rajatummin, tarkoittaen *geneettisesti* määräytyvää pensasmaista ja mutkaista kasvutapaa (Holtmeier 1973, 1974). Alpiinisten ja polaaristen metsänrajojen lisäksi on olemassa muitakin, esimerkiksi aavikoiden ja merten äärellä sijaitsevia metsänrajoja (mm. Arno 1984).

Taloudellisella (ekonomisella) metsänrajalla tarkoitetaan rajaa, jonka etelä- tai alapuolella metsä uudistuu säännöllisesti ja metsätalouden harjoittaminen on mahdollista. Tälle käsitteelle on olemassa lukuisia numeerisia ja sanallisia määritelmiä. Esimerkiksi puuston määrä tai kasvu hehtaaria kohti ovat yleisessä käytössä. Kihlmanin (1890) esittelemä *generatiivinen metsänraja* ja Heikinheimon (1921) *rationaalinen metsänraja* tarkoittavat suunnilleen samaa asiaa. Hustich antaa käsitteitä koskevassa julkaisussaan (1979) kyseiselle metsänrajalle myös *uudistumisrajan (reproductive forest line)* nimen.

Fysiognomisen metsänrajan eli varsinaisen metsänrajan kohdalla yhtenäinen metsä lakkaa. Käytettäessä pelkästään ilmaisua "metsänraja", tarkoitetaan yleensä fysiognomista metsänrajaa. Tämän ja taloudellisen metsänrajan välisellä alueella puusto uudistuu hitaasti. Puut ovat syntyneet yleensä alueelle kulkeutuneesta siemenestä tai vegetatiivisesti.

Puuraja (tree line, tree limit, Baumgrenze, trädgräns) puolestaan tarkoittaa ensinnäkin rajaa yksittäin tai ryhminä esiintyvien puiden muodostaman vyöhykkeen ja jonkin aukean alueen (tundra, aavikko, tunturipaljakka) välil-

lä. Puuraja kulkee siis äärimmäisten erillisten puuyksilöiden kautta. Toinen yleisesti tunnettu merkitys puurajalle on jonkin tietyn puulajin levinneisyysraja, joka saattaa sijaita myös selvästi metsävyöhykkeen sisällä. Kun puurajan käsitettä käytetään tässä merkityksessä, liitetään yleensä mukaan puulaji; puhutaan kuusen puurajasta tai kuusirajasta.

Metsänrajaekotoni on vaihettumisvyöhyke metsän ja puuttoman alueen välillä.

Tässä katsauksessa käytetään myös käsitteitä *metsänraja-alue* ja *metsänrajametsät.* Näiden käsitteiden rajaus vaihtelee jonkin verran asiayhteyden mukaan. Edellinen käsittää alueita metsänrajan ja puurajan molemmin puolin. Jälkimmäinen tarkoittaa metsänrajan läheisyydessä sijaitsevia metsiä, jotka poikkeavat jo selvästi esimerkiksi puiden kasvun ja uudistumisen sekä metsäekosysteemin lajikoostumuksen osalta etelämpänä tai alempana sijaitsevista metsistä.

Tässä yhteydessä on paikallaan mainita myös Sarvaksen (1970b) esittelemä *marginaalivyöhykkeen* käsite. Sitä ei liene tarkoitettu metsänraja-alueen määrittämiseen, mutta sillä on havainnollinen merkitys metsänrajan syntyyn ja vaihteluihin liittyvien geneettisten seikkojen luonnehtijana. Sarvas rajasi kyseisen vyöhykkeen lämpösummarajan 950 d.d. pohjoispuolelle. Tällä alueella puusto ei hänen mukaansa ole vielä geneettisesti sopeutunut pohjoisen ilmastoon.

2.2 Kasvimaantieteen käsitteet ja rajaukset

Metsänraja-alueiden kasvillisuusvyöhykkeiden nimistössä esiintyy jonkin verran päällekkäisyyttä ja rajaamisongelmia. Ensinnäkin arktisen ja boreaalisen vyöhykkeen raja vaihtelee eri luokituksissa huomattavasti. Boreaalinen vyöhyke määriteltynä ilmastollisesti ei ole ollenkaan sama kuin kasvillisuuden perusteella määriteltynä (Tuhkanen 1984). Edelleen, kasvillisuuden vertikaalinen ja horisontaalinen vyöhykkeisyys sulautuvat yhteen Fennoskandian pohjoisosissa. Paikoin metsänrajakin on katsottava alpiinis-polaariseksi. Alpiinisten, arktisten ja mereisten vaikutteiden esiintyminen samanaikaisesti alueen kasvillisuudessa monimutkaistaa kasvillisuusvyöhykkeiden rajausta merkittävästi.

Kasvimaantieteellisiä määritelmiä ja rajauksia on tehty innokkaasti parin vuosisadan ajan. Eri perusteilla voidaan päätyä hyvin erilaisiin tuloksiin. Käsitteistön selkeyttämistä on kaivattu pitkään eri osissa maailmaa. Pohjoisen Fennoskandian aluetta koskevia vyöhykejakoja sekä esityksiä niiden täsmentämiseksi on tehty lukuisia (mm. Regel 1935–41, Kalela 1961, Hämet-Ahti 1963, 1981, Sjörs 1965, 1967, Hustich 1966, Ahti ym. 1968, Kalliola 1973, Eurola 1978, Seppälä & Rastas 1980, Nordiska Ministerrådet 1984, Tuhkanen 1984, Moen 1987, Haapasaari 1988, Suomen kartasto 1988, Sem-

jonov & Cvetkov 1990). Klassikkona on mainittava Wahlenbergin "Flora Lapponicassa" (1812) esittämä jaottelu.

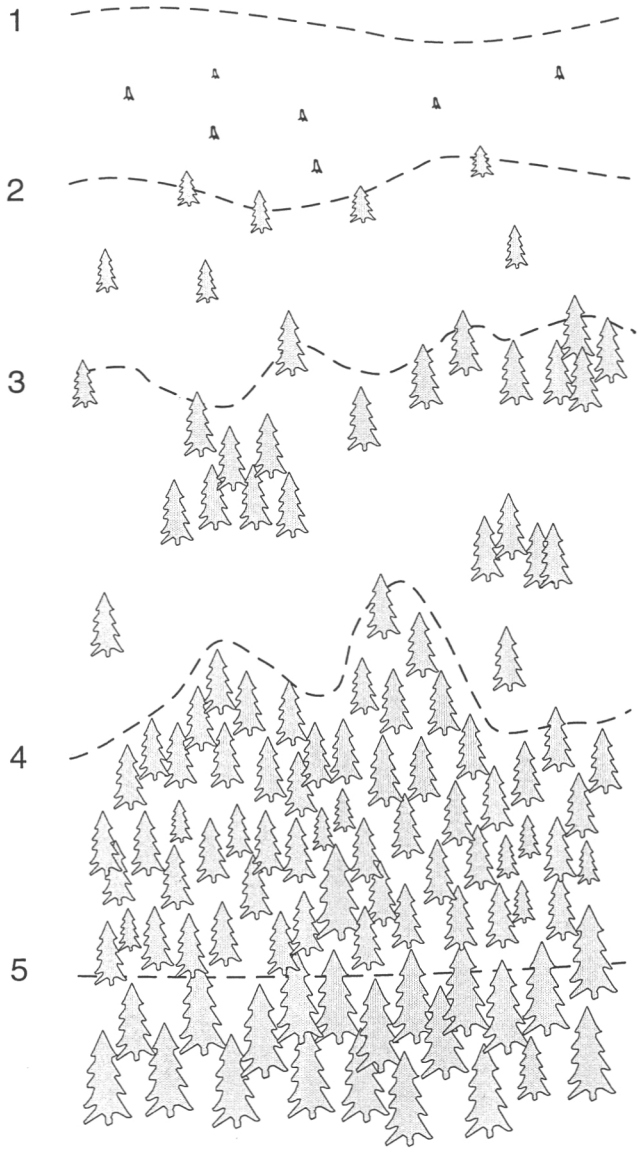
Pohjois-Amerikan metsänraja-alueiden kasvillisuusvyöhykkeitä ovat kuvanneet mm. Hustich (1949), Hare (1950) ja Larsen (1989).

Euraasian alueen pohjoisosan kasvillisuusvyöhykkeitä ovat kuvanneet Walter & Breckle (1986). Tseplyaevin (1965) Neuvostoliiton metsiä käsittelevässä (englanniksi käännetyssä) teoksessa on selkeä yleiskatsaus metsäkasvillisuusvyöhykkeisiin. Kurnaev (1973) esittelee ne yksityiskohtaisemmin. Lavrenko & Isačenko (1979) ovat toimittaneet uusimman Venäjän Euroopan puoleisen osan kasvillisuuskartan. Andreev & Aleksandrova (1981) esittelevät Venäjän pohjoisten alueiden kasvimaantieteellisen luokituksen. Bliss & Matveyeva (1992) ovat laatineet vastaavan yhteenvedon vertaillen Venäjän ja Pohjois-Amerikan olosuhteita.

Koko maailman kasvillisuusvyöhykkeitä käsittelevistä julkaisuista tunnetuimpia ovat Eyren (1963) sekä Walterin & Brecklen (1986) esitykset.

Lisäväriä metsänraja-alueiden kasvimaantieteelliseen tarkasteluun on tuonut mm. paleoekologian avulla täsmentynyt tietämys jääkauden jälkeisistä ilmastollisista kausista erilaisine kasvillisuusvyöhykkeineen (Tikhomirov 1963, Fries 1965, Nichols 1976, Hyvärinen 1978).

Kasvimaantieteen luomalta pohjalta on edetty erilaisiin *käytäntöä palveleviin määritelmiin.* Soveltava tutkimus ja käytännön metsätalous luovat omat tarpeensa määrittelyille ja rajauksille. *Suojametsävyöhykkeet* ovat hyvä esimerkki käytännön sovelluksista, joiden taustaksi on tarvittu ja tarvitaan edelleen eri puolilla maailmaa perusteellista tutkimustietoa (Komiteanmietintö 1910, Mayer & Ott 1991). Tuhoutumiselle herkkien sekä vaikeasti metsitettävien tai uudistettavien alueiden rajaaminen on tärkeä askel tiellä kohti käytännön toimenpiteitä. Erilaiset toimenpiderajat – maastoon tai kartalle merkittyinä tai teoreettisemmin esimerkiksi korkeusaseman, lämpösumman ym. tunnusten avulla ilmaistuina – kuuluvat niinikään metsänraja-alueilla harjoitettavaa käytännön toimintaa palveleviin määritelmiin (Landbruksdepartementet 1992, Linder 1987, Metsähallitus 1991). On myös olemassa joukko metsänrajametsiin viittaavia käsitteitä, joissa jokin muu tekijä kuin metsänraja toimii käsitteenmuodostajana, esimerkiksi *fjällnära skogar* (ks. luku 4), *fjellskog* (Børset 1994), *lakialueet* (mm. Kuusela 1975), joista myöhemmin on ryhdytty käyttämään nimeä *korkeat alueet* (Valkonen 1992) sekä *tundranläheiset suojametsät* (Čertovskoj ym. 1987).



Kuva 1. Yleisimmät metsänraja- ja puurajakäsitteet Hustich'in (1966), Heikkisen (1984) ja Tuhkasen (1993a) esitysten mukaisesti. 1. Historiallinen puuraja; puulajin äärimmäisiä, suotuisempina ilmastovaiheina olleita puukokoisia esiintymiä yhdistävä raja. 2. Puulajiraja; rajalinja, joka yhdistää puulajin äärimmäisiä esiintymiä riippumatta siitä, ovatko yksilöt pensasmaisia, varpumaisia vai ryömiviä. 3. Puuraja; rajalinja, joka yhdistää puulajin äärimmäiset puukokoiset esiintymät. 4. Fysiognominen (biologinen) metsänraja; yhtenäisen metsän raja; puiden lisääntymiskyky on suhteellisen heikko; metsän luontainen uudistuminen on hidasta ja epävarmaa. 5. Taloudellinen metsänraja; metsän uudistuminen on turvattua; kaupallinen metsänhakkuu on mahdollista.

3 Metsänrajaekotoni- vaihettumisvyöhyke

3.1 Alueelliset kuvaukset

Metsänrajojen tutkiminen on kaikkialla alkanut perusteellisesta kartoitustyöstä. Metsänrajan ja puurajojen paikallistaminen, puuston, muun kasvillisuuden ja eläimistön kartoitus metsänrajavyöhykkeellä, ilmaston, maaperän ym. ekologisten tekijöiden kuvaus sekä lyhyen ja pitkän aikavälin muutosten kirjaaminen ovat muodostaneet merkittävän osan metsänrajatutkijoiden työstä. Monilla metsänrajaseuduilla tämä työ on vasta alkamassa. Esimerkkejä "klassisista" tähän ryhmään kuuluvista selvityksistä ovat mm. Kihlmanin (1890) ja Hustich'in (mm. 1939, 1949) tutkimusmatkojensa pohjalta tekemät kuvaukset. Varhaisin metsäammattilaisen näkökulmaa edustava esitys lienee Sandbergin (1898) matkakertomus. Aivan omaa luokkaansa laajuudessaan ja samalla yksityiskohtaisuudessaan edustaa C. Schroeterin (1926) kirjoittama Alppien kasvillisuutta käsittelevä teos. Tuoreempia alueellisesti rajattuja tarkasteluja, joissa näkyvät selkeästi kansainvälisen tiedeyhteisön luomat standardit ja ekologisen tutkimuksen käyttämät menetelmät, on laadittu runsaasti eri puolilla maailmaa. Taulukkoon 1 (joka ei ole lähimainkaan tyhjentävä) on koottu viitteitä alueellisista metsänrajakuvauksista.

Hermes (1955) esitti väitöskirjassaan lyhyen kuvauksen koko maailman metsänrajoista (korkeus merenpinnasta, puulajit, erityispiirteitä) sekä niiden etäisyydestä pysyvän lumen rajaan. Kolmen viimeksi kuluneen vuosikymmenen aikana on laadittu useita kokoavia tarkasteluja metsänrajoja koskevasta tiedosta. Näistä on paikallaan mainita Arnon (1984) kansantajuinen ja samalla seikkaperäinen teos, joka painottuu Pohjois-Amerikan alpiinisten metsänrajojen kuvaukseen. Arno esittelee myös koko muun maailman metsänrajat lyhyemmin. Runsaslukuinen piirroskuvitus lisää merkittävästi kirjan havainnollisuutta. Larsenin (1989) Kanadan ja Alaskan pohjoisia metsänrajoja käsittelevä kirja on perusteellinen synteesi näiden metsänraja-alueiden ekologiaa ja eliöyhteisöjä koskevasta tutkimustiedosta. Tranquillinin (1979) alpiinisten metsänrajojen ekofysiologian oppi- ja käsikirja mainitaan useimmissa viimeaikaisissa alan julkaisujen lähdeluetteloissa. Kyseessä on pelkistetty ja sellaisena erittäin selkeä synteesi Tranquillinin pitkän tutkijauransa aikana kokoamasta ekofysiologisesta tiedosta. Ekologinen lähestymistapa on myös Treterin (1984) Skandinavian metsänrajoja tarkastelevassa teoksessa. Hyvän globaalisen näkökulman alpiinisten metsänrajojen sijainnista ja tärkeimmistä piirteistä saa Troll'in artikkeleista (Troll 1973a, 1973b). Hustich (1966) laati sirkumpolaarisen synteesin metsätundran ja pohjoisten puurajojen piirteistä. Wardlen (1974) tuotantoon kuuluu lukuisten alueellisten kuvausten lisäksi alpiinisia metsänrajoja koskeva kokonaiskuvaus. Tuore kokoomateos viimeaikaisesta metsänrajatutkimuksesta on Aldenin ym. (1993) toimittama 35 artikkelia sisältävä julkaisu.

Taulukko 1. Alpiinisten ja polaaristen metsänrajojen aluekuvauksia

ALUE	METSÄNRAJAN LUONNE	TUTKIJAT, JULKAISUT VUOSILTA
Suomen Lappi ja Kuolan niemimaa	Polaarinen ja alpiininen	von Berg 1860, Friis 1872, Kihlman 1890, Hult 1898, Tanner 1919, Heikinheimo 1921, Kujala 1927, Cinserling 1932, Hustich 1944, Ahti ym. 1968, Blüthgen 1970, Atlas... 1971, Holtmeier 1971, Kallio ym. 1971, Kalliola 1973
Ruotsi, Etelä-Skandit	Alpiininen	Kilander 1965, Sjörs 1967, Kullman 1979, 1981, 1983, 1986
Pohjois-Ruotsi	Alpiininen	Wahlenberg 1812, Nilsson 1897, Gavelin 1909, Fries 1913, Enquist 1933, Sjörs 1965, 1967, Andersson ym. 1985
Norja	Alpiininen	Hagem 1917, Juul 1925, Ve 1951, Moen 1987
Keski-Eurooppa	Alpiininen	Schroeter 1926, Hermes 1955, Holtmeier 1973, Troll 1973a, 1973b
Välimeren alue, Afrikka	Alpiininen	Hermes 1955, Höllerman 1978
Euraasia	Alpiininen	Tseplyaev 1965, Yoshino 1973, Sokolov ym. 1977 (lähinnä lajirajat), Bykov 1978, Wardle 1977, Dolukhanov 1978, Gorchakovsky & Shiyatov 1978, Bosheng 1933
	Polaarinen	Pohle 1917, Tjulina 1936, Krylov 1961, Tikhomirov 1962
Australia, Uusi Seelanti	Alpiininen	Wardle 1973, 1974
Alaska, Grönlanti ja Kanada	Polaarinen ja alpiininen	Viereck & Little 1972, Böcher 1979, Payette 1983, Arno 1984, Gagnon & Payette 1985, Larsen 1989, Fredskild & Ødum 1990
Yhdysvallat ja Meksiko	Alpiininen	Lauer 1978, Arno 1984

Myös boreaalista havumetsävyöhykettä globaalisesti systeemianalyysin avulla lähestyvä Shugartin ym. (1992) toimittama julkaisu sisältää uusia tutkimusotteita metsänrajakysymysten selvittämiseen. Vanhemmasta venäläisestä metsänrajatutkimuksesta on laatinut kattavan yhteenvedon Tikhomirov (1962). Uudemmista venäläisistä yleisteoksista voidaan mainita Parmuzinin (1979) ja Čertovskojn ym. (1987) julkaisut sekä MAB-ohjelmaan (Man and Biosphere) liittyvä metsänrajaseutujen ekologiaa käsittelevä Černovin (1985) toimittama kokoomajulkaisu.

3.2 Pohjoisten metsänrajojen puulajit

Puulajeja koskeva tarkastelu rajataan tässä esityksessä koskemaan pohjoisen pallonpuoliskon polaarista metsänrajaa sekä sen läheisyydessä tai yhteydessä esiintyviä alpiinisia metsänrajoja. Pohjoisen metsänrajan ja puurajan muodostavia puulajeja on kaikkiaan viitisentoista. Tämä asia ei ole aivan yksiselitteinen. Alpiinisuus, arktisuus ja mereisyys vaihtelevat ja vaikuttavat samanaikaisesti metsänrajoihin pienilläkin alueilla tehden rajoista epäyhtenäisiä ja vaikeasti määritettäviä. Ehkä parhaan sirkumpolaarisen selvityksen metsänrajoja ja puurajoja muodostavista puulajeista on laatinut Hustich (1966).

Puulajikohtaisia tutkimuksia alpiinisilta ja polaarisilta metsänrajoilta on julkaistu runsaasti. Aiheita ovat puiden levinneisyyshistoria ja -rajat, kestävyys kasvua ja uudistumista rajoittavien ympäristötekijöiden suhteen, tuhot, kasvumuodot, uudistaminen ja kasvatus (Nikolov & Helmisaari 1992). Taulukkoon 2 on koottu julkaisuja, joissa tietty metsänrajametsien puulaji on yhteinen nimittäjä. Puulajeja koskevaa tutkimustietoa on runsaasti myös edellä esitellyssä aluekohtaisessa kirjallisuudessa.

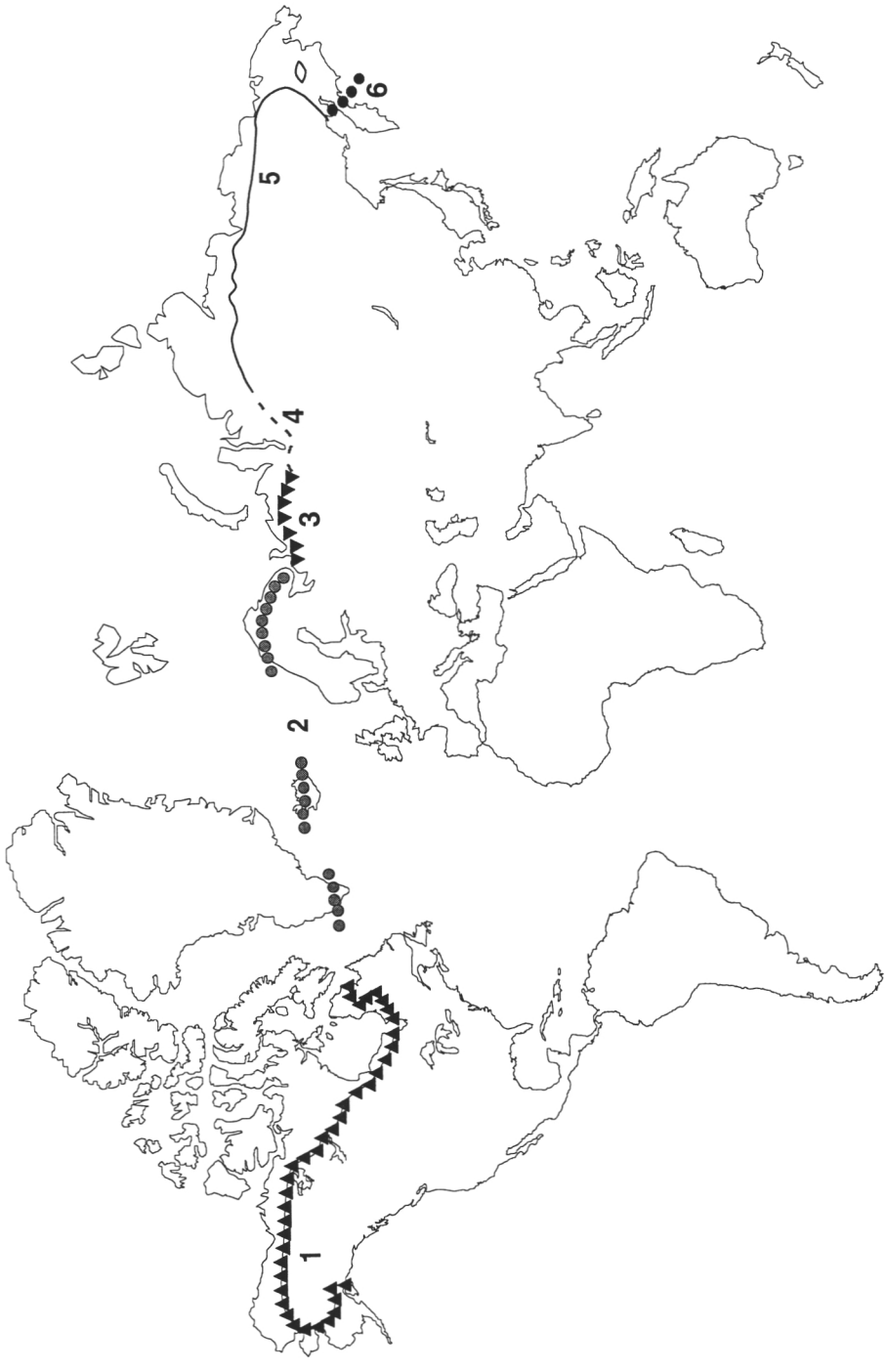
Globaalisia tai jonkin maanosan laajuisia selvityksiä aihepiiristä on tehty useitakin. Niistä ehkä läheisimmin metsänrajan puulajeihin liittyviä ovat entisen Neuvostoliiton alueen puulajit kattava Sokolovin ym. (1977) esitys levinneisyyskarttoineen, Sarvaksen (1964) "Havupuut" sekä Pohjois-Amerikan havupuita seikkaperäisesti käsittelevä Burns'in & Honkalan (1990) toimittama teos. Hustich (1966) esittelee synteesissään pohjoisen metsänrajan muodostavat lajit nimenomaan metsänrajan muodostumisen näkökulmasta. Aldenin ym. (1993) toimittama esitelmäkooste sisältää useimpia metsänrajaalueiden puulajeja käsitteleviä artikkeleita, joissa on runsaasti kirjallisuusviitteitä.

Puu- ja pensaskasviot on laadittu lähinnä lajinmääritystä varten. Lisäksi niistä löytyy tietoja lajien levinneisyysalueista, kasvupaikkavaatimuksista, tärkeimmistä ominaisuuksista ja käyttökohteista (mm. Viereck & Little 1972, Elias 1980, Hämet-Ahti ym. 1992).

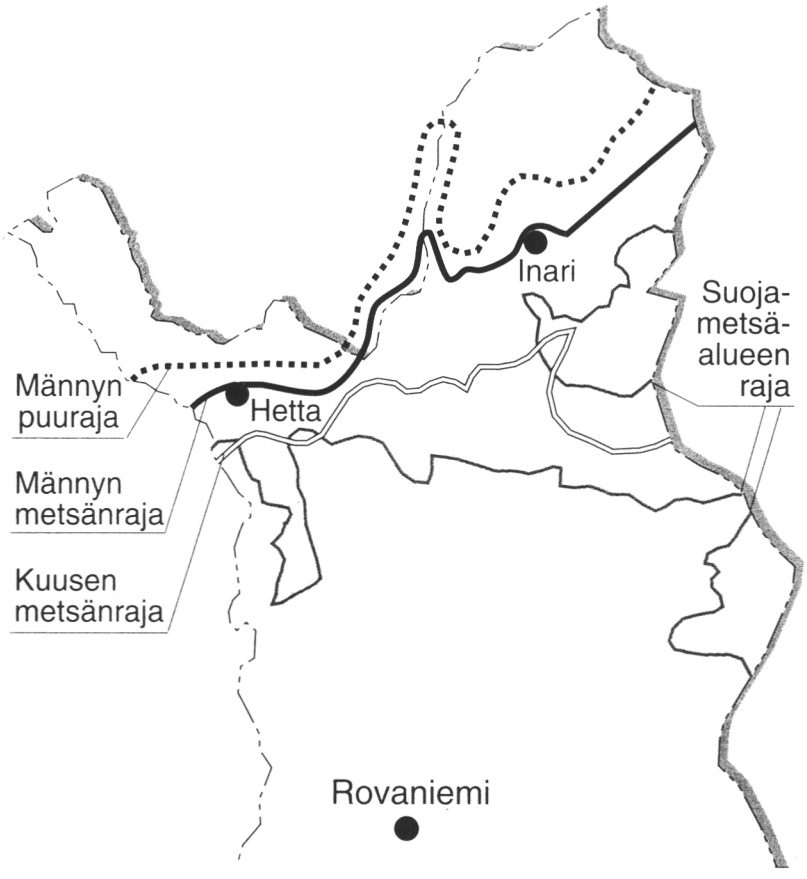
Taulukko 2. Metsänrajametsien puulajeja koskevaa kirjallisuutta.

MÄNNYT		
Pinus sylvestris	Levinneisyys, rajat	Juul 1925, Enquist 1933, Hustich 1952, Kallio ym. 1971, Hyvärinen 1978, Eronen 1979, Kullman 1981, Luomajoki 1993a
	Uudistuminen, kasvu	Renvall 1912, Lakari 1915, Hagem 1917, Lassila 1920, Mikola 1952, 1971, Hustich 1978, Pohtila & Timonen 1980, Numminen 1981, 1987, Rosvall & Hajek 1992
	Tuhot	Ericsson 1991, Helle & Moilanen 1993, Jalkanen & Närhi 1993, Venn 1993
	Yleistä	Kallio 1981
Pinus contorta		Lindgren ym. 1989, Ericsson 1991, Fries 1993 (hyvä lähdeluettelo), Lingren 1993
Pinus pumila		Tjulina 1936, Čertovskoj ym. 1987
KUUSET		
Picea– suku yleensä		Aldén 1987, Schmidt-Vogt 1986, 1991, Hermann 1990
Picea abies (ja *Picea obovata*)	Levinneisyys	Auer 1928, Hustich 1952, 1966, Kallio ym. 1971, Tigerstedt 1973, 1979, Kullman 1986, 1991, Mørkved 1990, Luomajoki 1993b
	Uudistuminen, kasvu	Hagem 1917, Hustich 1978, Kemppi 1989, Mikola 1952, Nekrasova 1955, Rosvall & Hajek 1992, Sirén 1955
Picea glauca		Payette & Filion 1985, Alden & Loopstra 1987, Goldstein ym. 1985, Scott, Hansell & Fayle 1987, Scott, Bentley, Fayle & Hansell 1987, Larsen 1989, Tremblay & Simon 1989

Picea marina	Black & Bliss 1980, Payette & Filion 1985, Larsen 1989, Payette ym. 1989 Morgenstern & Mullin 1990, Ritchie 1992
Picea sitchensis	Kaasen & Skaret 1993
KOIVUT	
Betula pendula	Kallio ym. 1983, Sulkinoja 1983
Betula pubescens, Betula pubescens ssp. *tortuosa*	Enquist 1933, Hämet–Ahti 1963, Kullman 1979, 1983 ja 1993, Ødum 1979, Kallio ym. 1983, Sulkinoja 1983, Kallio 1984, Kauhanen 1987, Fredskild & Ødum 1990, Sveinbjörnsson ym. 1992, Skre 1993
Betula ermani	Tikhomirov 1962, Čertovskoj ym. 1987
LEHTIKUUSET	
Larix- suku yleensä	Hustich 1952, 1966, Tigerstedt ym. 1983, Rosvall & Hajek 1992
Larix sibirica	Krylov 1961, Tigerstedt ym. 1983
Larix gmelini	Čertovskoj ym. 1987
Larix laricina	Elliot 1979, Norin & Payette 1985, Larsen 1989
POPPELIT	
Populus balsamifera	Larsen 1989
Populus suaveolens	Tjulina 1936
MUUT LEHTIPUUT	
Alnus sp.	Biology of Alder... 1968
Chosenia macrolepis	Norin 1958



Kuva 2. Pohjoisen puurajan muodostavat puulajit. Kuva on laadittu Walterin ja Brecklen (1986) esityksen pohjalta. Katso myös Hustich (1966) ja Tuhkanen (1993). Puulajit: *Picea marina* ja *Picea glauca* 2. *Betula pubescens* ssp. *tortuosa* 3. *Picea abies* ssp. *obovata* 4. *Larix sibirica* 5. *Larix gmelini* 6. *Betula ermani.*



Kuva 3. Pohjoiset metsänrajat Suomen Lapissa sekä suojametsäalue. Kuusen puuraja puuttuu kuvasta – se on liian hajanainen esitettäväksi yhdellä viivalla.

3.3 Metsänraja-alueiden kasvillisuus ja eläimistö

Huomattavan paljon biologista tutkimusta on tehty kasvillisuusvyöhykkeiden rajaamiseksi ja näiden vyöhykkeiden floran ja faunan kartoittamiseksi. Jo Linné kävi metsänrajalla ja sen yläpuolisilla tuntureilla Ruotsissa Lapin retkensä aikana (Linné 1991). Hänen jalanjäljissään kartoittivat lukuisat tutkijat Ruotsin ja Suomen Lappia, Pohjois-Norjaa ja Kuolan niemimaata (mm. Wahlenberg 1812, Friis 1872, Kihlman 1890). Kasvillisuuden ja eläimistön kartoitus on ollut mittava urakka, ja se jatkuu edelleen mm. hyönteisten ja mikroeliöstön osalta. Viime vuosikymmeninä tutkimuksen painopiste on siirtynyt sekä kasvi- että eläintieteessä ekologian ja ekofysiologian puolelle. Esimerkkeinä tutkimuksen nykysuuntauksesta voidaan mainita Metsäntutkimuslaitoksen ja kotimaisten yliopistojen toteuttama pikkujyrsi-

jöiden kannanvaihteluihin liittyvä tutkimus (Hanski ym. 1993, Henttonen ym. 1987, Laine & Henttonen 1987). Myös uhanalaisten lajien suojelun edellyttämä tiedon tarve on syytä mainita luonnontieteellistä tutkimusta ohjaavana tekijänä. Merkittävä edistysaskel metsänraja-alueiden biologiselle tutkimukselle on ollut yliopistojen (Helsingin yliopiston ja Turun yliopiston) ja muiden tutkimusorganisaatioiden pysyvien kenttä- ja tutkimusasemien perustaminen metsänraja-alueille eri puolilla maailmaa. Kilpisjärven biologinen asema on tuottanut huomattavan määrän tietoa pohjoisten alueiden linnustosta (esim. Järvinen 1983, 1993, Järvinen & Rajasärkkä 1992). Kevon tutkimuslaitos on tehnyt mm. useita kotimaisia ja ulkomaisia metsänrajan puulajeja koskevia selvityksiä. Näihin tutkimuksia esitellään tarkemmin puulajeja sekä metsänuudistamista koskevissa luvuissa. Muista Kevon tutkijoiden julkaisuista ovat maininnan arvoisia erityisesti metsänraja-alueen kasvi – herbivorisuhteita koskevat selvitykset (mm. Oksanen ym. 1981, Haukioja & Neuvonen 1987, Tuomi ym. 1990). Kansainvälinen yhteistyö tutkimusorganisaatioiden kesken on laajentunut merkittävästi kolmen viimeksi kuluneen vuosikymmenen aikana (mm. Kallio 1990).

Metsänraja-alueiden kasvillisuutta ja eläimistöä koskevan, laajan kirjallisuuden kattava esittely ei ole tässä katsauksessa mahdollista.

4 Metsänrajojen muodostuminen ja kehitys

4.1 Metsänrajojen muodostumiseen vaikuttavat tekijät

Miksi alpiininen tai polaarinen metsänraja ja puuraja ovat juuri siinä missä ovat? Mitkä tekijät aiheuttavat niiden siirtymistä suuntaan tai toiseen? Mistä johtuvat puiden erilaiset olomuodot metsänraja-alueilla? Entä mitkä syyt vaikuttavat luontaisen uudistumisen ja taimikoiden alkukehityksen valtaviin vaihteluihin? Näihin ja lukuisiin muihin kysymyksiin on etsitty vastauksia vuosikymmenien, jopa vuosisatojen ajan. Aihepiiriin liittyvän tiedon määrä on kasvanut jatkuvasti. Monet kysymykset ovat kuitenkin säilyttäneet sellaisinaan paikkansa, vaikka niihin on löydetty tyydyttävät vastaukset tietyn ajankohdan mittapuiden mukaisesti. Tämä johtuu siitä kaikille tieteenaloille yhteisestä pyrkimyksestä, että vaatimukset yhä yksityiskohtaisempien mallien laatimisesta kasvavat sitä mukaa kuin tiede edistyy.

Metsänrajaa aiheuttavat tekijät jaetaan alan kirjallisuudessa kahteen pääryhmään. Toinen on ihmisen toiminta: polttopuun otto, hakkuut, laiduntaminen, metsän hävittäminen viljelysten tieltä jne. Toisen ryhmän muodostavat ekologiset ja biologiset tekijät.

4.1.1 Ihmisen toiminta

Metsän peittämä alue maapallolla on useiden vuosituhansien ajan pienentynyt. Tärkeimmät syyt tähän ovat ilmaston muutokset sekä ihmisen toiminta metsien häviämisessä. Väestön kasvu on vakava uhka tiheimmin asutettujen alueiden jäljellä oleville metsille. Poltto- ja rakennuspuun käyttö, kaskeaminen ja metsien raivaus viljelytarkoituksiin sekä asutuksen leviäminen metsäalueille hävittävät metsiä kiihtyvällä vauhdilla. Ilman epäpuhtaudet tuhoavat teollistuneiden maiden metsiä etenkin vuoristoseuduilla. Vakavampia yrityksiä aukeiksi muuttuneiden alueiden metsittämiseksi on tehty vasta tämän vuosisadan ajan. Erityisesti kehitysmaissa sekä metsien hävittämisen ehkäisy että uudelleenmetsitys kohtaavat vaikeasti voitettavia sosiaalisia ja taloudellisia esteitä (Mather 1990, Westoby 1993). Tässä esityksessä pitäydytään tarkastelemaan lähinnä pohjoisen pallonpuoliskon metsänrajojen muutoksia.

Ihmisen toiminnan vaikutuksesta on myös polaarisen metsänrajan sijainnissa tapahtunut dramaattisia muutoksia. Jo kotitarve-, mutta erityisesti myyntihakkuut ylittävät metsänraja-alueilla varsin helposti kestävyyden rajan (Komiteanmietintö 1910, Renvall 1919, Rikkinen 1981, 1983). Muita ihmisen aiheuttamia muutoksia ovat laajojen metsäpalojen, porojen ja kotieläinten laiduntamisen (Renvall 1919, Sandberg 1898) sekä myöhemmin teollisuuden ja liikenteen päästöjen kautta tapahtuneet metsänrajan siirtymiset. Metsittämisten kautta on puuttomia alueita muutettu jonkin verran metsää kasvaviksi viime vuosikymmeninä. Näiden merkitys suhteessa samanaikaiseen metsänrajojen vetäytymiseen on toistaiseksi pieni. Tutkimusta ja myös käytännön toimenpiteitä esimerkiksi Fär-saarten, Islannin ja Skotlannin puuttomien alueiden metsittämiseksi harjoitetaan kuitenkin melko optimistisin mielin (Odum 1979, Kallio 1984, 1990). Suomessa, Pohjois-Norjassa ja Venäjällä on tehty metsänviljelyjä ja kokeita, joiden tarkoituksena on ollut palauttaa polaarinen metsänraja sille tasolle, jossa se on sijainnut ennen viime vuosisatoina esiintynyttä ihmisen hävittävää toimintaa (Nuorteva 1948, Mikola 1952, 1959, Sirén 1960, Tikhomirov 1962).

4.1.2 Ekologiset ja biologiset tekijät

Lukuisia hypoteeseja, teorioita ja koulukuntiakin on syntynyt edellä lueteltujen ongelmien ympärille. Monet metsänrajan selitykset (englanninkielisessä kirjallisuudessa esiintyy yleisenä käsite *explanation for timberline)* pohjautuvat puiden levinneisyyden ja ilmaston väliseen korrelaatioon. Metsänrajan (puurajan) siirtyminen paikallisen ilmaston muutosten mukaan osoittaa, että jokin tietty ilmastollinen tekijä on erityisen tärkeä metsänrajan kannalta. Näitä metsänrajojen syntymiseen ja pysyvyyteen vaikuttavia tekijöitä ovat ainakin tuuli, ilman ja maaperän kosteus, säteilyn voimakkuus, eri vuodenaikojen keskilämpötilat sekä maksimi- ja minimilämpötilat, hallat, lumi-

peitteen ominaisuudet ja paksuus, routa ja jää, kasvupaikan ravinteisuus, metsäpalojen esiintyminen sekä ilman hiilidioksidipitoisuus. Joidenkin edellä mainittujen tekijöiden osalta on vaikeaa määritellä, ovatko ne *ekologisia rajoittimia puiden kasvulle ja uudistumiselle vai abioottisia tuhonaiheuttajia.* Yksi rajauskeino on tarkastella kunkin tekijän esiintymisen säännöllisyyttä – esimerkiksi säännöllisesti esiintyviä halloja ei ole syytä nimittää tuhonaiheuttajiksi. Toisaalta Hustich (1983) varoittaa käsitteiden *säännöllinen* ja *normaali* käyttämisestä pohjoisen ekologian yhteydessä. Hän luonnehtii ilmaston jaksottaisuutta *säännöllisen epäsäännölliseksi.*

Metsänrajan ja puurajan sijaintia säätelevien tekijöiden merkityksen selvittämiseen pyritään monin keinoin. Aluksi metsänrajatutkijat käyttivät apunaan kasvianatomian ja -morfologian tutkimusmenetelmiä. Yleisimmin seurattiin puiden kasvuun ja uudistumiseen liittyvien tunnusten ja tiettyjen ilmastotekijöiden välistä riippuvuutta (Kihlman 1890, Renvall 1912, Hagem 1917). Ekologisten tutkimusmenetelmien pioneerina pidetään Dänikeriä, joka tutki Sveitsin Alppien metsänrajapuiden kasvua, morfologiaa ja anatomiaa sekä fysiologisia vaurioita 1910- ja 1920-lukujen vaihteessa (Däniker 1923, Tranquillini 1979). Suomen ja Norjan Lapissa kasviekologisia tutkimuksia tehneen virolaisen Lippmaan (1929) paneutuminen valokysymyksiin on ehkä jäänyt meillä liian vähälle huomiolle. Ilmasto- ym. kasvupaikkatekijöiden merkitystä pyrittiin selvittämään myös seuraamalla metsänrajametsiköissä ja yksittäisissä puissa esiintyviä tuhoja sekä näiden suhdetta esimerkiksi lämpötilan muutoksiin.

Kasvifysiologian menetelmien kehitys laajensi metsänrajatutkimuksen mahdollisuuksia ratkaisevasti. Yhdistämällä kasvupaikkatekijöitä tarkastelevan ekologisen tutkimuksen ja kasvien fysiologisten prosessien selvittämisen keinot luotiin uusi tieteenala, ekofysiologia. Metsänrajatutkimukseen sovellettuna se tarkastelee metsänrajan tai puurajan sijaintia ja muutoksia mm. puiden hiilitaseen, vesitaseen ja puiden stressien sietokyvyn kautta (Tranquillini 1979). Edelleen, monitieteellinen tarkastelu biokemian, genetiikan, geologian, mikrobiologian ja paleontologian tutkimusmenetelmiä yhdistämällä on tuonut lisävaloa moniin kysymyksiin. Tämän laajan, monitieteellisen tutkimuksen soveltamisen on puolestaan mahdollistanut tietotekniikan sekä tilastotieteen ja matemaattisten mallien kehitys. Laajoilla alueilla Pohjois-Amerikassa ja Siperiassa sekä useissa vuoristoissa eri puolilla maailmaa metsänraja on äärimmäisen hankalien kulkuyhteyksien takana ja siten vaikeasti tutkittavissa. Näillä alueilla joudutaan turvautumaan otantatutkimuksiin, joiden tukena ilmakuva- ja satelliittitekniikan kehityksellä on painava merkitys (Larsen 1989).

Kasvien yhteyttäminen, ravinteiden ja yhteyttämistuotteiden kuljetus, vedenotto sekä kukkiminen ja siemenen kehitys ovat kaikki *lämpötilasta* riippuvia fysiologisia prosesseja. Huomattava osa metsänrajojen ja puurajojen määräytymiseen liittyvästä ekologisesta tutkimuksesta perustuu hypoteesei-

hin, joissa lämpötila on jollakin tavalla selittävänä muuttujana (Tranquillini 1979, Tuhkanen 1993).

Kasvukausien keskilämpötilat ja varsinkin alhaisimmat ja korkeimmat lämpötilat sekä kasvukauden pituus vaihtelevat vuosittain laajoissa rajoissa. Niissä ilmenee sekä epäsäännöllistä että säännöllisenä pidettävää vaihtelua. Tällä vaihtelulla ja sen jaksottaisuudella (fluktuaatiot, periodisuus, syklisyys) on huomattava vaikutus erityisesti metsänrajametsien uudistumiselle, mutta myös kasvulle. Metsänrajaa lähestyttäessä puiden reaktioherkkyys vuotuiseen ilmaston vaihteluun ja pitempiaikaiseen jaksotteluun kasvaa. Lämpötilavaihteluja metsänrajametsien kasvun ja uudistumisen selittäjinä – sekä lyhyiden että huomattavan pitkien ajanjaksojen puitteissa – on tutkittu laajasti. Fennoskandian alpiinisiin ja polaarisiin metsänrajoihin kohdistuvia selvityksiä on tehty runsaasti (Helland 1912, Renvall 1912, Hagem 1917, Enquist 1933, Mikola 1952, 1971, Sirén 1961, Krjučkov 1967, Mork 1968, 1970, Perttu 1972, Holtmeier 1974, Hyvärinen 1978, Pohtila 1980, Treter 1984, Henttonen ym. 1986, Hänninen & Pelkonen 1988, Kullman 1990). Hustich (mm. 1983) toteaa ilmaston jaksottaisuuden olevan säännöllisen epäsäännöllistä ja määrittelee asian havainnollistamiseksi käsitteen *climatic hazard coefficient.*

Lämpötilan vaikutusten selvittämiseksi (kausaalisten analyysien käytön helpottamiseksi) on laadittu erilaisia aputunnuksia ja malleja. Ehkä laajimmalle levinnyt käytäntö on metsänrajan vertaaminen *isotermeihin* (alkaen Kihlman 1890). Sarvas (1967) tutki kotimaisten puulajien fysiologiaa, erityisesti niiden suvullista lisääntymistä, keräten havaintoja laajalta etelä-pohjoissuuntaiselta alueelta Keski-Euroopasta pohjoiselle metsänrajalle. Hän sovelsi Linsserin (1867) kehittämää lämpösummaa, jonka avulla siemenen tuleentumisen ym. fysiologisten prosessien riippuvuutta lämpötilatekijöistä pystyttiin mittaamaan ja kuvaamaan selkeästi (Sarvas 1967). Kukkimista ja siemenen tuleentumista koskevien tutkimustensa yhteydessä Sarvas teki havaintoja puiden geneettisestä sopeutumisesta pohjoiseen ilmastoon. Hän esitteli d.d.-lämpösumman avulla nk. marginaalivyöhykkeen käsitteen. Männyn kyky sopeutua ilmastoon ainakin lisääntymistoimintojen osalta laskee jyrkästi 1000–1050 d.d.-yksikön kohdalla. Kyseinen vyöhyke käsittäisi 40 % Suomen metsistä; 63:n leveysasteen pohjoispuolella sijaitsevat alueet. Marginaalivyöhykkeen puut eivät ole sopeutuneet geneettisesti lyhyeen kasvukauteen, vaan elävät (uudistuvat) keskimääräistä lämpimämpien kesien varassa. Geneettinen sopeutuminen ei siis määrää metsänrajaa, joka Sarvaksen mukaan asettuu siihen kohtaan, jossa hiilitase jää vuodesta toiseen negatiiviseksi (Sarvas 1970b, Luomajoki 1993a, 1993b). Tigerstedt (1979) on selvittänyt kuusen sopeutumista äärioloissa. Hänen havaintonsa ovat johtaneet Sarvaksen tuloksista poikkeaviin johtopäätöksiin, joskin on todettava, että tulosten taustalla olevat tutkimukset eivät liene aivan vertailukelpoiset.

Lämpösummien käyttö Suomen ulkopuolella on vähäistä. Tosin myös Ruotsin metsätalous on äskettäin siirtynyt saman lämpösumman käyttöön

kuin Suomessa (Odin ym. 1983). Lämpösummaa vastaavia aputunnuksia on luotu muuallakin; esimerkiksi Norjassa käytetään Mork'in kehittämää kasvuyksikköä (vekstenhet) niinikään käytännön metsätalouden apuna (Mork 1968, 1970, Bergan 1989). Mielenkiintoisen näkökulman toi esiin myös venäläisten tutkijoiden Davitajan & Melnikin (1962) käyttämä lämpösummaa vastaava menetelmä. Siinä lasketaan yhteen kaikki 10 °C korkeammat keskilämpötilat; tarpeen mukaan ilmasta tai puiden lehdistä ja neulasista. Polaarinen metsänraja asettuu 600–700 asteen kohdalle ja alpiininen 200–300 asteeseen tarkasteltaessa ilman lämpötilaa. Lehtien (neulasten) lämpötiloista mitattuna molemmat metsänrajat sijaitsevat 800 °C kohdalla. Auringon säteilyn voimakkuus on suurempi vuoristoissa, tämä korvaa siellä esiintyvän kylmemmän ilman haittavaikutusta. Nikolov & Helmisaari (1992) ovat esittäneet metsänrajaa muodostavien puulajien vaatimat tehoisan lämpösumman minimit.

Venäläiset tutkijat ovat aikaisemmin pitäneet ns. *fysiologista kuivuutta* yhtenä metsänrajaa selittävänä tekijänä. Norin (1974) on tullut siihen tulokseen, että kasvukauden aikainen vesitalous ei vaikuta puurajan muodostumiseen. Talvella tapahtuvan pakkaskuivumisen merkitystä korostaa esimerkiksi Krjučkov (1993b).

Red belt-ilmiöksi kutsuttuja tuhoja on esiintynyt silloin tällöin alpiinisten metsänrajojen tuntumassa useissa maissa. Ilmiön todennäköisimpänä syynä pidetään voimakasta lämpötilainversiota ja nopeita lämpötilanvaihteluita. Tuho on yleensä paikallinen sekä tuhoalue tavallisesti pienehkö, muodoltaan nauhamainen ja horisontaalinen. Tuhoalueen puista saattaa kuolla melko suuri osa, joten ilmiötä voidaan pitää paikallisesti metsänrajaa muokkaavana tekijänä (Jalkanen & Närhi 1993, Venn 1993).

Tuulen osuutta metsänrajan selittäjänä on pyritty selvittämään lukuisia erilaisia tutkimusotteita ja lähestymistapoja käyttäen. Tuulella on vahva vaikutus metsänrajapuiden kasvuun ja kehitykseen mm. ilman, maaperän ja kasvillisuuden lämpötilojen ja vesipitoisuuden säätelijänä. Myös puiden pensastava ja maanpinnan myötäinen kasvutapa on pitkälti tuulen säätelemä. Tuuli vaikuttaa puihin sekä suoraan mekaanisesti että fysiologisten toimintojen kautta. Tuulen suunta, voimakkuus ja kesto sekä vastaavasti maaston topografia ratkaisevat, minkä asteisia tuulen vaikutukset metsänrajan puihin ja metsiköihin ovat (Arno 1984, Mork 1968, Tranquillini 1979, Yoshino 1973). Polaarisilla metsänrajoilla esiintyy epäsäännöllisiä, mutta toistuvia myrskytuhoja, joilla on ollut huomattava merkitys Fennoskandian metsänrajojen kehittymiselle (Kihlman 1890, Sandberg 1898). Pakkaskuivumisen taustatekijänä tuulella on merkittävä osuus sekä polaarisilla että alpiinisilla metsänrajoilla (Arno 1984, Tranquillini 1979).

Suurilmaston ilmamassojen (air mass frequencies) ja kasvillisuuden koostumuksen sekä metsänrajan määräytymisen välillä on Haren & Ritchien (1972) sekä Larsenin (1989) mukaan voimakas korrelaatio. Tätä yhteyttä ja

sen vaikutusta metsänrajoihin tutkitaan lähinnä Pohjois-Amerikassa. Ilmiö on havaittu myös Euraasiassa (Krebs & Barry 1970, Tuhkanen 1993).

Maaperätekijät ovat saaneet metsänrajan ekologisessa tutkimuksessa huomattavasti vähemmän huomiota kuin ilmastoon liittyvät tekijät. Tähän aihepiiriin liittyviä tietoja ovat julkaisseet Larsen (1989), Ritari (1989) ja lämpötilasta sekä vesitaloudesta Tranquillini (1979). Maan lämpötilan sekä ravinteiden saatavuuden merkitykseen ovat kiinnittäneet huomiota mm. Sveinbjörnsson ym. (1992) ja Skre (1993). Pysyvän roudan (*permafrost*) vaikutusta puiden kasvuun ja puurajan muodostumiseen on tutkittu laajasti (mm. Brown 1970, Pruitt 1970, Krjučkov 1984, Larsen 1989, Bonan 1992). Myös *maaston topografialla ja soistumisella* on merkityksensä metsänrajan ja puurajan sijaintiin (Perttu 1972, Holtmeier 1974, Andreev 1954).

Lumen paksuus ja *vesipitoisuus* sekä *lumipeitteen viipyminen* metsänrajametsissä muodostavat kokonaisuuden, jonka avulla metsänrajaa on pyritty selittämään eri puolilla maailmaa (mm. Kihlman 1890, Holtmeier 1974, Havas 1978, Tranquillini 1979, Arno 1984, Treter 1984, Kullman 1990). *Tykky* on Suomessa Saariselän eteläpuolella ratkaisevasti metsänrajaan vaikuttava tekijä (Norokorpi & Kärkkäinen 1985). Vastaava ilmiö, "snow ghost" -puut, tavataan Pohjois-Amerikan mereisissä vuoristoissa (Arno 1984).

Sade, kosteus, haihdunta ja yleensä *vesitalouteen* liittyvät tekijät ovat niinikään suosittuja metsänrajan ekofysiologisen tutkimuksen kohteita. Tranquillini (1979) on käsitellyt niitä teoksessaan seikkaperäisesti sekä omien tutkimustensa että kirjallisuuden valossa. Veden puute ei polaarisella metsänrajalla yleensä muodostu kriittiseksi tekijäksi puiden elossapysymiselle tai kasvulle (Tuhkanen 1993).

Bioottisten tekijöiden osuus metsänrajan selittäjinä lienee jäänyt liian vähälle huomiolle abioottisiin tekijöihin verrattuna. Bioottiset tuhot syntyvät usein nopeasti, mutta vaikuttavat huomattavan pitkiä aikoja. Tunturimittarin (*Epirrita autumnata*) aiheuttama epidemialuonteinen tuho 1960-luvulla on hyvä esimerkki äkillisestä tekijästä, jolla on pitkäaikainen, laajoja alueita koskeva vaikutus (Kallio & Lehtonen 1973, Nuorteva 1963, Tenow 1983). Porojen ja kotieläinten laiduntaminen on todettu globaalisesti merkittäväksi metsänrajojen sijaintiin vaikuttavaksi tekijäksi lukuisissa lähteissä (mm. Tikhomirov 1970). Joidenkin bioottisten tekijöiden vaikutusta on erittäin vaikea mitata. Esimerkiksi siemeniin ja sirkkataimiin kohdistuvat tuhot voivat jäädä huomaamattakin. Myyrien ja muiden herbivorien vaikutusta metsänrajaan olisi syytä ryhtyä selvittämään perusteellisesti. Ne saattavat tuhota puiden taimia huomattavassa määrin varsinkin sirkkataimivaiheessa. Toisaalta myyrien ja sopulien sammalkunttaa hajottava vaikutus saattaa olla myönteinen ilmiö metsänrajametsien uudistumiselle. *Linnut,* mm. pähkinähakki, voivat vaikuttaa metsänrajan siirtymiseen aukeiden alojen suuntaan levittämällä puiden siemeniä (Holtmeier 1974, Tikhomirov 1962).

Bioottisista tekijöistä on edelleen maininnan arvoinen *ektotrofisten mykoritsojen* merkitys metsänrajaa määräävänä tekijänä (mm. Andreev 1966,

Tranquillini 1979, Wardle 1981, 1993, Mayer & Ott 1991). Sienituhoista, jotka vaivaavat metsänrajametsiä, ovat vakavimpia lumihome (*Phacidium infestans)* männyntaimikoiden tuhonaiheuttajana sekä versosurma (*Gremmeniella abietina),* joka tuhoaa varttuneempia männiköitä. Myös kuusella ja koivuilla on sienitauteja, joiden vaikutusalue yltää metsänrajavyöhykkeelle saakka (Jalkanen 1993).

Puiden kasvumuotoa on ryhdytty pitämään viime aikoina yhtenä merkittävimmistä metsänrajan sijaintiin vaikuttavista tekijöistä (Daubenmire 1954, Holtmeier 1985, Stevens & Fox 1991, Wardle 1981). Muihin kasveihin verrattuna puut poikkeavat erityisesti siksi, että niillä on eniten ei-yhteyttävää, mutta yhteyttämistuotteita kuluttavaa solukkoa (runko, juuret). Tämän solukon ylläpitäminen ja kasvattaminen saavuttaa kriittisen pisteen metsänrajalla. Minimitekijänä on lämpötila. Krummholz ym. pystysuorasta rungosta poikkeavat kasvumuodot selviytyvät pystysuoraan kasvavien puiden rajan yläpuolella hengissä alpiinisten metsänrajojen äärimmäisinä metsiköinä ja puuyksilöinä.

Tuli on muovannut erityisesti polaarista metsänrajaa varsin usein vuosituhansien kuluessa (Payette 1980, Zackrisson 1977).

4.1.3 Eri tekijöiden yhteisvaikutus

Metsänrajan muodostuminen tiettyyn paikkaan on harvoin yhden tekijän aiheuttama. Eri tekijöiden yhteisvaikutukset ovat luonteeltaan monimutkaisia prosesseja, joita ei vielä tunneta kovinkaan tarkasti. Yleisimpiä yhteisvaikutusteorioita ovat hiilitase- ja pakkaskuivumismallit sekä lisääntymistä säätelevien tekijöiden kokonaisvaikutus.

Yksi eniten huomiota saaneista metsänrajan selityksistä perustuu vuodesta toiseen jatkuvaan *negatiiviseen hiilitaseeseen (carbon balance).* Metsänraja (viime kädessä puuraja) asettuu sellaiseen kohtaan, josta eteenpäin mentäessä yhteyttämisen tuotos jää vuodesta toiseen kulutusta pienemmäksi. Yhtäältä on kysymys siitä, että puut pyrkivät koko elinikänsä kasvattamaan hengittävää solukkoa, jolle niiden on ajan mittaan aina vain vaikeampi tuottaa riittävästi yhteyttämistuotteita (Daubenmire 1954). Toisaalta asiaa voidaan tarkastella yhden kasvukauden hiilitaseen puitteissa. Metsänrajaa lähestyttäessä kasvukausi lyhenee. Raja on sillä kohtaa, mistä eteenpäin puut eivät enää kykene hankkimaan yhteyttämisen kautta riittävästi hiiltä koko vuoden tarpeisiin (Kallio 1978, Wardle 1977, 1981, Tranquillini 1979). Metsänraja on tämän teorian mukaan "nälkäraja" (Sarvas 1970a). Skre (1991) on laatinut kirjallisuuskatsauksen pimeähengityksen merkityksestä rajoittavana tekijänä kasvien menestymiselle metsänrajaoloissa.

Pakkaskuivuminen (winter desiccation, winter drought) on yleinen ja usein metsänrajan puille kohtalokas ilmiö, jota on myös tutkittu ahkerasti sekä alpiinisen että polaarisen metsänrajan ja puurajan olosuhteissa (Holt-

meier 1971, 1974, Wardle 1977, 1981, Tranquillini 1979, Hadley & Smith 1983, 1986). Se saattaa paikoin olla säännöllisesti toistuva, metsänrajaa tai puurajaa määräävä tekijä. Polaarisella metsänrajalla pakkaskuivumisen esiintymistiheys kasvaa selvästi pohjoista kohti edettäessä (Holtmeier 1985). Useat tutkijat, mm. Tranquillini (1979) ja Wardle (1981, 1993) yhdistävät pakkaskuivumisen edellisen kasvukauden aikaiseen kasvainten vaillinaiseen puutumiseen tai liian ohueksi jäävään kutikulaan, jotka puolestaan ovat seurausta liian lyhyestä kasvukaudesta, toisin sanoen lämpötilatekijöistä. Hadley & Smith (1983) pitävät talven aikaisten tuulten vaikutusta edellisen kesän puutteellista neulasten kehitystä tärkeämpänä syynä pakkaskuivumiseen. Aikaisemmista tutkimuksista, joissa korostetaan mm. negatiivisen hiilitaseen merkitystä pakkaskuivumista tärkeämpänä tekijänä metsänrajan ja puurajan sijainnille, on paikallaan mainita Daubenmiren (1954) esitys.

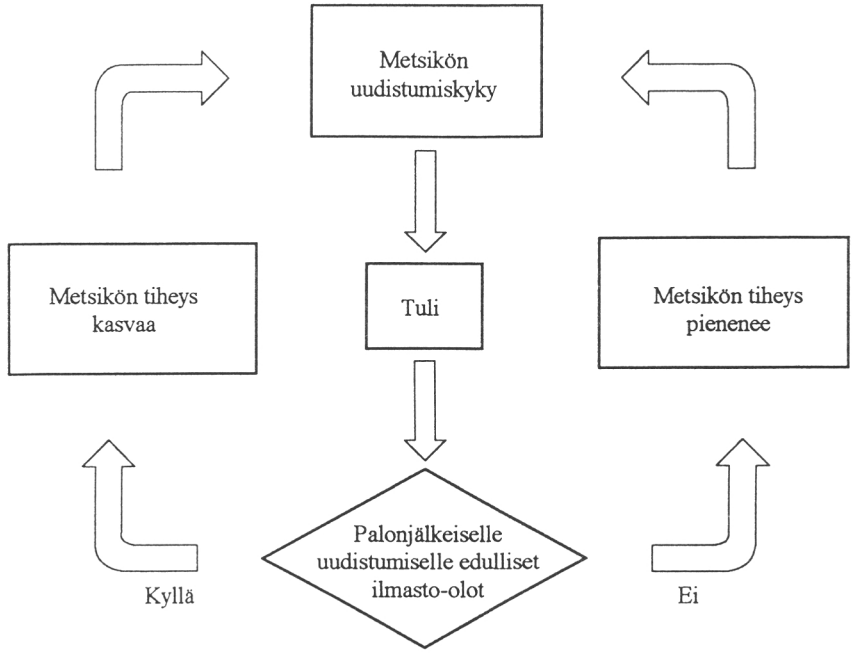
Puiden lisääntymisen merkitystä metsänrajan selittäjänä on syytä tarkastella omana erillisenä kokonaisuutenaan, vaikka lisääntymisen ja jonkin tai joidenkin edellä esitettyjen ekologisten tekijöiden välillä on yleensä selvä riippuvuus. Suvullisen ja kasvullisen lisääntymisen edellytyksenä on useiden ekologisten tekijöiden yhteisvaikutus siten, että ne sattuvat olemaan samanaikaisesti optimaalisia tai tiettyjen rajojen sisällä. Kyseessä on varsin monimutkainen, geneettisten ja ympäristötekijöiden säätelemä prosessi, jota ei vielä tunneta kovinkaan tarkasti.

Lisääntymisen merkityksestä metsänrajan muodostumiselle on esiintynyt toisistaan poikkeavia näkemyksiä. Sarvas (1970a) ei pidä metsän uudistumiskykyä ratkaisevana pohjoisen metsänrajan sijainnille. Hän katsoo, että yksikin uudistumisen kannalta suotuisa vuosi sadan vuoden aikana riittää metsänrajan säilymiseen paikallaan. Tikhomirov (1962) puolestaan pitää suvullisen lisääntymisen puuttumista yhtenä tundran metsättömyyden perussyynä. Payette (1983) on todennut, että Quebec-Labradorissa puulajien esiintyminen leveysgradientin suunnassa näyttää olevan suoraa seurausta niiden lisääntymisominaisuuksista. Hän korostaa myös kasvun ja lisääntymisen vastaavuutta. Alueilla, joilla mustakuusi *(Picea mariana),* valkokuusi *(Picea glauca)* ja kanadanlehtikuusi *(Larix laricina)* kasvavat normaalisti puumaisina, on aina niiden taimia, mutta kituvan kasvun krummholzvyöhykkeillä taimia esiintyy vähemmän. Nämä vyöhykkeet ovat jäänteitä edullisemman ilmaston vaiheesta, jolloin suvullinen lisääntyminen onnistui (ks. myös Elliot 1979).

Nykyinen metsänraja ja puuraja ovat tasapainossa tämänhetkisen ilmaston kanssa. Puulajien luontaisen uudistumisen raja on asettunut sen mukaisesti. Sirois (1992) katsoo, että metsänrajan selitys Kanadan metsätundralla voisi löytyä *metsäpalojen ja luontaisen uudistumisen yhteisvaikutuksesta.* Myös Payette (1992) korostaa toistuvien metsäpalojen edullista merkitystä metsien uudistumiselle. Ilmaston muutos kylmempään suuntaan vaikuttaa kuitenkin siten, että suvullinen lisääntyminen heikkenee ja metsäpalot alkavat aiheuttaa metsänrajametsien harvenemista. Metsätundran kehitys etenee

kohti aukeaa tundraa. Sekä Kanadassa että Fennoskandiassa tehdyt havainnot osoittavat, että metsän olemassaolo ja sulkeutuneisuus vaikuttavat metsänrajan siirtymisnopeuteen epäedullisten ilmastojaksojen aikana. Erityisesti pitkäikäinen männyn ylispuusto aiheuttaa viivettä epäedullisten ilmastojaksojen vaikutuksiin. Uudistuminen on selvästi varmempaa välittömästi metsänrajan ala- tai eteläpuolella olevissa sulkeutuneissa metsissä kuin metsänrajalla (Renvall 1912, Kullman 1987)

Laajasti Venäjän metsänrajoja tutkinut Kručkov (1993a) esittää tulkintansa Kuolan pohjoisen metsänrajan syistä käsitteillä suhteellinen ja absoluuttinen metsättömyys. Hän on sitä mieltä, että koko Kuolan niemimaalla ulointa rannikkoa lukuunottamatta lämpötila on riittävä puiden kasvulle. Puurajan ja tyypillisen tundran välinen alue on *suhteellisen metsättömyyden vyöhyke*, jonka metsättömyys johtuu monista syistä. Yhtenä syyryhmänä ovat maaperän ominaisuudet, soistuneisuus, kallioisuus ja kivisyys sekä ravinteiden saatavuuden kannalta huono maaperä. Tuulen vaikutus on merkittävä varsinkin talvella. Suojasääjaksojen aikana pakkaskuivuminen on kohtalokasta havupuille ja samasta syystä syntyvät puiden kitumuodot.



Kuva 4. Tulen ja ilmaston yhteisvaikutus Kanadan metsänrajametsien kehitykseen, Siroi-s'in (1992) hypoteesi.

Tähän kokonaisuuteen liittyy vielä ihmisen vaikutus. Suhteellisen metsättömyyden alueelle metsä voidaan palauttaa viljelemällä. *Absoluuttisen metsättömyyden vyöhykkeellä* on puiden puuttumisen syynä niiden elintoiminnoille riittämätön lämpö. Tälle ajatustavalle läheinen on myös Wardlen (1981) alpiinisia metsänrajoja koskeva johtopäätös, jonka mukaan lisääntyminen ja biologiset tekijät vaikuttavat metsänrajan rakenteeseen sekä säätelevät häiriöiden jälkeen tapahtuvaa elpymistä. Pitkällä aikajänteellä lopullisen rajan määrää puumaisen elomuodon fysiologinen sietokyky. Suhteellisen ja absoluuttisen metsättömyyden käsitteet antavat mahdollisuuksia metsänrajaan vaikuttavien monien tekijöiden johdonmukaiseen analysointiin.

4.2 Metsänrajan dynamiikka

Metsänrajan etenevä tai taantuva kehitys johtuu lähinnä ilmaston vaihtelusta, mikäli ihmisen toiminta ei ole vaikuttanut asiaan. Samaan kokonaisuuteen liittyvät myös puulajien luontainen leviämiskehitys ja metsäkasvillisuuden sukkessio. Luonnolliseen ilmastonvaihteluun liittyvä ihmisen aiheuttama maapallon ilmaston muutos on herättänyt suuren kiinnostuksen metsänrajojen dynamiikkaan, koska metsänrajojen muutosten kautta voidaan päästä kiinni ilmaston muutoksen yleisiin kehitysilmiöihin. Nämä kaikki tekijät yhdessä muodostavat laajan kokonaisuuden, jonka tutkimisessa käytetään monipuolisia, eri tieteenalojen kehittämiä menetelmiä.

4.2.1 Ilmaston vaihtelu

Ilmaston vaihtelua voidaan seurata suoraan mittaamalla säännöllisesti ilmastotekijöitä tai välillisesti menneen ajan osalta tarkastelemalla ilmastotekijöiden vaikutuksessa esiintyvää vaihtelua esimerkiksi elävänä tai kuolleena säilyneestä kasvimateriaalista. Esimerkiksi Eronen (1990, 1991) on tarkastellut maapallon pitkän aikavälin ilmaston kehitystä ja sen tutkimisessa käytettäviä menetelmiä.

Mittauksilla todettu lämpötilan vaihtelu. Suomessa on olemassa säännöllisiä lämpötilahavaintoja Helsingistä vuodesta 1828 lähtien ja useammista pisteistä 1880-luvulta lähtien (Heino 1978). Fennoskandian lämpötilan vaihtelua mittaustulosten perusteella ovat tutkineet mm. Wallén (1962), Hansen (1974), Heino (1978, 1994), Eriksson (1988), Koutaniemi (1990) ja Solantie (1992). Yleistäen voidaan todeta, että 1800-luvun lopun kylmän vaiheen jälkeen lämpenemistä tapahtui 1930-luvun lopulle asti, minkä jälkeen kehitys on ollut vaihtelevaa, jopa kylmenevää. Kasvihuoneilmiön vaikutuksia kasvukauden lämpötiloihin ei ole voitu todeta.

Proksitietoihin perustuva tieto lämpötilan vaihtelusta. Koko jääkauden jälkeisen ajan ilmaston kehityksestä on pystytty rakentamaan yleiskuva kas-

villisuuden historian perusteella. Sen tutkimisessa on käytetty eniten siitepölyanalyysejä (Eronen 1990). Myös dendrokronologiset menetelmät ovat yleisesti käytössä, esimerkiksi Sirén (1961), Briffa ym. (1990, 1992), Eronen & Zetterberg (1992), Zetterberg & Eronen (1994). Vaikka yleiskehityksestä vallitsee varsin yhtenevä käsitys, on tulosten yksityiskohdissa eroja; esimerkiksi nk. "Pienen jääkauden" ajoituksesta ja kestosta on erilaisia käsityksiä.

4.2.2 Puulajien levinneisyyshistoria

Puulajien ja muun metsäkasvillisuuden levinneisyyden ja lajisuhteiden selvittämien ilmastonvaihteluun liittyen on suosittu tutkimusaihe. Korhola (1990) on tarkastellut yleistä *interglasiaalien metsäsykliä,* metsien kehitystä jääkausien välisinä aikoina. Alkupuolen kehitys on etenevää eli progressiivista ja loppupuolen kehitys taantuvaa eli regressiivistä. Maapallon metsänrajaseutujen puulajien levinneisyyshistoriasta on olemassa kattavia alueellisia selvityksiä, joista esimerkkeinä Venäjän osalta voidaan mainita Tikhomirovin (1961, 1963) yhteenvedot. Pohjois-Amerikan kehitystä ovat tarkastelleet esimerkiksi Larsen (1989) ja Sirois (1992). Lapin metsien ja metsänrajan historiaa ovat Suomessa selvittäneet mm. Auer (1927), Aario (1940, 1943), Hustich (1948, 1958), Sirén (1961), Vasari (1978), Hyvärinen (1975, 1978), Eronen (1979, 1981), Alho (1990) ja Taipale & Saarnisto (1991). Kölivuoriston metsien kehitystä on selvittänyt Kullman (1990a) ja Finnmarkin osalta voidaan mainita Nilssenin & Vorrenin (1987) ja Mørkvedin (1987) katsaukset.

4.2.3 Metsäkasvillisuuden sukkessio

Metsänrajan läheisyydessä kasvupaikan hyvyyden vaikutus ilmastoon verrattuna vähenee ja lajien väliset kilpailusuhteet muuttuvat. Tästä syystä vakiintuneita boreaalisten metsien puulajikehityksen malleja ei voida soveltaa suoraan näillä alueilla. Fennoskandiassa on metsänrajan läheisen mäntyvyöhykkeen, *regio subsylvatican*, syistä keskusteltu Wahlenbergin (1812) ajoista lähtien, eikä kuusen puuttumisen syytä ole vieläkään lopullisesti ratkaistu (esim. Kihlman 1890, Fries 1913, Enquist 1933). Toinen Fennoskandian keskeinen kysymys on tunturikoivikoiden asema sukkession suhteen. Niitä pidetään pysyvinä kasviyhdyskuntina (esim. Hämet-Ahti 1963), jotka ovat ainakin osittain syntyneet palon jälkeen männiköiden tilalle muodostaen "pseudotundran" (Sirén 1961, Hustich 1966). Pohjois-Amerikassa Marr (1948) on pitänyt metsätundraa yhdistelmänä sukkession eri vaiheissa olevista kasviyhdyskunnista. Hare (1950) piti havupuumetsiä lehtipuustoja seuraavina kliimaksassosiaatioina. Larsen (1980) on painottanut näkemystä, et-

tä sukkesio ja kliimaks ovat merkityksettömiä tekijöitä oloissa, missä lajien välinen kilpailu on vähäistä ja ympäristötekijät suoraan määräävät kasviyhdyskuntien rakenteen. Kasvillisuuden kontinuumeja on Pohjois-Amerikassa tutkittu maisemallisista lähtökohdista ordinaatioanalyysillä (esim. Johanson 1981). Myös pohjoisten metsäekosysteemien kehityksen simulointi auttaa ymmärtämään sukkessiokysymystä (esim. Bonan ym 1990). Venäläiset tutkijat ovat erityisesti kiinnittäneet huomiota latvuspeiton ja juuriston sulkeutuneisuuden asteeseen ja niiden vaikutuksiin (esim. Norin 1993). Näyttää siltä, että vajaasti sulkeutuneen metsätundran ja pohjoisen taigan välillä on selvä ero sukkession suhteen.

4.2.4 Metsänrajan ilmastonvaihtelusta johtuvat muutokset

Jääkauden jälkeisestä puulajien levinneisyyskehityksestä on usein vaikea erottaa ilmastonvaihtelun eripituisten syklien aiheuttamia muutoksia. Puulajien reagointiin ilmaston muutokseen vaikuttavat monet tekijät, joiden tuloksena etenevä tai taantuva kehitys voi olla korostuneen nopeaa tai kuten yleensä viiveellä esiintyvää (Hustich 1978, Holtmeier 1985, Brubaker 1986, Ritchie 1986). Yleensä ei tulisi lyhytaikaisesta puurajan etenemisestä tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä metsänrajan etenemisestä (Hustich 1944, Šijatov 1967, Holtmeier 1974, Gorchakovsky & Shiyatov 1978, Kullman 1987, 1993a, 1993b).

Ilmaston muutosten vaikutusten tarkastelu edellyttää kannanottoa siihen, minkä jaksojen puitteissa asiaa tarkastellaan. Kullman (1990a) käyttää seuraavia jaksoja: koko Holoseeni, "Pieni jääkausi", sen jälkeinen lämpeneminen ja nykyinen ilmaston viileneminen. Koko Holoseenin eli jääkauden jälkeisen n. 10 000 vuoden pituisen jakson kehitystä on selvitetty puulajien levinneisyyshistorian kohdalla mainituissa tutkimuksissa.

"Pienen jääkauden" epäedulliset vaikutukset metsiin olivat selviä, vaikka ajoituksesta on erilaisia käsityksiä. Kullmanin (1990b) mukaan se ajoittuu välille noin 1550–1880. Fennoskandiassa vaikutuksia ovat selvitelleet esimerkiksi Montell (1904), Renvall (1912b, 1919), Hagem (1917), Juul (1925), Mikola (1952), Sirén (1961) ja Kullman (1990a, 1990b). Venäjältä voidaan mainita Chernavskayan (1985) ja Šijatovin (1967) selvitykset. Pohjois-Amerikassa asiaa ovat tarkastelleet esimerkiksi Larsen (1989) ja Sirois (1992).

"Pienen jääkauden" jälkeisen lämpenemisen vaikutukset todettiin Fennoskandiassa verrattain myöhään (Aario 1940, Hustich 1948, 1958). Kehitystä ovat selvittäneet mm. Sirén (1970, 1993), Aas (1969), Kullman (1987, 1990a) ja Sonninen (1993).

Venäjällä lämpenemisen vaikutukset havaitsi ensimmäisen Žuravskij (1915) Petsoran seudulla. Cinserling (1932) totesi etenevän kehityksen Kuolassa. Tarkemmin ilmiötä kuvasi Tjulina (1936) Anadyrissa. Kehitystä ovat tutki-

neet myös Tikhomirov (1953), Andreev (1954), Šijatov (1967) ja Gorchakovsky & Shiyatov (1978). Metsän etenemisen pohjalta on Venäjällä tehty käytännön johtopäätöksiä tundran metsittämisestä ja maatalouden mahdollisuuksista (Tikhomirov 1953, Andreev 1954).

Pohjois-Amerikassa etenevän kehityksen havaitsi Kodiakin saarella 1930-luvun alussa Griggs (1937). Viereck (1979) on tarkastellut kehitystä Alaskassa ja Elliott-Fisk (1983) mantereen keski- ja länsiosissa sekä Payette & Filion (1985) Quebecissä.

Innes (1991) on tehnyt yli 40 tutkimuksen arvioinnin perusteella yhteenvedon metsänrajapuustojen kasvun paranemisesta todeten, että kasvun paraneminen alkoi vaihtelevasti aikavälillä 1850–1940. Sirois (1992) on tehnyt yhdistelmän pohjoisen metsänrajan muutoksista koko Holoseenin aikana.

Kesälämpötilojen aleneminen alkoi 1940-luvulla, mutta sen ei ole yleisesti todettu vaikuttaneen alentavasti metsänrajoihin, vaikka kuusen ja tunturikoivun kohdalla on todettu vaikutuksia (Kullman 1990a, 1990b, 1991, 1993). Männyn puurajan eteneminen näyttää jatkuvan Fennoskandiassa (Eronen 1981, Sirén 1993b). Kasvihuoneilmiön vaikutuksesta metsänrajoihin on esitetty useita yleisluontoisia arvioita, joiden aikataulu vaihtelee (esim. Kauppi & Posch 1985, Briffa ym. 1990, Bonan ym. 1990, Karjalainen ym. 1991, Hari ym. 1992, Fortelius ym. 1992, Ross 1992). Harvoista alueellisista ennusteista voidaan mainita Zavel´skajan ym. (1993) esittämä pohjoisen metsänrajan nopeaa etenemistä ennustava arvio.

5 Metsänrajametsät luonnonvarana

5.1 Puuvarat ja niiden hyödyntäminen

5.1.1 Perinteinen puunkäyttö

Metsänrajametsien puuvarojen hyödyntäminen liittyy tiiviisti tarkasteltavan alueen *asutushistoriaan*. Puun saatavuus on ollut ratkaisevasti asutukseen vaikuttava tekijä. Keski-Euroopasta on tietoja ihmisen vaikutuksista kasvillisuuteen myös vuoristoissa jo 6000 vuoden takaiselta ajalta (Bortenschlager 1988). Ihmisen vaikutuksia Alppien metsänrajoihin on tutkittu laajasti (esim. Stern 1983, 1988). Myös pohjoisella metsänrajalla ihmisen vaikutus on kestänyt vuosituhansia (Tikhomirov 1962, Hustich 1966). Fennoskandiassa ja yleensä Pohjois-Atlantin alueella mereltä ja rannikoilta on kohdistunut voimakas käyttöpaine metsänrajametsiin (esim. Helland 1905, 1907, Homén 1918, Mattsson 1987, Sveli 1987, Slettjord 1993, Loftsson 1993).

Polttopuun hankinta on ollut melkoinen ongelma kaikilla pohjoisilla alueilla (Massa 1979). Suomessa on selvitetty perusteellisesti metsänrajaseutujen puuvarojen riittävyyttä isojaon ja asutussuunnitelmien yhteydessä. Kaikkein vaikein oli tilanne Utsjoella ja Enontekiön pohjoisosissa (Komiteanmietintö 1910, Renvall 1919, Heikinheimo 1921). Rikkinen (1981, 1983) on kuvannut asutuksen ja siihen liittyvän puun kotitarvekäytön vaikutusta metsänrajaan Puolassa. Pohjois-Norjassa asutuksen vaikutuksia ovat kuvanneet esim. Helland (1899, 1905, 1907 ja Sveli (1987). Venäjällä taajamien puunkäyttö on vaikuttanut metsänrajoihin nykyaikaan asti (Tikhomirov 1962, Krjučkov 1988).

Monilla vuoristojen ja tunturien metsänraja-alueilla on ollut aikaisemmin käytössä lähinnä karjanhoitoon liittyvä *kausiasuntojärjestelmä*, missä on muutettu kesäksi metsänrajan lähellä olevaan tukikohtaan. Ruotsissa tämä talousmuoto tunnetaan nimellä "fäbodväsende" ja Norjassa nimellä "seterdrift". Toiminnan vaikutus metsänrajaan on jäänyt yleensä paikalliseksi (Kullman 1979, Lykke 1988). Vastaava talousmuoto on ollut käytössä myös Siperiassa (Hämet-Ahti 1983). Alpeilla vastaavan puolinomadisen maatalouden vaikutus subalpiinisen vyöhykkeen metsiin on ollut selvä (Stern 1983).

Joillakin metsänrajaseuduilla hyvien kulkuyhteyksien mahdollistama *puutavaran myynti* on vaikuttanut metsänrajoihin. Selvimpiä esimerkkejä ovat Fennoskandian Jäämereen laskevien uittokelpoisten jokien laaksot. Suomessa puutavaran myynti Norjaan on vaikuttanut Tenojoen, Näätämöjoen ja Pakanajoen laaksojen metsävaroihin (Sandberg 1898, Renvall 1919, Sveli 1987).

Puusepäntöihin tarvittavan raaka-aineen lisäksi puuta on käytetty *polttoaineena pienimuotoisessa teollisessa toiminnassa.* Vienanmeren rannoilla ja Kuolassa tarvittiin puuta aikanaan suolankeittoon (Pohle 1917, Cvetkov ym. 1983). "Fäbodväsende"- talouteen liittyvällä juuston valmistuksella on ollut merkitystä Ruotsissa ja Norjassa (Kullman 1979). Hiilen- ja tervanpolttoa on harjoitettu myös pohjoisimpien mäntymetsien alueella Norjassa ja 1800-luvulla traanikeittämöiden polttopuun tarve oli merkittävä Pohjois-Norjan rannikolla.

Renvallin (1919) selvitysten mukaan männyn nilan käytöllä *pettuleivän raaka-aineeksi* on ollut merkitystä Utsjoen männiköissä. Lapinkomitean (Komiteanmietintö 1905) arvion mukaan vuosina 1740–1880 yksinomaan Utsjoella käytettiin 2 150 000 mäntyä pettuleivän tekoon. Hellandin (1907) mukaan petun valmistuksella on ollut merkitystä myös Pohjois-Norjan männiköihin.

Yleisiin kulkureitteihin liittyvällä puunkäytöllä ja metsäpaloriskin lisääntymisellä on ollut vaikutusta metsänrajametsiin (esim. Sandberg 1898, Pohle 1917).

5.1.2 Metsäteollisuuden puunhankinta

Pohjoiselta metsänrajalta ei ole tiedossa tapauksia, joissa metsänraja olisi siirtynyt teollisuuden puunhankinnaksi katsottavan hakkuutoiminnan tuloksena. Fennoskandiassa harjoitetaan metsätaloutta ja tehdään kaupallisia hakkuita lähempänä metsänrajaa kuin Pohjois-Amerikassa ja muualla Euraasian mantereella. Syynä ovat Fennoskandian ilmaston edullisuudesta johtuvat metsien ominaisuudet ja hyvä saavutettavuus. Toisen maailmansodan aikana saksalaiset hakkasivat voimakkaasti myös pohjoisimpia mäntyesiintymiä Finnmarkissa. Alueet ovat kuitenkin uudistuneet hyvin (Sveli 1987).

Fennoskandiassa metsäteollisuuden puunhankinta alkoi Etelä-Norjasta 1800-luvun alussa. Tämän vuosisadan alkuun mennessä puunhankinnan "timber frontier" oli edennyt napapiirin pohjoispuolelle Suomessa, Ruotsissa ja Venäjällä. Rintama eteni sahateollisuuden hyvien suhdanteiden aikana, kun puunhankinta perinteisillä alueilla ei riittänyt (Björklund 1992).

Kaupallisten hakkuiden etenemistä kohti metsänrajametsiä on pidetty ympäristönsuojelun kannalta huolestuttavana (esim. Petrof 1992, Dudley 1992) ja metsänrajanläheisten metsien käytöstä on käyty vilkasta keskustelua 1970-luvulta lähtien.

Suomessa metsänrajametsät ovat pääosin Jäämereen virtaavien jokien vesistöalueella, jonka takia ne ovat olleet vaikeasti saavutettavissa. Metsävarojen selvityksiä käynnistettiin jo 1800-luvun lopulla Inarin metsänrajametsissä. Valtionmetsäkomitea (Komiteanmietintö 1900) arvioi, että Inarin laajat metsävarat antavat mahdollisuudet laajalle metsätaloudelle. Paatsjoen uittomahdollisuuksia selvitettiin vuodesta 1905 lähtien ja ensimmäisen uittosäännön vahvisti Oulun lääninhallitus vuonna 1911. Utsjoen hoitoalueen Skietsim- ja Vaskojoen alueiden sekä Utsjoen ja Kevojoen alueen (Renvall 1915) metsävarat inventoitiin jo vuosisadan alussa. Myös Petsamon metsävarojen hyödyntämismahdollisuuksista esitettiin arvioita (Pöyhönen 1921, Tanner 1927). Metsähallitus teki 1915 Allmänna Trävaroaktibolaget Ab:n kanssa konsessiokaupan, joka oikeutti hakkaamaan 15 vuoden aikana Inarin itäosista 2,7 milj. sahapuurunkoa. Tästä käynnistyi 1930-luvulle asti kestänyt hakkuutoiminta ja uitto Paatsjokea pitkin Norjaan. Maakuljetusmahdollisuuksia etelään päin pohdittiin jo 1930-luvulla (Järvinen 1935). Yhtenä vaihtoehtona oli radan rakentaminen Petsamoon. Autokuljetukseen perustuvaa puunhankintaa Luttojoen latvoilta asti valmisteltiin 1930-luvun lopulla (Seppänen 1940). Talouselämältä eristettyjen alueiden metsävarojen hyödyntämistä suunniteltiin edelleen sodan jälkeen (Lihtonen 1949). Puun maakuljetusolojen kehittämissuunnitelmat sisälsivät tiehankkeita Inarijärven itäpuolelta Jäämeren rannikolle (Komiteanmietintö 1952). Inarin alueelta toimitettiin 1950-luvun alkupuolelta lähtien maakuljetuksena ratapuuaiheita ja tukkeja etelään. Ns. Inarin komitean mietinnössä (Komiteanmietintö 1955) ja siihen liittyvissä selvityksissä pohdittiin selluloosatehtaan rakentamista Norjaan. Ratkaisuna oli kuitenkin kuljetus etelään (Metsähallitus 1961). Ke-

mijärven tehtaan valmistuminen 1965 loi Jäämeren vesistöalueellakin tilanteen, jossa kaikille puutavaralajeille oli kysyntää.

Valtakunnan metsien inventoinnissa on Enontekiön, Inarin ja Utsjoen metsävaroista tehty erillinen selvitys ilmakuva- ja maasto-otantaan perustuvalla menetelmällä (Mattila & Kujala 1980). Uusi vastaava selvitys on parhaillaan käynnissä. Vuoden 1978 inventoinnin mukaan alueen mäntyvaltaisten metsien kokonaispuusto oli 55,5 milj.m³. Puuston keskitilavuus oli korkea ja metsien rakenteelle oli tyypillistä vanhojen metsien runsaus. Valtaosa Ylä-Lapista on Metsähallituksen hallinnassa olevaa valtionmaata. Ylä-Lapin nykyinen metsätaloussuunnitelma on vuodelta 1985 (Metsähallitus 1985) ja uuden luonnonvarasuunnitelman laadinta on vireillä. Ylä-Lapin luonnonhoitoalueen nykyinen hakkuusuunnite on 180 000 m³ vuodessa ja Inarin yksityismetsien suunnite on 80 000 m³ vuodessa. Enontekiön yksityismetsistä hakataan noin 20 000 m³ vuodessa. Metsätalous on 1980-luvulta lähtien supistunut ja vastaavasti luonnonsuojelun, virkistyskäytön ja luontaiselinkeinojen merkitys metsien käyttömuotona on noussut. Kuusela (1974) on tarkastellut suojametsäalueen metsävaroja ja niiden merkitystä. Lapin Metsä-2000 mietinnössä (Varmola 1988) on selvitelty myös metsänrajametsiä ja niiden käyttöä.

Suojametsälaissa (L 196 /1922) ja sen nojalla annetuissa alemmissa säädöksissä asetettiin suojametsäalueella sijaitsevien metsien hakkuut muita alueita tiukemman valvonnan ja lupamenettelyn alaisiksi. Metsänrajametsien hakkuista ovat antaneet suosituksia tai ohjeita mm. Renvall (1919), Lassila (1920), Heikinheimo (1921), Oinonen ym. (1960) ja Metsähallitus ohjekirjeissään useaan otteeseen (viimeisin: Metsähallitus 1991).

Ruotsissa on 1980-luvun alusta lähtien käyty keskustelua tunturienläheisten metsien, "fjällnärä skogar", käytöstä. "Fjällnärä skogar" tarkoittaa Kölivuoriston alpiinisen metsänrajan ja Domänverketin entisen metsänviljelyrajan "skogsodlingsgräns" välistä aluetta, johon kuuluu kasvullista metsämaata, kitumaata sekä joutomaata (Skogsstyrelsen 1989). "Skogodlingsgräns" määriteltiin 1950-luvun alussa. Tarkoituksena oli rajata biologis-taloudellisin perustein väliaikaisesti metsätalouden ulkopuolelle korkealla olevat, vaikeasti uudistettavat metsät (Höjer 1954). Domänverket poisti rajan vuonna 1982, mutta metsänhoitolain soveltamisessa raja koskee kaikkia maanomistajia.

"Fjällnära skogar"- alueella on kasvullista metsämaata noin 1,5 milj. hehtaaria ja puuston tilavuus on noin 120 milj. m³. Kuusen osuus tilavuudesta on 58 % ja männyn 21 %. Alueesta on suojeltu luonnonsuojelusäädöksillä 32 % (Kardell & Ekstrand 1990). Käytön vaihtoehdoista on tehty myös kansantaloudellisia selvityksiä (Bostedt & Öström 1990). Hyvän kuvan asiaan liittyvistä näkökohdista antavat kokousesitelmät vuodelta 1985 (Fjällnära skogars utnyttjande ... 1985) sekä Ruotsin Luonnonsuojeluyhdistyksen julkaisema kirja "Fjällskog" (Larsson 1987).

Norjassa metsänrajametsistä käytetään nimeä "fjellskog". Niillä tarkoitetaan metsiä, joissa ilmastotekijät, varsinkin lämpötila ja tuuli vaikuttavat rajoittavasti puiden kehitykseen ja uudistumiseen. Norjan maanmittauslaitos on arvioinut metsänrajan pituudeksi 47 000 km. Kun "fjellskog"-vyöhykkeen keskileveydeksi oletetaan 500 metriä saadaan niiden pinta-alaksi 23 500 km², mikä on 20–25 % maan metsäpinta-alasta (NOU 1989). Näin Pohjoismaista Norjassa on metsänrajametsien suhteellinen merkitys suurin. Tunturimetsien metsätalouden toimintaperiaatteita on viime vuosina tarkistettu (NOU 1989, Landbruksdepartementet & Det Norske Skogselskap 1993).

Venäjän metsävarojen ja metsätalouden selvityksinä tehneistä voidaan mainita esimerkiksi Tseplyaev (1965), Barr & Braden (1988) ja Nilsson ym. (1992). Venäjän metsänrajametsistä antaa hyvän kuvan Èertovskojn ym. (1987) laatima selvitys, jonka mukaan Venäjällä metsänrajametsiä ovat "predtundrovye lesa" eli tundran edessä olevat metsät. Niiden pinta-ala on 45 milj. hehtaaria, josta 47 % on metsän peitossa. Euroopan puolella niistä on 24 %. Puuston kokonaistilavuus on 1400 milj. m³, josta 95 % on havupuuta. Vanhojen metsien osuus on 77 % ja metsistä valtaosa on luonnontilaisia. Murmanskin alueen metsät ovat Venäjän metsänrajametsistä olleet pisimmän aikaa ja laajimmin metsätalouden piirissä. Hakkuut ovat kohdistuneet pääasiassa männiköihin, joiden suunnite on ylitetty selvästi. Hakkuusuunnite on nykyisin 875 000 m³ vuodessa, kun se 1970-luvulla oli yli 1,5 milj. m³ vuodessa. Hakkuutapojen kehittäminen avohakkuista valintahakkuiden suuntaan on ajankohtainen kysymys (Semjonov 1993).

5.2 Porotalous

Porotalous on yksi tärkeimmistä elinkeinoista metsänraja-alueella Suomessa ja koko Fennoskandiassa sekä muuallakin sirkumpolaarisella vyöhykkeellä. Porot pystyvät hyödyntämään eri vuodenaikoina tehokkaasti sekä metsäalueita että metsänrajojen "takana" sijaitsevia puuttomia alueita. Porotalous on myös vilkkaan tutkimustoiminnan kohde. Yliniemi (1974) laati Lapin Tutkimusseuran toimeksiannosta selvityksen Suomessa tehdystä porotalouteen kohdistuvasta tutkimuksesta. Yliniemen selvitykseen kuuluvat selkeä porotutkimuksen luokitus, luettelo tärkeimmistä porotutkimusta harjoittavista laitoksista ja tutkijoista sekä bibliografiset tiedot tutkimusjulkaisuista esitettyinä mainitun luokituksen mukaisessa järjestyksessä. Niemisen (1983) niinikään Suomen porotutkimusta kokonaisuutena tarkastelevassa julkaisussa painopisteet ovat porotutkimuksen historiassa ja kehittämisehdotuksissa. Vakinaisia, porotutkimukseen keskittyviä tutkijoita on sekä Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksessa että Metsäntutkimuslaitoksessa. Hytösen (1992) metsien monikäytön tiivistelmäbibliografiassa mainitaan kolmisenkymmen-

tä porotutkimuksiin liittyvää viitettä. Suomen porotaloudesta on laadittu kokonaisvaltainen selvitys oppikirjamuotoon (Huttu-Hiltunen ym. 1993).

Porotalouden metsänrajametsiin kohdistuvien vaikutusten arviointi edellyttää porotalouden toimintatavan ja laajuuden tuntemusta. Porotalouden järjestelmät ovat eri alueilla hyvin erilaisia ja ajan myötä menetelmät ovat muuttuneet. Skaugen (1993) esittämien tietojen mukaan Pohjoismaiden poroluvut ovat seuraavat: Suomi 410 000, Norja 220 000 ja Ruotsi 295 000. Kaikissa näissä maissa ylilaiduntaminen on ongelma ja varsinkin Finnmarkin tilannetta pidetään huolestuttavana. Venäjällä arvioitiin olevan noin 3 milj. poroa suunnilleen 3 milj. neliökilometrin laajuisella tundra-alueella (Andreev 1981).

Porotalouden vaikutus metsänrajametsiin on ollut tutkijoiden mielenkiinnon kohteena varsin pitkään. Vuosisadan vaihteen metsävirkamiehet ja metsäntutkijat näkivät porotalouden yhtenä vakavimmista metsänrajan vetäytymistä aiheuttavista tekijöistä ilmastollisten seikkojen, metsäpalojen ja ryöstöhakkuiden ohella. Porojen katsottiin erityisesti tuhoavan männyn taimia ja siten vaikeuttavan muutenkin riskialtista männyn luontaista uudistumista. Porotaloudelle esitettiin niin jyrkkiä rajoituksia, että niiden toteutuessa sen harjoittaminen olisi vaikeutunut merkittävästi ja supistunut huomattavasti tai käynyt jopa mahdottomaksi (Sandberg 1898, Komiteanmietintö 1910, Renvall 1919, Joona 1993).

Jyrkät näkemykset lieventyivät vähitellen. Sekä metsätalouden että porotalouden harjoittaminen metsänraja-alueilla jäsentyivät selkeämmille urille useiden komiteoiden työn edetessä ja johtaessa lainsäädännön ja toimintaohjeiden kehittymiseen. Porotalouteen kohdistunutta kritiikkiä vähensi osaltaan myös se seikka, että metsän uudistuminen onnistui paremmin suotuisamman ilmastojakson ansiosta 1920-luvulta eteenpäin. Myös porojen myönteinen vaikutus maan valmistajina luontaiselle uudistumiselle on tuotu esiin (Saastamoinen 1977b, Helle & Moilanen 1993). Avarampia näkökulmia edustavia selvityksiä, joissa porotaloutta tarkastellaan maankäyttömuotona muiden joukossa, ovat laatineet esimerkiksi Pohtila (1970) ja Saastamoinen (1977a, 1982a). Suomen Luonnon porotaloutta koskevan teemanumeron (2/1977) artikkelien kirjoittajat käsittelevät porotaloutta monesta mielenkiintoisesta näkökulmasta; useat heistä sivuavat myös metsänrajaan liittyviä kysymyksiä.

Ruotsissa on myös tutkittu ahkerasti poronhoidon ja metsätalouden suhdetta sekä käyty vilkasta keskustelua. Aihepiiriin liittyvistä julkaisuista on paikallaan mainita metsähallituksen järjestämän tutkimusseminaarin raportti (Skogsstyrelsen 1988) ja Gustavssonin (1989) teos, jossa tarkastellaan porotaloutta ja saamelaiskysymyksiä kokonaisvaltaisesti. Mattsson (1983) ja Bäck (1993) ovat selvitelleet porotalouden ja muiden maankäyttömuotojen suhteita. Myös Norjassa (Schaanning Kollström 1987) ja Venäjällä (Andreev 1954, Tikhomirov 1962) on selvitelty porotalouden vaikutuksia metsänrajametsiin.

Joonan (1993) poronhoito-oikeutta maankäyttömuotona käsittelevä teos käy paitsi oikeustieteellisestä selvityksestä myös porotalouden historiasta hallinnollisesta näkökulmasta tarkasteltuna. Metsänraja-alueisiin liittyviä asioita on teoksessa runsaasti, mm. suojametsälainsäädännön kehitys sekä luonnonsuojelu- ja virkistysalueiden vaikutus porotalouteen.

5.3 Virkistyskäyttö

Metsänraja-alueet, varsinkin tunturiseudut koko Fennoskandiassa, ovat vuosikymmenien ajan olleet retkeilijöiden suosiossa. Laskettelurinteiden ja Lapin nykyisen tieverkon rakentaminen ovat mahdollistaneet matkailun kehittymisen huomattavan laajaksi liiketoiminnaksi. Matkailuelinkeino on merkittävällä sijalla metsänraja-alueiden väestön toimeentulon muodostumisessa. Toisaalta matkailulla on selviä haittavaikutuksiakin. Esimerkkeinä mainittakoon laskettelukeskuksiin liittyvät maankäyttö-ongelmat. Metsänraja-alueiden maasto on arka kulumiselle myös polkujen, kelkkareittien ja näköalapaikkojen kohdilla. Myös virkistyskäytön, metsätalouden ja porotalouden samalle alueelle sovittamisessa on esiintynyt ongelmia. Erämaaelämyksen tarjoaminen kasvavalle joukolle retkeilijöitä on haaste, johon on vaikeata löytää toimivaa ratkaisua (Saastamoinen 1977a, 1982a, Hallikainen & Jokimäki 1992, Hallikainen 1993, Saarinen 1994).

Virkistyskäytöstä on julkaistu runsaasti selvityksiä, jotka pureutuvat johonkin tiettyyn erityisongelmaan tai paikallisiin kysymyksiin. Osa näistä kohdistuu selkeästi metsänraja-alueille (Saastamoinen 1982a). Matkailijamääriä sekä matkailun tuottoa ym. talouteen liittyviä lukuja tilastoivat mm. opastuskeskukset, matkailuyritykset ja useat julkiset organisaatiot.

5.4 Muut luontaiselinkeinot

Metsästys ja kalastus sekä marjojen ja sienien keruu ovat tärkeimmät metsänraja-alueilla harjoitettavat luontaiselinkeinot. Niiden keskinäinen merkitys vaihtelee sen mukaan, millaiset mahdollisuudet kukin alue tarjoaa. Saalistilastot on yleensä laadittu kunnittain tai niitäkin suurempia yksikköjä kohti, joten tietojen saaminen metsänrajan lähialueista on työlästä. Jatkuvaa seurantaa metsänrajalla ja sen molemmin puolin ei tiettävästi tehdä Suomessa eikä ulkomailla. Metsästäjäin keskusjärjestö sekä Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos tekevät riista- ja kalasaaliita koskevia tilastoja. Poronlihan tuotantoa koskevat tilastot kerää Paliskuntain yhdistys. Pellervon taloudellinen tutkimuslaitos kerää marja- ja sienisaaliiden tilastoja. Riekonpyynnin merkityksestä pohjoisissa kunnissa on Niemi (1992) laatinut kokonaisvaltaisen selvityksen. Lapin metsä 2000-julkaisussa (Varmola 1988) on tietoja myös luontaiselinkeinoista.

5.5 Monikäytön tutkimus

Monikäytön suunnittelu, kehittäminen ja tutkimus edellyttävät kokonaisvaltaista ja monitieteellistä näkökulmaa. Pelkästään yhden käyttömuodon, esimerkiksi metsätalouden kehittämisestä lähtevä tutkimus jää aina joltakin osin puutteelliseksi. Tutkimuksia ja selvityksiä, joissa tarkastelun pohjana olisi nimenomaan monikäyttö ilman varauksia jonkin tietyn käyttömuodon suuntaan, kaivattaisiin lisää. Lapin seutukaavaliitto on teettänyt äskettäin tämäntyyppisen selvityksen, joka kattaa koko Lapin alueen (Lapin seutukaavaliitto 1992).

Puunkäyttöä, poronlihan tuotantoa, riista- ja kalasaaliita sekä keräilytuotteiden määriä koskevat tilastot laaditaan yleensä kuntia tai suurempia hallintoyksiköitä koskeviksi. Tietojen kohdistaminen metsänraja-alueisiin on toki mahdollista, mutta työlästä. Käytännön merkitystä olisi esimerkiksi metsänrajavyöhykkeen maankäyttömuotojen taloudellisella vertailulla taustatietona mahdollisille tuleville yrityksille metsittää nykyisiä puuttomia alueita. Esimerkkinä tällaisesta selvityksestä mainittakoon Saastamoisen (1982a) Saariselän metsä- ja tunturialueen monikäytön ekonomiaa tarkasteleva tutkimus.

Metsien monikäytön tutkimuksesta vuosina 1970–1990 on Marjatta Hytönen (1992) laatinut hyvän, käyttömuodoittain jaotellun tiivistelmäbibliografian.

6 Suojametsäalueet

Metsänrajojen alenemista ja vetäytymistä on tapahtunut ilmaston kylmenemisen ja ihmisen toiminnan ansiosta kautta historiallisen ajan. Suojavyöhykkeiden merkitys eroosiota, lumi- ja maanvyöryjä sekä tuulta vastaan tunnettiin jo Rooman valtakunnan aikaan. Kirjallisia määräyksiä ja säädöksiä, joilla rajataan metsien käyttöä niiden säilymiseksi ja suojavaikutuksen ylläpitämiseksi, on säilynyt myöhäiskeskiajalta alkaen (Hasel 1985, Mantel 1990). Omistusoikeus ja paikallinen traditio metsien käytön suhteen vaikuttavat suojametsien syntyyn ja säilymiseen voimakkaasti. Alueilla, joilla puu on yksinomainen tai tärkein energianlähde, on kokemusperäisesti lähes mahdotonta saada suojametsiä säilymään koskemattomina kansan tietoisuutta ja asenteita kohentamalla. Lainsäädäntö yhdistettynä tehokkaaseen viranomaisten valvontaan näyttää olevan ainoa toimiva menettelytapa, jolla on omat valitettavat varjopuolensa. Suojametsälainsäädännön synnystä ja varhaiskehityksestä useissa maissa antaa kattavan kuvan Laitakarin (1928) eri maiden metsälainsäädäntöä esittelevä katsaus.

Vuoristoseuduilla alpiinisen metsänrajan tuntumassa suojametsillä on erityinen merkitys eroosion ja lumivyöryjen ehkäisijöinä. Varsinkin Keski-

Euroopan vuoristojen suojametsien hoidolla on pitkät perinteet sekä käytännön että tutkimuksen osalta (Mayer & Ott 1991).

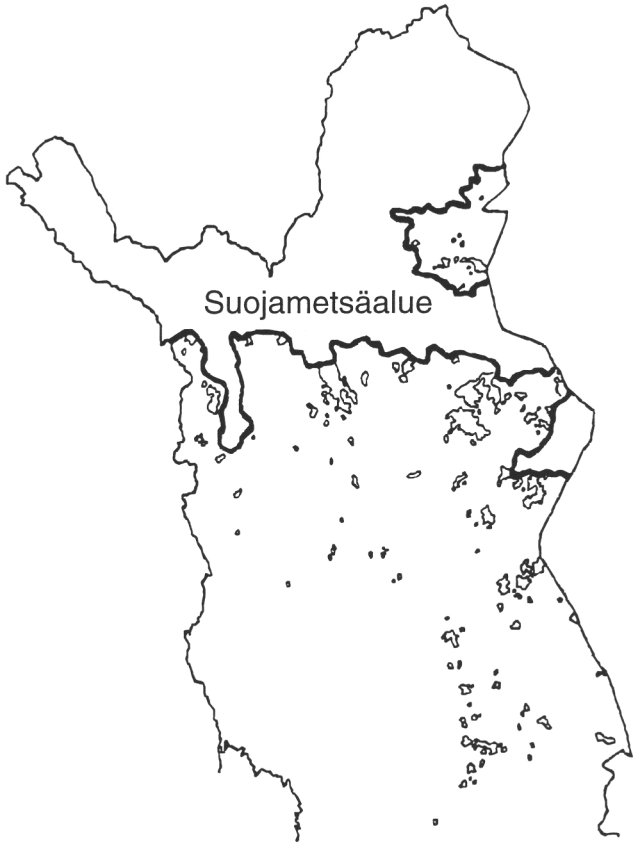
Suomessa ryhdyttiin viime vuosisadan vaihteessa määrätietoisesti ajamaan hanketta suojametsävyöhykkeen perustamiseksi metsänrajan läheisyyteen. Hanke lähti liikkeelle metsähallituksen virkamiesten ja eräiden tutkijoiden havaitsemasta metsänrajan vetäytymisestä, jonka todettiin tapahtuneen suurelta osin ihmisen toiminnan tuloksena. Jo 1800-luvulla oli senaatti antanut useita yksityiskohtaisia määräyksiä Utsjoen metsien käytöstä (Laitakari 1928). Ruotsin, Norjan ja Venäjän esimerkki suojametsälainsäädännön kehittämisessä 1800-luvun lopulla (Komiteanmietinnöt 1900 ja 1910, Laitakari 1928) edisti myös hanketta. Vuosisadan vaihteen molemmin puolin esiintyneet epäedulliset sääolot vaikeuttivat metsänrajametsien uudistumista ja lisäsivät osaltaan painetta suojametsävyöhykkeen perustamiseen (Komiteanmietintö 1910, Renvall 1919).

Suojametsälaki säädettiin vuonna 1922 (L 196/1922). Se on Suomen vanhin voimassaoleva luonnonsuojelusäädös. Lakia sovelletaan, paitsi metsänraja-alueella, soveltuvin osin (tiettyjä yksityiskohtia) myös koko maassa. Suojametsäalue on määrätty valtioneuvoston päätöksellä vuonna 1939. Se käsittää yhdeksän Lapin kunnan alueella yhteensä 3 150 000 ha maata, josta 95 % on valtion omistuksessa. Laissa määriteltyjä metsänkäyttörajoituksia valvovat valtion mailla metsähallitus ja yksityismailla metsälautakunta. Suojametsälain tulkinnasta ja suojametsäalueella tehtyjen toimenpiteiden laillisuudesta on tehty joitakin kanteluja sekä tiedusteluja oikeuskanslerille ja valtioneuvostolle (Kirje valtioneuvostolle 1982). Niiden johdosta ei ole ryhdytty mainittaviin toimenpiteisiin. (Kiviniemi 1992).

Suojametsäalueella harjoitetaan puuntuottamista tähän tarkoitukseen sopivissa metsiköissä erityistä varovaisuutta noudattaen. Hakkuissa noudatetaan edelleen Oinosen, Sarvaksen ja Sirénin (1960) laatimien Lapin suojametsien käsittelyohjeiden periaatteita. Metsänviljelyä suojametsäalueella on harjoitettu 1910-luvulta alkaen. Pohtila & Timonen (1980) laativat selvityksen eri vuosikymmeninä viljeltyjen taimikoiden kasvusta ja kunnosta. He katsovat metsänviljelyyn olevan aihetta lähinnä luontaisen uudistumisen täydentäjänä sekä kokeilutoimintana. Metsähallituksen (1991) metsänhoito-ohjeessa uudistamismenetelmäksi suositellaan pääsääntöisesti siemenpuu- ja kaistale-siemenpuuhakkuuta. Metsähallitus (1992) on laatinut myös ohjeet erämaametsien luonnonmukaista metsänkäsittelyä varten.

Norjassa on äskettäin annettu uudet suojametsien hallintoa ja käsittelyä koskevat ohjeet selkeine metsänrajamääritelmineen (Landbruksdepartementet, Skogavdelningen 1992).

Myös Venäjällä on uudistettu metsälainsäädäntöä (Osnovy lesnogo ... 1993); tundranläheisissä suojametsissä sallitaan vain harvennustyyppiset hakkuut. On esitetty, että tulisi kehittää erityinen "tundranläheisen metsänhoidon" suunta, missä painottuvat suojelutavoitteet (Cvetkov 1989, Semjonov 1993).



Kuva 5. Suojametsäalue (paksu rajaviiva) sekä korkeat alueet. Lähde: Ympäristöministeriö.

7 Metsänrajametsien käsittely

7.1 Metsägenetiikka ja metsänjalostus

Metsänrajametsien puulajien geneettinen vaihtelu ja sen hyödyntäminen käytännön metsänhoidossa kiinnostaa jalostustutkijoita koko sirkumpolaarisella alueella. Vielä 1970-luvulla katsottiin geneettisen vaihtelun pohjoisilla alueilla olevan vähäistä (Sarvas 1970b, Stern & Roche 1974). Uudempi tutkimus on ainakin männyn osalta osittain kumonnut tämän näkemyksen (Tigerstedt 1979, Rousi 1983, Kärkkäinen 1990, Harju 1991).

Sopeutuminen ankaraan ilmastoon, johon liittyvät tärkeimpinä kynnystekijöinä kasvukauden lyhyys ja sen aikaiset hallat sekä hyvin alhaiset lämpötilat talvella, on toinen jalostustutkijoiden mielenkiinnon kohde. Lindgren

(1993) on laatinut mielenkiintoisen teoreettisen tarkastelun valintajalostuksen mahdollisuuksista sopeutumisen parantamisessa. Myös taudinkestävyyttä edistävää sopeutumista on mahdollista nopeuttaa valintajalostuksen keinoin (Ruotsalainen 1992).

Provenienssi- eli alkuperäkokeilla on Keski-Euroopassa jo parisataavuotinen historia. Pohjois-Suomessa alkuperäkokeet aloitettiin 1930-luvulla. Eri puulajien alkuperäsiirrot etelästä pohjoiseen tai päinvastoin sekä niiden vaikutus jalostajia kiinnostaviin puiden tärkeimpiin ominaisuuksiin ovat olleet ahkeran tutkimuksen kohteina (Kalela 1937, Remröd 1976, Lindgren 1985, Mononen 1987, Ruotsalainen 1987). Laajamittaisesta tutkimuksesta huolimatta Pohjois-Suomea koskevia siemensiirto-ohjeita ei ole uudistettu pitkään aikaan. Luotettavaa aineistoa niiden laatimiseen olisi runsaasti käytettävissä.

Yksilötason vaihtelua on Pohjois-Suomessa tutkittu lähinnä männyllä. Pluspuujälkeläistöjen välinen vertailu sekä jälkeläistöjen vertaaminen metsikköeriin käsittävät lähinnä eloonjäämisen, kasvun ja kestävyysominaisuuksien tarkastelua. Nämä kokeet vaativat hyvin pitkän tarkastelujakson, ennen kuin luotettavia tuloksia saadaan. Toistaiseksi tulokset ovat olleet jonkin verran toisistaan poikkeavia. Suomalaisia jälkeläiskokeita koskevia selvityksiä ovat julkaisseet mm. Nikkanen (1982), Rousi (1983), Venäläinen (1990), Mikola (1991) ja Ruotsalainen (1992).

7.2 Metsänuudistaminen

Metsänrajojen aleneminen tai vetäytyminen herättää kaikkialla, missä sitä tapahtuu, voimakkaan tarpeen puuttomien alueiden uudelleen metsittämiseen sekä jäljellä olevien metsänrajametsien säilymisen ja uudistumisen varmistamiseen. Tutkijoissa ja metsäammattilaisissa syntyy vahva velvollisuudentunto tilanteen korjaamiseksi erityisesti sellaisissa tapauksissa, joissa ihmisen toiminta aiheuttaa metsien häviämistä. Edellä kuvatun kaltainen tilanne vallitsi viime vuosisadan lopulla Fennoskandian pohjoisosien metsänrajametsissä (Sandberg 1898, Komiteanmietinnöt 1900 ja 1910, Renvall 1919). Mainituissa julkaisuissa esitetyt käytännön toimenpiteet painottuvat suojametsäalueen perustamiseen sekä hakkuiden, kulojen ja porotalouden valvontaan. Renvall esittää julkaisussaan myös metsänhoito-ohjeet. Niissä hän korostaa varovaisia hakkuita ja harvoin esiintyvien siemenvuosien tuottaman mäntynuorennoksen vaalimista. Renvall aloitti metsänrajaseuduilla viljelykokeilut mm. Näätämöjoen Harrisuvannossa. Itse hän ei korosta viljelyn merkitystä julkaisuissaan, mutta hänen kokeensa ovat olleet myöhemmin useiden tutkijoiden mielenkiinnon kohteena. Venäjällä on 1950-luvulta lähtien ryhdytty viljelemällä edistämään metsän etenemistä tundralle (Andreev 1954, Krjučkov 1984). Norjassa on laaja ohjelma koivikoiden muuttamiseksi tuottaviksi havumetsiksi (Bergan 1989). Islannin metsien palautta-

minen viljelemällä on niinikään mittava hanke (Blöndal 1993, Loftsson 1993). Alpiinisten metsänrajojen metsänviljelytoiminnan selvityksistä ovat hyviä esimerkkejä Douguédroitin (1978) kuvaus Etelä-Ranskasta ja Pitterlen (1985) laatima Alpeilla tehtyjen metsitysten historiallinen tarkastelu.

Suunnilleen Renvallin aluemetsänhoitajakaudesta alkoi suotuisa, selvästi aikaisempia lämpimämpien kasvukausien jakso, joka jatkui 1960-luvulle saakka (Mikola 1971, 1979). Metsäntutkijat ja käytännön metsäammattilaiset saivat aikaisemman pessimismin tilalle uutta uskoa metsänrajametsien uudistamisen mahdollisuuksiin sekä luontaisesti että viljelemällä. Tutkijat perustivat ahkerasti uusia kokeita ja seurasivat kiinteästi vanhojen ja uusien taimikoiden kehitystä (Nuorteva 1948, Mikola 1952, 1959, 1970, 1971, 1978, 1979, Sirén 1960, 1961, 1987, 1991, 1993a, 1993b, Etholén 1972, Pohtila & Timonen 1980, Numminen 1981, Leikola 1987, Valkonen 1992). Erityisesti Mikolan julkaisujen sarja antaa hyvän kokonaiskäsityksen siitä, miten asenne metsänuudistamista, erityisesti puuttomien alueiden metsittämistä kohtaan kehittyi ilmaston vaihtelun myötä. Aluksi metsäntutkijat, erityisesti Renvall, asennoituivat mahdollisuuksiinsa varsin pessimistisesti. Myöhemmin optimismi lisääntyi voimakkaasti, erityisesti 1950-luvulla. 1960-luvulta alkaen esiintyneet kylmät kesät metsänuudistamista vaikeuttavine vaikutuksineen palauttivat varovaisen asennoitumisen tutkijoiden näkemyksiin (Leikola 1979). Tekeillä olevista tutkimuksista on paikallaan mainita Utsjoen Kevolle ja Syysjärvelle sijoitetut metsänrajapuistot (*forest line arboretum*). Ne perustettiin vuosina 1984–85 Turun yliopiston, Metsähallituksen ja Metsäntutkimuslaitoksen toimesta. Puistoihin istutettiin Pohjois-Amerikasta, Neuvostoliiton Kaukoidästä ja Pohjois-Suomesta kerätyistä siemenistä kasvatettuja taimia. Kaikkiaan 15 metsänrajalla esiintyvää puulajia on edustettuina. Puistojen tarkoituksena on selvittää eri puulajien ja näiden eri alkuperien menestymistä Pohjois-Suomen metsänrajaoloissa (Kallio ym. 1983, 1986, Hagman 1993).

Maankäsittelystä pohjoisilla uudistusaloilla ovat julkaisseet viljelykokeisiin perustuvia selvityksiä mm. Wibeck (1959), Pohtila (1977, 1987), Cvetkov & Semjonov (1985) ja Ritari (1987).

Ruotsin metsänrajaseutujen metsänuudistamiseen ovat liittyneet vilkas keskustelu ja tiuhaan toistuvat lakiuudistukset sekä erilaiset toimintaohjeet viime vuosisadalta lähtien (Ebeling 1979, Bäckström 1984, Fjällnära skogars... 1985, Linder 1987, Olofsson 1989, Skogsstyrelsen 1989).

Norjassa ovat metsänrajametsien uudistamiseen liittyviä esityksiä laatineet mm. Børset (1981), Haveraaen (1987) Bergan (1989). Børset (1994) on tehnyt yhteenvedon tunturimetsien käsittelyn kehityksestä. Venäläisistä esityksistä on paikallaan mainita Cvetkovin & Semjonovin (1985) mäntyä käsittelevä teos. Hall'in (1987) seminaariesitelmässä paneudutaan Pohjois-Amerikan metsänrajametsien uudistamisen rajoituksiin.

Ilmastotekijöiden, erityisesti lämpötilojen huomioonottaminen metsänuudistamisen suunnittelussa ja toteuttamisessa on metsänrajametsissä välttä-

mätöntä. Eri maissa käytetään jonkin verran toisistaan poikkeavia tunnuksia esimerkiksi puulaji- ja viljelyrajojen määrittämiseen (Perttu 1972, Sarvas 1970b, Odin ym. 1983, Bergan 1989, Metsähallitus 1991).

Metsänrajametsien uudistaminen on koonnut viime vuosikymmeninä alan tutkijat lyhyin väliajoin mm. IUFROn järjestämiin seminaareihin. Näiden seminaarien raportit sisältävät huomattavan määrän tuoretta ja käyttökelpoista tietoa metsänrajametsien uudistamisen ongelmista (mm. Martinsson ym. 1989, Proceedings...1987). Joihinkin raporttien esitelmistä on viitattu erikseen, mutta myös viittausta vaille jääneissä on runsaasti uudistamisen aihepiiriin liittyvää käyttökelpoista tietoa.

7.3 Metsän kasvatus puuntuotannon ja muiden käyttömuotojen kannalta

Metsänrajametsien taimikonhoitoa ja hakkuita koskevia kotimaisia selvityksiä ovat julkaisseet mm. Renvall (1919), Lassila (1920), Heikinheimo (1921) sekä Oinonen ym. (1960). Valtion mailla voimassa olevat metsänkäsittelyohjeet on uudistettu viimeksi pari vuotta sitten (Metsähallitus 1991). Mattila & Kujala (1980) pitävät tarpeellisena hakkuiden kohdentamista vanhoihin metsiin ja käyttökelpoiseen luonnonpoistumaan kehitysluokkarakenteen korjaamiseksi.

Metsänraja-alueella korostuu puuntuotantoa edistävän metsänkäsittelyn ohella tarve muiden metsänkäyttömuotojen huomioonottamiseen metsien käsittelyssä. Inarin ja Utsjoen alueella muiden käyttömuotojen tuotto on suurempi kuin puuntuotannon. Edelleen, muihin käyttömuotoihin liittyy paljon sellaisia arvoja, joiden mittaaminen raha-arvoina on vaikeaa tai mahdotonta. Lapin Metsä 2000 -ohjelmassa on perusteellinen selvitys eri käyttömuotojen taloudellisesta merkityksestä, työllisyysvaikutuksista sekä väestön suhtautumisesta näihin. Ohjelmassa on myös pohdittu sitä, millä tavoin metsiä tulisi käsitellä kunkin käyttömuodon mahdollisuuksien takaamiseksi (Varmola 1988). Erämaametsien eri käyttömuotojen arvoa ja rinnakkain esiintymistä on pohtinut Kauhanen (1988).

Vieraiden puulajien viljeleminen ja kasvattaminen metsänrajametsissä sekä mahdollinen niiden avulla tapahtuva puuttomien alueiden metsittäminen ovat kiinnostaneet tutkijoita kaikkialla maailman metsänrajaseuduilla. Kallio (1990) katsoi "lopullisen metsänrajan" löytyvän vasta, kun kaikkia mahdollisia puulajeja on kokeiltu kaikilla mahdollisilla kasvupaikoilla. Hän lisäsi ajatuksensa tueksi sen huomion, että esimerkiksi meidän polaarisella metsänrajallamme kyseeseen tulevia puulajeja ei ole kuin tusinan verran.

8 Metsänraja-alueiden maankäytön suunnittelu

8.1 Kaavoitus

Maankäytön suunnittelu vaihtelee eri maissa tavoitteiden, menetelmien ja tehokkuuden suhteen huomattavasti. Tässä yhteydessä pitäydytään tarkastelemaan asiaa lähinnä kotimaassa. Metsänraja ei esiinny seutukaavassa tai detaljikaavoissa erillisenä suunnitteluobjektina tai selkeänä suunnittelua ohjaavana tekijänä. Suunnitelmien perustana ovat enimmäkseen hallinnolliset seikat, lähinnä kuntajako. Välillisesti metsänrajalla on merkitystä yhdyskuntasuunnittelussa mm. suojametsävyöhykkeen ja suojelualueiden kautta (Lapin seutukaavaliitto 1990). Ruotsissa ja Norjassa kaavoituksen järjestelmät ovat periaatteessa samankaltaisia kuin Suomessa. Ruotsissa on normaalin kaavoituksen lisäksi kuntakohtaisilla maankäytön erityissuunnitelmilla sovitettu yhteen metsätalouden, porotalouden, luonnonsuojelun, virkistyskäytön ja kulttuurin näkökohtia (Skogsvårdsstyrelsen... 1990).

Metsät ja metsätalous esiintyvät seutukaavoissa valtakunnallisesti tarkasteltuna lähinnä maareservin muodossa. Muihin elinkeinomuotoihin verrattuna niistä on melko vähän mainintoja kaavojen kartoissa ja tekstiosissa. Osittain tämä johtuu siitä, että metsätalouden eri tasojen suunnittelutehtävät on selkeästi osoitettu metsä- ja luonnonsuojeluviranomaisille.

Lapin seutukaavaliitto tekee myönteisen poikkeuksen edellä sanottuun. Se on laatinut alueen metsiä kestävän kehityksen näkökulmasta tarkastelevan kokonaisselvityksen, joka sisältää myös kolme skenaariota metsien ja metsätalouden tulevaisuudesta (Lapin seutukaavaliitto 1992).

8.2 Luonnonsuojelualueet ja erämaat

Metsänraja-alueilla sijaitsee pääosa Suomen luonnonsuojelualueista. Myös muissa Pohjoismaissa, Pohjois-Amerikassa, Venäjällä ja muissakin valtioissa metsänraja-alueilla on laajoja luonnonsuojelualueita. Pohjoismainen ministerineuvosto on laatinut selvityksen Pohjolan luonnontilaisista metsistä (Nordiska ministerrådet 1994). Norjassa on vastikään julkaistu luonnonsuojelun tilannetta arktisilla alueilla (Kanadassa, Grönlannissa, Suomessa, Islannissa, Norjassa, Venäjällä, Ruotsissa ja Yhdysvalloissa) kuvaava raportti (Directorate for Nature Management 1993). Julkaisussa on kuvattu selkein värikuvin koko sirkumpolaarisen vyöhykkeen suojelualueet. Ruotsin suojelutilanteesta antaa hyvän kuvan Kardell & Ekstrandin (1990) selvitys. Norjassa on tehty suunnitelmat sekä havumetsien suojelusta (Direktoratet for naturforvaltning 1988) että kansallispuistoverkoston laajentamisesta (Miljöverndepartementet 1992), jotka molemmat koskevat merkittävästi myös metsänraja-alueita. Direktoratet for naturforvaltning (1992) on laatinut sel-

vityksen Norjan luonnonsuojelualueiden kehityksestä. Suomen rajalla olevan Pasvikin kansallispuiston laajentamista on tarkastellut Hoffmann (1986). Venäjän pohjoisten alueiden luonnonsuojelualujärjestelmää ja sen kehittämissuunnitelmia ovat selvitelleet Krjučkov ym. (1988), Krjučkov & Kondratovič (1988), Makarova & Kondratovič (1992) ja Kalabin (1993).

Suomen ja koko läntisen Euroopan suurimmat yhtenäiset erämaa-alueet sijaitsevat pohjoisilla metsänraja-alueilla. Suomen alueella sijaitsevat erämaat jatkuvat yhtenäisinä Norjan, Ruotsin ja Venäjän alueille. Niiden säilyttämisestä luonnontilassa on käyty ajoittain kiivastakin keskustelua viime vuosikymmeninä. Aihepiiristä on julkaistu huomattava määrä artikkeleita, kirjoja, mielipidekirjoituksia sekä radio- ja TV-dokumentteja. Tässä yhteydessä ei ole mahdollista luoda edes suppeaa katsausta tähän aineistoon. Keskustelussa ovat korostuneet toisaalta "viimeisten erämaiden" suojelutarpeet, toisaalta pelko suojelun loputtoman tuntuisen laajenemisen kielteisiä vaikutuksia kohtaan. Paikalliset asukkaat ja Metsähallitus ovat nähneet runsaasti varjopuolia suojeluvarauksissa: työpaikat vähenevät, talousmetsien ala pienenee ja sen myötä puuntuotannon mahdollisuudet heikkenevät, kuntien verotulot laskevat, metsästys- ja kalastusoikeuksia rajoitetaan jne. Asiasta käyty keskustelu on johtanut monin tavoin myös käytännön tuloksiin ja toimenpiteisiin. Vuonna 1991 säädettiin erämaalaki, jossa määritellään tietyt valtion omistamat alueet erämaa-alueiksi. Kyseessä on yhteensä 1,5 miljoonan hehtaarin suuruinen alue seitsemän kunnan alueella. Alueet ovat Metsähallituksen hallinnassa ja hoidossa. Erämaa-alueet säilytetään lain mukaan luonnontilaisina tai niillä harjoitetaan luonnonmukaista metsänhoitoa metsähallituksen laatimien käsittelyohjeiden mukaisesti (Metsähallitus 1992).

Erämaiden tutkimusta tehdään mm. Lapin yliopiston Arktisessa keskuksessa ja Metsäntutkimuslaitoksen Rovaniemen tutkimusasemalla. Tutkimusohjelma on monitieteellinen; erämaakysymyksiä tarkastellaan mm. ekologisesta ja sosiaalisesta näkökulmasta (Hallikainen & Jokimäki 1992).

Ruotsin metsänrajametsien käsittelystä on käyty voimakasta keskustelua moneen otteeseen. Svenska Naturskyddsföreningenin vuosikirjassa (Larsson 1987) on asiaa monipuolisesti valottava artikkelikokoelma. Venäjän metsälainsäädäntö on vastikään uusittu, ja suojeltavat metsät sekä suojelualueet on selkeästi määritelty (Krjučkov ym. 1988, Osnovy... 1993).

9 Metsänraja ja ihminen

Metsänrajan merkitystä ihmisen kulttuurille ja taloudelle sekä ihmisen ja luonnon vuorovaikutusta on luonnontieteellisen tutkimuksen lisäksi selvitetty ainakin historian, kulttuuriantropologian, sosiologian ja taloustieteiden tarkastelukulmia ja menetelmiä käyttäen. Jo kolmattasataa vuotta sitten Lap-

piin tutkimusmatkoja tehneet luonnontutkijat merkitsivät muistiin yksityiskohtaisia havaintoja metsänrajaseutujen asukkaiden, lähinnä saamelaisten elämästä ja toimeentulon edellytyksistä (esim. Linné 1991). Monet Lapissa toimivat virkamiehet ja papit ovat viranhoitonsa ohella tehneet monipuolista tutkimustyötä. Esimerkiksi Utsjoen kirkkoherra Jacob Fellman sekä Kaaresuvannon ja Pajalan kirkkoherrana toiminut Lars Levi Laestadius tunnettiin myös luonnontieteilijöinä. Lisäksi he olivat kiinnostuneita myös alueensa yhteiskunnallisten ja taloudellisten olojen kohentamisesta (Fellman 1961, Laestadius 1993).

Myös suomalaisen metsänrajatutkimuksen uranuurtajina pidetyt tutkijat Kihlman (1890) ja Renvall (1919) tarkastelivat ihmisen ja luonnon vuorovaikutusta ekologisten havaintojensa ohessa. Renvallin näkökulma metsänrajametsien varjelemiseen tosin oli jyrkänpuoleinen. Hänen esityksensä porotalouden ja asutuksen sekä yksityisen maanomistuksen rajoittamiseksi olisivat kirjaimellisesti toteutuessaan vaikeuttaneet metsänrajaseutujen väestön toimeentuloa tuntuvasti.

Suurin osa saamelaisväestöstä Suomessa, Norjassa ja Ruotsissa sekä Venäjällä asuu metsänrajan tuntumassa. Saamelaisten kulttuuria ja oikeuksia sekä yhteiskunnallista asemaa koskevalla tutkimuksella on runsaasti kiinnekohtia metsänrajakysymysten kanssa. Metsänrajaseutujen kysymysten ymmärtäminen edellyttää myös alueen historian tuntemusta. Aarseth (1975, 1993) esittää selkeästi Pohjoiskalotin ja saamelaisten historian pääpiirteet. Hyviä kokonaisvaltaisia esityksiä saamelaisten elämästä, toimeentulosta ja suhteesta luontoon ovat esimerkiksi Paulaharjun (1921) ja Nickulin (1935) kuvaukset koltista, Fellmanin muistelmat (1961), Nickul'in "Saamelaiset kansana ja kansalaisina" (1970), Müller-Willen artikkeli (1977) sekä Jyväskylän yliopistossa tehty pro gradu-tutkimus saamelaisen elämänmuodon murroksesta (Aikio ym. 1982). Saamelaisnäkökulmasta ovat pohjoisten luonnonvarojen käyttöä tarkastelleet Gaski (1992) ja Magga (1992). Hagberg (1985) on selvitellyt Ruotsin saamelaisalueen metsänrajanläheisten metsien käytön ongelmia. Saamelaisten oikeutta maahan ja luonnonvaroihin ovat selvittäneet Korpijaakko (1989, 1991), saamelaisasian neuvottelukunta (Komiteanmietintö 1990), Bengtsson (1991) sekä Norjan saamelaiskomitean oikeustyöryhmä (NOU 1993). Kuolan saamelaisten nykytilannetta ovat kuvanneet Lazarev & Patsija (1991).

Parin viimeksi kuluneen vuosikymmenen aikana on tehty useita monitieteellisiä selvityksiä pohjoisia alueita koskevista kysymyksistä. Massa (1979, 1983, 1985, 1994) tarkastelee ihmisen ja Lapin luonnon yhteyttä antropologis-ekologisesta näkökulmasta. Ryöstötalouden malli on hänen lähinnä kirjallisuuteen perustuvien tutkimustensa johtoajatus. Metsänrajakysymyksiä jo otsikkonsakin puolesta sivuaa Lehtisen (1991) esitys, jonka ponnahduslautana on dualistinen luontokäsitys. Luontoa voidaan tarkastella nk. "villinä luontona", jonka sellaisenaan säilyttäminen asetetaan päämääräksi, tai toisaalta ihmisen hyödynnettävissä olevana luonnonvarana. Lehtinen liikkuu

työssään hyvin monilla tasoilla ja lähestyy tutkimusongelmaansa suorastaan kummallistenkin näkökulmien ja ilmiöiden kautta. Johtopäätöksissään hän näkee metsänrajan maiseman muuttuvan monotoniseksi shakkilaudaksi — ruuduiksi, joissa toinen väri edustaa luonnonvarojen hyödyntämistä ja toinen luonnonsuojelualueita. Lehtinen (1993, 1994a, 1994b) on artikkeleissaan edelleen pohdiskellut ympäristöliikkeiden ja kansalaisyhteiskunnan teoriaa suhteessa luonnonvarojen hyödyntämiseen Skandinaviassa ja Venäjällä. Muth (1990) tarkastelee pohjoisten luonnonvarojen kotitarvehyödyntämiseen liittyviä sosiologisia näkökohtia Alaskassa. Venäjällä ovat metsätundran monitieteellisissä tarkasteluissa olleet mukana myös pohjoisten alkuperäiskansojen elinkeinoihin liittyvät asiat, varsinkin porotalous (esim. Tikhomirov & Norin 1967). Myös Suomen erämaatutkimusohjelman (Hallikainen & Jokimäki 1992) tavoitteissa tutkimuksen yhtenä lähtökohtana on monitieteellisyys. Käytännössä tämä tarkoittaa ekologisen ja sosiaalisen näkökulman samanaikaista käyttämistä tutkimusongelmien tarkasteluun.

Lukuisat yhteiskunnalliset virtaukset ja poliittiset sekä taloudelliset muutokset vaikuttavat merkittävästi metsänraja-alueiden luontoon ja näiden alueiden asukkaiden toimeentuloon ja elämään yleensä. Huomattavia muutoksia on tapahtunut viimeisten sadan vuoden kuluessa erityisesti metsätalouden ja tekniikan kehityksen myötä. Sirkumpolaarisen vyöhykkeen alkuperäiskansat ovat joutuneet "hyppäämään vauhdissa" länsimaisen kulttuurin kelkkaan, eivätkä ne ole selvinneet tästä aivan kolhuitta (Müller-Wille 1977, 1979, Siuruainen 1983). Parin viimeisen vuosikymmenen aikana ovat luonnonsuojelu ja virkistyskäyttö nousseet metsänraja-alueilla merkittäviksi maankäyttöä ja taloutta ohjaileviksi tekijöiksi. Muutokset valtioiden välisissä poliittisissa ja taloudellisissa yhteyksissä tulevat jatkossa vaikuttamaan ihmisen ja luonnon suhteeseen – miten, sitä on vaikea ennustaa. Sirkumpolaarisesti tarkasteltuna metsänrajoihin kohdistuu voimakkaita sekä luontoa hyödyntäviä että sitä "alkuperäisenä" säilyttäviä paineita.

Maantieteen näkökulmasta on Parmuzin (1979) määritellyt metsänrajaseudut omaksi maisematyypikseen, fyysis-maantieteelliseksi vyöhykkeeksi, josta hän käyttää nimeä tundrametsä "tundrales´e". Tämä sirkumpolaarinen vyöhyke eroaa ilmaston, maaperän, kasvillisuuden, eläimistön ja luonnonvarojen hyödyntämisen edellytysten suhteen sekä tundrasta että taigasta. Vastaavasti Blüthgen (1960) pitää maantieteellisin perustein Skandinavian koivuvyöhykettä omana maisemallisena formaationaan "Landschaftsformation", jolla on omat fyysiset, biologiset sekä elinkeinoihin ja kulttuuriin liittyvät ominaisuutensa.

10 Tulevaisuuden haasteet

Metsänrajatutkimus näyttää elävän tyypillistä pitkään vallinnutta *normaalitieteen* kautta (Kuhn 1970). Ekofysiologian nopea kehitys 1970-luvulla toi runsaasti uutta valoa metsänrajan tutkimusongelmiin, mutta ei ole toistaiseksi kuitenkaan ratkaissut tyhjentävästi tutkimusalan pääkysymyksiä. Tämän päivän ekologinen tutkimus toki terävöittää pala palalta kuvaamme maailman metsänrajoista, mutta uusia teorioita ja näkökulmia kaivataan. Myönteisenä piirteenä metsänrajan biologisen tutkimuksen kehityksessä on ehdottomasti pidettävä monitieteellisyyden lisääntymistä ja tutkimusorganisaatioiden yhteistyön kehittymistä sekä kotimaan puitteissa että kansainvälisesti. Yhteistyötä on syntynyt myös perustutkimuksen ja soveltavan tutkimuksen välille.

Metsätieteissä metsänrajatutkimus on ollut lähes pysähdyksissä jo pitkään verrattuna luonnontieteelliseen perustutkimukseen ja maantieteeseen. Vuosisadan ensimmäisillä kymmenluvuilla saatiin aikaan tutkimuksen, metsäammattilaisten ja poliittisten päättäjien yhteistyönä Lapin suojametsävyöhyke ja tärkeitä luonnonsuojelualueita. Ilmaston lämpeneminen tämän vuosisadan alkupuolella innosti metsäntutkijoita ja käytännön metsäammattilaisia erityisesti metsänuudistamisen mahdollisuuksien selvittämiseen ja viljelymenetelmien kokeiluun metsänraja-alueilla. Kylmien kesien esiintyminen 1960-luvulta alkaen laimensi intoa viljelyyn ja sen tutkimiseen. Samanaikaisesti pohjoisten alueiden virkistyskäyttö lisääntyi, luonnonsuojelualueiden ala kasvoi sekä useiden kansalaisryhmien suhtautuminen metsätalouden harjoittamiseen erityisesti erämaa-alueilla kävi yhä kielteisemmäksi. Valtakunnallisesti todettiin 1990-luvulle tultaessa puuvarojen vajaakäyttötilanne suhteessa puuston kasvuun. Metsänrajanmetsien puuvarat olivat kuitenkin täydessä käytössä, kun otetaan huomioon maankäytön muutokset. Perinteinen metsätieteiden ohjenuora, puuntuotannon jatkuvuus ja edistyvyys eivät enää päde ainakaan entisellä tavalla määriteltyinä. Metsänrajametsien monihyödyketuotannossa palvelujen ja suojeluarvojen osuus on noussut verrattuna puuntuotantoon.

Metsä ja eritoten metsänraja on nähtävä puilta. Metsäntutkimuksen ja metsien käytön suuntaamisessa on käytettävä kokonaisvaltaisempaa tarkastelutapaa. Perinteisesti puuntuotantoon liittyvien tuttujen taloudellisten arvojen ja päämäärien ohella on otettava huomioon useita muita lähtökohtia ja päämääriä. Kuitenkin, vaikka taloudellisten seikkojen asema metsänrajametsien tulevassa käsittelyssä ei olekaan dominoiva, ei voida väittää niiden jäävän merkitystä vaille. Poliittisen tilanteen muutos, erityisesti Neuvostoliiton purkautuminen ja taloudellisen sekä tieteellisen kanssakäymisen vilkastuminen pohjoisilla alueilla sekä myös Euroopan yhteisön toimintaan osallistuminen tuovat mukanaan aivan uusia taloudellisia näkökulmia ja

mahdollisuuksia. EU:n puitteissa voidaan puuntuotannon, metsien virkistyskäytön ja luonnonsuojelun alueellisia painopisteitä mahdollisesti muuttaa entisistä asetelmista huomattavastikin. Kansainväliseen kehitykseen liittyen myös alkuperäiskansojen ja luontaiselinkeinojen merkitys lisääntyy metsänrajaseuduilla. Valtaosa Suomen metsänraja-alueista kuuluu saamelaisten kotiseutualueeseen.

Paine metsänrajametsien teollista hyödyntämistä kohtaan on suuri Siperiassa ja Pohjois-Amerikassa sekä ajoittain myös Ruotsissa. Samanaikaisesti ilmansaasteet, ilmaston muutos sekä ihmisen toiminnasta johtuva eroosio ikiroudan alueella uhkaavat metsänrajaekosysteemejä. Toisaalta perusteltu kansainvälisiin sopimuksiin nojautuva vaatimus biodiversiteetin ylläpitämisestä koskee myös metsänrajametsiä. Vaikka Suomen Lapin alue on pieni Euraasian ja Pohjois-Amerikan polaarisiin metsänraja-alueisiin nähden, on sillä oma arvonsa ja Suomella on siihen liittyen oma kansallinen vastuunsa arktisessa ympäristöyhteistyössä. Pitkäaikainen tutkimusperinne ja käytännön kokemukset antavat hyvät lähtökohdat myös kansainväliseen yhteistyöhön.

Kirjallisuus

Aario, L. 1940. Waldgrenzen und subrezente Pollenspektren in Petsamo Lappland. Annales Academiae Scientiarum Fennicae A 54 (8). 120 s.

— 1943. Über die Wald- und Klimaentwicklung an der lappländischen Eismeerkuste in Petsamo. Annales Botanici Fennici Tom 19 N.o 1. 158 s.

Aarseth, B. 1975. Fra Nordkalottens historie. Ottar 84. 54 s.

— 1993. The Sami past and present. Norsk Folkemuseum, Oslo. 32 s.

Aas, B. 1969. Climatically raised birch lines in southeastern Norway. Norsk Geografisk Tidsskrift 23: 119–130.

Ahti, T. Hämet-Ahti, L & Jalas, J. 1968. Vegetation zones and their sections in northwestern Europe. Annales Botanici Fennici 5 (3): 169–211.

Aikio, U. Mursula, J. Puoskari, I.1982. Saamelaisen elämänmuodon murros. Jyväskylän yliopiston yhteiskuntapolitiikan laitoksen tutkimuksia 32. 257 s.

Aldén, B. 1987. Taxonomy and geography of the genus Picea. International Dendrology Society Year-Book 1986: 85–96.

Alden, J & Loopstra, C. 1987. Genetic diversity and population structure of Picea glauca on an altitudinal gradient in interior Alaska. Canadian Journal of Forest Research, 17: 1519–1526.

Alden, J. Mastrantonio, J. L. & Ødum, S. (toim.). 1993. Forest Development in Cold Climates. Proceedings of a NATO Advanced Research Workshop on Forest Development in Cold Climates, June 18–23, Laugarvatn, Iceland. NATO ASI Series, Series A: Life Sciences Vol. 244, Plenum Press, New York, 566 s.

Alho, P. 1990. Suomen metsittyminen jääkauden jälkeen. Silva Fennica 24 (1): 9–19.

Andersson, L. Rafstedt, T. von Sydow, U. 1985. Fjällens vegetation, Norrbottens län. En översikt av Norrbottenfjällens vegetation baserad på vegetationskartering och naturvärdering. Summary: Vegetation of the Swedish mountain area, Norrbottens county. Statens naturvårdsverk, Motala. 160 s.

Andreev, V. N. 1954. Prodviženie drevesnoj rastitel´nosti v tundry v sjazn zaščhitnymi svojstvami lesoposadok na severe. Botaničeskij Žurnal 39 (1): 28–47.

— 1966. Osobennosti zonal´nogo raspredelenija nadzemnoi fitomassy na Vostočnoevropejskom Severe. Botaničeskij Žurnal 51 (10): 1401–1411.
— 1981. Influence of man on tundra vegetation. Teoksessa: Bliss, L. C., Heal, O. W. & Moore, J. J. (toim.). Tundra ecosystems: a comparative analysis. Cambridge University Press, Cambridge. s. 747–749.
— & Aleksandrova, V. D. 1981. Geobotanical division of the Soviet Arctic. Teoksessa: Bliss, L. C., Heal, O. W., Moore, J. J. (toim.): Tundra ecosystems: a comparative analysis. Cambridge University Press. Cambridge. s. 25–34.
Arno, S. 1984. Timberline. Mountain and Arctic Forest Frontiers. Mountaineers, Seattle. 304 s.
Atlas Murmanskoi oblasti. 1971. Glavnoe upravlenie geodesii i kartografii pri sovete ministrov SSSR, Moskva. 33 s.
Auer, V. 1927. Untersuchungen über die Waldgrenzen und Torfböden in Lappland. Communicationes ex Instituto Quaestionum Forestalium Finlandiae editae 12 (4): 52 s.
— 1928. Über die Einwanderung der Fichte in Finnland. Communicationes ex Instituto Quaestionum Forestalium Finlandiae editae 13: 22 s.
Barr, B. & Braden, K. 1988. The disappearing Russian forest. Rowman & Littlefield, Hutchinson, London. 252 s.
Bengtsson, B. 1991. Skattefjällsmålet och dess eftervirkningar. Samesymposium. Lapin yliopiston hallintoviraston julkaisuja 15: 34–46.
von Berg, E. 1859. Die Verbreitung der Wald-Bäume und Sträucher in Norwegen, Schweden und Finnland. Jahrbuch der Königl. sächs. Akademie für Forst- und Landwirthe in Tharandt 13: 119–137 + karttaliite.
Bergan, J. 1989. Reforestation and afforestation at high altitudes in North Norway. Teoksessa: Martinsson, O., Packee, E., Gasparro, A., Lawson, T. (coords.) 1989. Forest regeneration at northern latitudes close to timber line. Proceedings, 7th annual workshop on silviculture and management of northern forests: June 16–20; Luleå, Gällivare and Östersund, Sweden. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. General Technical Report PNW-GTR-247. 21–24.
Biology of Alder: proceedings of a symposium held at Northwest Scientific Association fortieth annual meeting, Pullman, Washington, april 14–15, 1967. Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, Portland, Ore. 1968. 292 s.
Björklund, J. 1992. Skogsindustrins utveckling före andra världskriget, några perspektiv på Västerbottens län. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Rapportserie 64: 61–67.
Black, R. A. & Bliss, L. C. 1980. Reproductive ecology of Picea mariana (Mill.) BSP., at tree line near Inuvik, Northwest Territories, Canada. Ecological Monographs 50 (3): 331–354.
Bliss, L. C. & Matveyeva, N. V. 1992. Circumpolar arctic vegetation. Teoksessa: Chapin III, F. S., Jefferies, R. L., Reynolds, J. F., Shaver, G. R., Svoboda, J. & Chu, E. V. (toim.): Arctic ecosystems in changing climate. Academic Press Inc. s. 59–89.
Blüthgen, J. 1960. Der skandinavische Fjällbirkenwald als Landschaftsformation. Petermanns Geographische Mitteilungen 2/3: 119–144 + liitteet.
— 1970. Problems of definition and geographical differentiation of the Subarctic with special regard to northern Europe. Teoksessa: Ecology of the subarctic regions. Proceedings of the Helsinki UNESCO symposium 1966. s. 11–33.
Blöndal, S. 1993. Socioeconomical importance of forests in Iceland. Teoksessa: Alden, J., Mastrantonio, J. L. & Ødum, S. (toim.). Forest Development in Cold Climates. Proceedings of a NATO Advanced Research Workshop on Forest Development in Cold Climates, June 18–23, Laugarvatn, Iceland. NATO ASI Series, Series A: Life Sciences Vol. 244, Plenum Press, New York. s. 1–13.
Bonan, G. 1992. Soil Temperature as an ecological factor in boreal forest. Teoksessa: Shugart, H., Leemans, R. & Bonan, G. (toim.). A Systems Analysis of the Global Boreal Forest. Cambridge University Press, Cambridge. 126–143.
— , Shugart, H. & Urban, D. 1990. The sensitivity of some high-latitude boreal forests to climatic parameters. Climatic Change 16: 9–29.
Bortenschlager, S. 1988. Sledy vozdeistvija doistoriceskogo čeloveka na estestvennyj rastitel´nyj pokrov. Teoksessa: Nahucrisvili, G. S. (toim.). Ekologija vysokogorij. Izdatel´stvo "Mecniereba", Tbilisi. s. 5–11.

Bosheng, L. 1993. The alpine timberline of Tibet. Teoksessa: Alden, J., Mastrantonio, J. L. & Ødum, S. (toim.). 1993. Forest Development in Cold Climates. Proceedings of a NATO Advanced Research Workshop on Forest Development in Cold Climates, June 18–23, Laugarvatn, Iceland. NATO ASI Series, Series A: Life Sciences Vol. 244, Plenum Press, New York. s. 511–527.

Bostedt, G. & Öström, P. 1990. Skogsbruk i fjällnära skogar. En samhällekonomisk kostnad– intäktsanalys. Umeå economic studies 235: 67 s.

Briffa, K., Bartholin, T., Eckstein, D., Jones, P., Karlén, W., Schweinberger, F. & Zetterberg, P. 1990. A 1400-year tree-ring record of summer temperatures in Fennoscandia. Nature 346: 434–439.

— , Jones, P., Bartholin, T., Eckstein, D., Schweinberger, F., Karlén, W., Zetterberg, P. & Eronen, M. 1992. Fennoscandian summers from AD 500: temperature changes on short and long timescales. Climate Dynamics 7: 111–119.

Brown, R. 1970. Permafrost as an ecological factor in the Subarctic. Teoksessa: Ecology of the subarctic regions. Proceedings of the Helsinki UNESCO symposium 1966. s. 129–139.

Brubaker, L. 1986. Responses of tree populations to climatic change. Vegetatio 67: 119–130.

Burns, R. M. & Honkala, B. H. (toim.) 1990. Silvics of North America. Volume 1, Conifers. Forest Service. United States Department of Agriculture. Agriculture Handbook 654. 675 s.

Bykov, B.A. 1978. The upper boundary of the forest in the Tien Shan, USSR. Arctic and Alpine Research 10 (2): 423–424.

Bäck, L. 1993. Reindeer management in conflict and co-operation. A geographic land use and simulation study from northernmost Sweden. Nomadic Peoples 32: 65–80.

Bäckström, P-O. (toim.).1984. Skogsföryngring i fjällnära skogar. Forskarrapport. Sveriges lantbruksuniversitet, Skogvetenskapliga fakulteten, Umeå.

Böcher, T. W. 1979. Birch woodlands and tree growth in southern Greenland. Holarctic Ecology Vol. 2: 218–221.

Børset, O. 1981. Fornyelse av fjellskog. Tidsskrift for skogbruk 89: 1–15.

— 1994. Norsk fjellskogskjøtsel - et tilbakeblikk og en oppsummering. Aktuelt fra Skogforsk Nr. 1: 1–12.

Černov, Ju. D. (toim.). 1985. Soobščestva Krajnego Severa i čelovek. Izdatel´stvo "Nauka", Moskva. 271 s.

Čertovskoj, B. A., Semenov, V. F., Cvetkov, V. F., Smolonogov, A. M., Veregin, A. M., Mironenko, O. N., Tihmenev, E. A. & Listov, A. A. 1987. Predtundrovye lesa. VO "Agropromizdat", Moskva. 168 s.

Chernavskaya, M. M. 1985. Reconstruction of temperature conditions during the Little Ice Age in Northern Eurasia, based on dendrochronological data. Polar Geogr. Geol. 9: 321–328.

Cinserling, Ju.D. 1932. Geografija rastitel´nogo pokrova Severo-Zapada Evropejskoj časti SSSR. Trudy geomorfologičeskogo instituta. Vypusk 4. Izdatel´stvo Akademii Nauk SSSR, Leningrad. 377 s.

Cvetkov, V. F. 1989. Sistemy lesnogo hozjaistva Murmanskoj oblasti. Teoksessa: Vinogradov, A.N. (toim.). Problemy kompleksnogo ispol´zovanija prirodnyh resyrsov Kol´skogo poluostrava. Vsesojuznaja konferencija, Apatity, 30.11–2.12.1989. Tezisy dokladov. Akademii Nauk SSSR, Kol´skij Nautcnyj Centr. 119–120.

— , Nečaev, V. N. & Kazakov, L. A. 1983. Lesa na kraju zemli. Murmanskoe knižnoe izdatel´stvo, Murmansk. 160 s.

— & Semjonov, B. A. 1985. Sosnjaki Krainego Severa. "Agropromizdat", Moskva. 116 s.

Daubenmire, R. 1954., Alpine timberlines in the Americas and their interpretation. Butler Univ. Bot. Stud. 11: 119–136.

Davitaja, F. F. & Mel´nik, J. S. 1962. Radiacionnij nagrev dejatelnoj poverhnosti i granici lesa. Meteorogija i gidrologija 1: 3–9.

Directorate for nature Management.1993. The State of Habitat Protection in the Arctic. Conservation of Arctic Flora and Fauna. Report No.1. Trondheim. 200 s.

Direktoratet for naturforvaltning. 1988. Forslag til retningslinjer for barskogvern. DN-rapport 3: 96 s.

— 1992. Naturvernområder i Norge 1911–1991. DN-rapport 1992–1. 201 s. + karttaliite.

Dolukhanov, A. G. 1978. The timberline and the subalpine belt in the Caucasus mountains, USSR. Arctic and Alpine Research 10 (2): 409–422.
Douguédroit, A. 1978. Timberline reconstruction in Alpes de Haute provence and Alpes maritimes, southern French Alps. Arctic and Alpine Research 10 (2): 505–517.
Dudley, N. 1992. Forests in trouble: a review of the status of temperate forests worldwide. WWF, London. 260 s.
Däniker, A. 1923. Biologische Studien über Baum- und Waldgrenze, insbesondere über die klimatischen Ursachen und deren Zusammenhänge. Vierteljahrsschrift Naturforschenden gesellschaft in Zürich 68: 3–102.
Ebeling, F. 1979. Anvisningar för skogsskötsel i kyliga klimatlägen. Sveriges Skogdvårdsförbunds Tidskrift 77 (4): 126 s.
Elias, T. 1980. The Complete Trees of North America. Field Guide and Natural History. Van Nostrand Reinhold Company. New York ym. 948 s.
Ellenberg, H. 1966. Leben und Kampf an den Baumgrenzen der Erde. Naturwiss. Rundsch. 19: 133–139.
Elliot, D. L. 1979. The current regenerative capacity of the northern Canadian trees, Keewatin, N.W.T., Canada: some preliminary observations. Arctic & Alpine Research 11 (2): 243–252.
Elliot-Fisk, D. 1983. The stability of the northern Canadian tree limit. Annals of the Association of American Geographers 73 (4): 560–576.
Enquist, F. 1933. Trädgränsundersökningar. Sveriges Skogsvårdföreningens Tidsskrift. 12: 146–191.
Ericsson, T. 1991. Tillståndet hos Gremmeniella-angripen tall (Pinus sylvestris) och contortatall (Pinus contorta) tre år efter skadekulmen. Summary: Condition of Scots pine (Pinus sylvestris) and lodgepole pine (Pinus contorta) in Swedish Lapland, attacked by Gremmeniella fungus, three years after culmination of damage. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutet för Skogsförbättring. Rapport nr 24. 14 s.
Eriksson, B. 1988. Klimatförsämringen på norra halvklotets nordliga latituder. Väder och vatten 3: 17–19.
Eronen, M. 1979. The retreat of pine forest in Finnish Lapland since the Holocene climatic optimum: a general discussion with radiocarbon evidence from subfossil pines. Fennia 157 (2): 93–114.
— 1981. Ilmaston vaihtelu ja pohjoisimmat mäntymetsät. Lapin tutkimusseuran vuosikirja XXII: 4–15.
— 1990. Muuttuva ilmasto. Terra 102 (4): 220–238.
— 1991. Jääkausien jäljillä. Tähtitieteellinen yhdistys Ursa. Helsinki. 271 s.
— & Zetterberg, P. 1992. Fennoskandian subarktisen alueen dendrokronologinen ilmastohistoria. Teoksessa: Kanninen, M. & Anttila, P. (toim.). Suomalainen ilmakehän muutosten tutkimusohjelma, tutkimusten väliraportit. Suomen Akatemian julkaisuja 2/92. VAPK-kustannus, Helsinki. s. 13–18.
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.
Eurola, S. 1978. Kasvillisuuden suurjako Lapissa. Teoksessa: Kallio, P. (toim.). Lapin kasvivarat. Lapin tutkimusseura r.y. Rovaniemi. s. 26–30.
Eyre, S. R. 1963. Vegetation and Soils. A World Picture. Edward Arnold Ltd. London 324 s.
Fellman, J. 1961. Poimintoja muistiinpanoista Lapissa. Agathon Meurmanin toimittaman suomennoksen uusintapainos. WSOY, Porvoo. 373 s.
Fjällnära skogars utnyttjande – hot och möjligheter. 1985. Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens sammankomst den 9 februari 1984. Kungl. Skogs- och Lantbruksaakademiens Tidskrif Årg. 124, nr 1–2: 55–88.
Fortelius, C., Holopainen, E., Kaurola, J. & Ruosteenoja, K. 1992. Ilmastomallit ja skenaariot. Teoksessa: Kanninen, M. & Anttila, P. (toim.). Suomalainen ilmakehänmuutosten tutkimusohjelma, tutkimusten väliraportit. Suomen Akatemian julkaisuja 2/92. VAPK-kustannus, Helsinki. s. 37–42.
Fredskild, B. & Ødum, S. 1990. The Greenland mountain birch zone, an introduction. Meddelelser om Grönland, Bioscience 33: 3–7.

Fries, A. 1993. Hybridization among provenances of lodgepole pine. Teoksessa: Alden, J., Mastrantonio, J. L., & Ødum, S. (toim.). 1993. Forest Development in Cold Climates. Proceedings of a NATO Advanced Research Workshop on Forest Development in Cold Climates, June 18–23, Laugarvatn, Iceland. NATO ASI Series, Series A: Life Sciences Vol. 244, Plenum Press, New York. s. 343–356.

Fries, M. 1965. The Late-Quaternary Vegetation of Sweden. Acta Phytogeographica Suecica 50: 269–280.

Fries, Th. 1913. Botanische Untersuchungen im nördlichen Schweden. Ein Beitrag zur Kentniss der alpinen und subalpinen Vegetation in Torne Lappmark. Almqvist & Wiksell, Uppsala & Stockholm. 361 s.

Friis, J. A. 1872. En sommar i Finnmarken, Ryske Lapland och Nordkarelien. P.A. Huldbergs Bokhandel, Stockholm. 373 s. + karttaliite.

Gagnon, R. & Payette, S. 1985. Holocene regression of conifer cover at the forest limits (northern Quebec). Canadian Journal of Botany 63 (7): 1213–1225.

Gaski, L. 1992. Bruk av utmarksresusser i en bygd i det samiske kjerneområdet. Teoksessa: Seminarrapport av Nordiska seminar om FOU-behov og forvaltning av utmarksresusser i Finmark. Finnmark distrikthøgskole, Alta, 9.–10. Dec. 1992. 79–99.

Gavelin, A. 1909. Om trädgränsernas nedgång i de svenska fjälltrakterna. Skogvårdföreningens Tidskrift 133.

Goldstein, G. H., Brubaker, L. B. & Hinckley, T. M. 1985. Water relations of white spruce (Picea glauca [Moench] Voss) at tree line in north central Alaska. Canadian Journal of Forest Research 15: 1080–1087.

Gorchakovsky, P. L., & Shiyatov, G. 1978. The upper forest limit in the mountains of the boreal zone of the USSR. Arctic and Alpine Research 10(2): 349–363.

Griggs, R. 1937. Timberlines as indicators of climatic trends. Science 85: 251–255.

Gustavsson, K 1989. Rennäringen. Skogsstyrelsen, Jönköping. 194 s.

Haapasaari, M. 1988. The oligotrophic heath vegetation of northern Fennoscandia and its zonation. Acta Botanica Fennica 135: 135 s. + 23 liites.

Hadley, J. L., & Smith, W. K.1983. Influence of wind exposure on needle desiccation and mortality for timberline conifers in Wyoming, U.S.A. Arctic and Alpine Research 15 (1): 127–135.

— , Smith,W. K. 1986. Wind effects on needles of timberline conifers: seasonal influence on mortality. Ecology 67: 12–19.

Hagberg, S. 1985. Konflikten om de fjällnära skogarna i Sameland, Sverige: arbete, resurs, kultur. C-uppsats vid kulturantropologiska institutionen, Uppsala.

Hagem, O. 1917. Furuens og granens frøsætning i Norge. Meddelelser fra Vestlandets forstlige forsøksstation 2: 1–188.

Hagman, M. 1993. Potential species and provenances for forest development in cold climates. Teoksessa: Alden, J., Mastrantonio, J. L., & Ødum, S. (toim.). Forest Development in Cold Climates. Proceedings of a NATO Advanced Research Workshop on Forest Development in Cold Climates, June 18–23, Laugarvatn, Iceland. NATO ASI Series, Series A: Life Sciences Vol. 244, Plenum Press, New York. s. 251–264.

Hall, P. 1987. Restrictions on forest management close to the timberline in North America. Proceedings of the IUFRO S1.05–12 Northern Forest Silviculture and management. Symposium in Lapland, Finland. August 16–22, 1987. Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusasema.

Hallikainen, V. 1993. Erämaan käsite ja kokeminen, suomalaisten erämaamielikuva, erämaiden virkistyskäyttö ja arvostus. Lisensiaattitutkielma. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta, Metsänhoitotiede. 247 s.

— & Jokimäki, J. 1992. Suomen erämaatutkimusohjelma 1993–1996. Arktisen keskuksen tiedotteita. Arctic Centre Reports 7. 72 s.

Hansen, S. 1974. Ilmaston muutokset Pohjois-Norjassa tällä vuosisadalla. Acta Lapponica Fenniae 8: 4–6.

Hanski, I., Turkhin, P., Korpimäki, I. & Henttonen, H. 1993. Population oscillations of boreal rodents: regulation by mustelid predators leads to caos. Nature 364: 232–235.

Hare, F. 1950. Climate and zonal divisions of the boreal forest formation in Eastern Canada. Geographical Review XL: 615–635.

— & Ritchie, J. 1972. The boreal bioclimates. Geographical Review 62: 334–365.
Hari, P., Westman, C., Ilvesniemi, H., Jauhiainen, M., Nikinmaa, E., Nissinen, A., Snicker, J. & Ylimartimo, A. 1992. Ilmakehän ominaisuuksien muutoksen vaikutus maahan sekä metsän tuotokseen ja vastustuskykyyn. Teoksessa: Kanninen, M. & Anttila, P. (toim.). Suomalainen ilmakehänmuutosten tutkimusohjelma, tutkimusten väliraportit. Suomen Akatemian julkaisuja 2/92. VAPK-kustannus, Helsinki. s. 141–161.
Harju, A. 1991. Männyn kukkimisominaisuuksien vaikutus siemensadon perinnölliseen koostumukseen siemenviljelyksillä. Lisensiaattitutkimus. Oulun Yliopisto, Perinnöllisyystieteen laitos. 67 s. + 7 liites.
Hasel, K. 1985. Forstgeschichte. Ein Grundriss für Studium und Praxis. Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin. 258 s.
Haukioja, E. & Neuvonen, S. 1987. Insect population dynamics and induction of plant resistance: the testing of hypoteses. Teoksessa: Barbosa, P. & Schultz, J. (toim.). Insect Outbreaks. Academic Press. s. 411–432.
Havas, P. 1978. Kasvien talvi. Teoksessa: Kallio, P. & Hurme, H. (toim.): Lapin kasvivarat. Plant resources in Lapland. Acta Lapponica Fenniae Vol. 10: 108–116.
Haveraaen, O. 1987. Restrictions on forest management close to timberline in Norway. Proceedings of the IUFRO S1.05–12 Northern Forest Silviculture and management. Symposium in Lapland, Finland. August 16–22, 1987. Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusasema.
Heikinheimo, O. 1921. Suomen metsänrajametsät ja niiden vastainen käyttö. Referat: Die Waldgrenzwälder Finnlands und ihre künftige Nutzung. Commununicationes ex Instituto Quaestionum Forestalia Finlandiae Editaea 4. s. 91.
Heikkinen, O. 1984. The timber-line problem. Nordia 18 (2): 105–114.
Heino, R. 1978. Climatic changes in Finland during the last hundred years. Fennia 150: 3–13.
— 1994. Climate in Finland during the period of meteorological observations. Finnish meteorological institute contributions 12. 209 s.
Helland, A. 1899. Topografisk-statistisk beskrivning over Tromsö amt. H. Aschehoug & Co., Kristiania. 592 s.
— 1905. Topografisk-statistisk beskrivelse over Finnmarkens amt. H. Aschehoug & Co., Kristiania. 804 s.
— 1907. Topografisk-statistisk beskrivelse over Nordlands amt. H. Aschehoug & Co. Kristiania. 794 s.
— 1912. Traegränser og sommervärmen. Tidsskrift for Skogbruk 20 (5,6,8): 131–146, 169–175, 303–313.
Helle, T. & Moilanen, H. 1993. The effects of reindeer grazing on the natural regeneration of Pinus sylvestris. Scandinavian Journal of Forest Research 8 (3): 395–407.
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.
Henttonen, H., Oksanen, T., Jortikka, A. & Haukisalmi, V. 1987. How much do weasels shape microtine cycles in the northern Fennoscandian taiga? Oikos 50: 353–365.
Hermann, R. K. 1990. Zur Bedeutung der Fichte in Nordamerika. Forstwissenschaftliches Centralblatt 109: 2–3, 168–174.
Hermes, K. 1955. Die Lage der oberen Waldgrenze in den Gebirgen der Erde und ihr Abstand zur Schneegrenze. Kölner Geogr. Arb. Heft 5. 277 s. + erill. karttaliite.
Hoffman, J. 1986. Øvre Pasvik nasjonalpark. Varanger årbok 1: 142–163.
Holtmeier, F-K. 1971. Waldgrenzenstudien im nördlichen Finnisch-Lappland und angrenzenden Nordnorwegen. Reports from Kevo Subarctic Research Statation 8: 53–62.
— 1973. Geoecological aspects of timberlines in Northern and Central Europe. Arctic and Alpine Research 5 (3) Pt. 2: A45–A54.
— 1974. Geoökologische Beobachtungen und Studien an der subarktischen und alpinen Waldgrenzen in vergleichender Sicht. Franz Steiner Verlag GMBH, Wiesbaden. 130 s.
— 1985. Climatic stress influencing the physiognomy of trees at the polar and mountain timberline. Teoksessa: Turner, H. & Tranquillini, W. (toim.) Establishment and Tending of Subal-

pine Forests: Research and Management. Proc. 3rd IUFRO Workshop P 1.07–00, 1984. Eigd. Anst. forstl. Versuchswes., Ber. 270: 31–40.
Homén, Th. (toim.). 1918. Itä-Karjala ja Kuolan Lappi. Otava, Helsinki. 384 s.
Hult, R. 1898. Finska Lappmarkens skogsregioner. Acta Soc. pro Fauna et Flora Fennica XVI(2). 200 s.
Hustich, I. 1939. Notes on the coniferous forests and tree limit on the East Coast of Newfoundland-Labrador. Acta Geography 7,1. Helsinki.
— 1944. Några synpunkter på skogsgränserna i nordligaste Skandinavien. Sveriges skogsvårdföreningens tidskrift 42 (2): 132–141.
— 1948. The Scots pine in northernmost Finland and its dependence on the climate in the last decades. Acta Botanica Fennica 42. 72 s.
— 1949. On the Forest-Geography of the Labrador-Peninsula. Acta Geography 10 (2): 63 s.
— 1952. Barrträdarternas polara gräns på norra halvklotet. Summary: The polar limits of the coniferous species. Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen julkaisuja 40 (29): 20 s.
— 1958. On recent expansion of the Scots pine in northern Europe. Fennia 82 (3): 25 s.
— 1966. On the forest-tundra and the northern treelines. A preliminary synthesis. Reports from Kevo Subarctic Research Station 3: 7–47.
— 1978. The growth of Scots pine in northern Lapland, 1928–77. Annales Botanici Fennici 15: 241–252.
— 1979. Ecological concepts and biographical zonation in the North: the need for a generally accepted terminology. Holarctic Ecology 2: 208–217.
— 1983. Tree-line and tree growth studies during 50 years: some subjective observations. Treeline ecology. Proceedings of the Northern Quebec Tree-Line Conference. Collection Nordicana 47: 181–188.
Huttu-Hiltunen, V., Nieminen, M., Valmari, A. & Westerling, B. 1993. Porotalous. Painatuskeskus Oy. Helsinki. 220 s.
Hytönen, M. 1992. Metsien monikäytön tutkimus Suomessa 1970–1990: tiivistelmäbibliografia. Multiple-use forestry research in Finland 1970–990: an annotated bibliography. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 430. 395 s.
Hyvärinen, H. 1975. Absolute and relative pollen diagrams from the northernmost Fennoscandia. Fennia 142: 6–23.
— 1978. Pohjois-Lapin kasvillisuuden kehitys jääkauden jälkeen. Summary: Postglacial history of vegetation in northern Finnish Lapland. Acta Lapponica Fenniae 10: 7–17.
Hämet-Ahti, L. 1963. Zonation of the mountain birch forests in northernmost Fennoscandia. Ann. Bot. Fennici 34 (4): 127 s.
— 1981. The boreal zone and its biotic subdivision. Fennia 159: 69–75.
— 1983. Human impact on closed boreal forest (taiga). Teoksessa: Holzner, W., Werger, M. & Ikusima, I. (toim.). Man´s impact on vegetation. Dr Junk Publishers, The Hague-Boston-London. s. 201–211.
— , Palmén, A., Alanko, P. & Tigerstedt, P. 1992. Suomen puu- ja pensaskasvio (Finlands vedväxter, Woody flora of Finland, Gehölzflora Finnlands). 2. uud. p. Publ. Finnish Dendrology Society 6: 1–373.
Hänninen, H. & Pelkonen, P. (toim.) 1988. Frost hardiness and over-wintering of forest trees. Metsäpuiden pakkaskestävyys ja talvehtiminen. Silva Fennica 22 (3): 255 s.
Höjer, E. W. 1954. Skogsodlingsgränsen på kronoparkerna i Norrland. Norrlands Skogsvårdsförbunds Tidskrift I: 233–253.
Höllermann, P. W. 1978. Geoecological aspects of the upper timberline in Tenerife, Canary Islands. Arctic and Alpine Research 1 (2): 365–382.
Innes, J. 1991. High altitude and high latitude tree growth in relation to the past, present and future global climate change. The Holocene 1: 168–173.
Jalkanen, R., Närhi, P. 1993. Red belt phenomenom on the slopes of the Levi fell in Kittilä, western Lapland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 451: 55–60.
— 1993. Abiotic and biotic diseases of the northern boreal forests in Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 451: 7–21.
Johnson, E. 1981. Vegetation organization and dynamics of lichen woodland communities in the Northwest territories, Canada. Ecology 62 (1): 200–215.

Joona, J. 1993. Poronhoito-oikeus maankäyttöoikeutena. Lakimiesliiton kustannus, Helsinki. 236 s.
Juul, J. G. 1925. Furuens utbredelse i Finnmark og Troms. Tidsskrift for Skogbruk 7–8 (1925): 359–440 + karttaliite.
Järvinen, A. E. 1935. Maanselän takaiset metsät. Metsätaloudellinen Aikakauskirja 7: 143–146.
Järvinen, A. 1983. Breeding strategies of hole-nesting passerines in northern Lapland. Annales Zoology Fennici 20: 129–149.
— 1993. Spatial and temporal variation in reproductive traits of adjacent northern Pied Flycatcher Ficadula hypoleuca populations. Ornis Scandinavica 24: 33–40.
— & Rajasärkkä, A. 1992. Population fluctuations in two northern land bird communities: effects of habitat, migration strategy and nest-site. Ornis Fennica 69: 173–183.
Kaasen, N. & Skaret, G. 1993. Afforestation of Lutz spruce, Sitka spruce, and Norway spruce in the Vesteraalen islands, Norway. Teoksessa: Alden, J., Mastrantonio, J. L., & Ødum, S. (toim.). 1993. Forest Development in Cold Climates. Proceedings of a NATO Advanced Research Workshop on Forest Development in Cold Climates, June 18–23, Laugarvatn, Iceland. NATO ASI Series, Series A: Life Sciences Vol. 244, Plenum Press, New York. s. 427–436.
Kalabin, G. V. (toim.). 1993. Rastitelnye resursy Evropeiskogo severa: Produktivnast´, racional´noe ispol´zovanije, ohrana. Kolskij Nautcnyj Centr, Rossiskoj Akademii Nauk. Apatity. s. 11–13.
Kalela, A. 1937. Zur Synthese der experimentellen Untersuchungen über Klimarassen der Holzarten. Suomenkielinen selostus: Puulajien ilmastorotuja koskevista kokeellisista tutkimuksista. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 26 (1): 445 s.
Kalela, A. 1961. Waldvegetationszonen Finnlands und ihre klimatische Paralleltypen. Arch. Society "Vanamo" 16: suppl.: 65–83.
Kallio, P. 1978. Kasvien sopeutuminen pohjoiseen. Acta Lapponica Fenniae 10: 101–107.
— 1981. Mänty metsänrajapuuna. Dendrologian seuran tiedotuksia 3 (12): 147–153.
— 1983. Metsänrajan tutkimus. Teoksessa: Kortesharju (toim.) Uutta ilmettä Lapin kasvivarojen hyväksikäyttöön"-seminaariraportti.Oulun yliopisto, Pohjois-Suomen tutkimuslaitos. C 47: 17–27.
— 1984. Islannin metsityksestä. Summary: Afforestation in Iceland. Sorbifolia 15 (2): 99–103.
— 1990. Kevo. Mietteitä ja muistikuvia Kevosta ja pohjoisen luonnon tutkimuksesta. Karisto, Hämeenlinna. 238 s.
— & Hurme, H. (toim.). 1978. Lapin kasvivarat. Plant resources in Lapland. Acta Lapponica Fenniae 10.
— , Hurme, H., Eurola, S., Norokorpi, Y., Sepponen, P. 1986. Research Activities on the Forest Line in Northern Finland. Arctic 39 (1): 52–58.
— , Laine, U., Mäkinen, Y. 1971. Vascular flora of Inari Lapland. 2. Pinaceae and Cupressaceae. Reports from Kevo Subarctic Research Station 8: 73–100.
— & Lehtonen, J. 1973. Birch forest damage caused by Oporinia autumnata (Bkh.) 1965–66 in Utsjoki, North Finland. Reports from the Kevo Subarctic Research Station 10: 55–69.
— , Niemi, S., Sulkinoja, M., Valanne, T. 1983. The Fennoscandian birch and its evolution in the marginal forest zone. Tree-line ecology. Proceedings of the Northern Quebec Tree-Line Conference. Collection Nordicana No 47: 101–110.
— , Norokorpi, Y., Sepponen, P. 1983. Lapin tutkimusasemien yhteistoiminta ja metsänrajan seuranta. Luonnon Tutkija 87: 171–175.
Kalliola, R. 1973. Suomen kasvimaantiede. WSOY, Porvoo. 308 s.
— 1970. National parks and nature reserves in subarctic regions. Proceedings of the UNESCO Helsinki symposium: Ecology of the subarctic regions.
Kanninen, M. & Anttila, P. (toim.). 1992. Suomalainen ilmakehänmuutosten tutkimusohjelma, tutkimusten väliraportit. Suomen Akatemian julkaisuja 2/92. VAPK-kustannus, Helsinki. 312 s.
Kardell, L. & Ekstrand, A. 1990. Skyddad skog i Sverige, 1. Areal och virkesförråd inom nationalparkerna, naturreservat och domänreservat. Sveriges Lantbruksuniversität, Institutionen för skoglig landskapsvård, Rapport 48. 76 s.

Karjalainen,T., Kellomäki, S., Lauhanen, R., Tuovinen, J. 1991. Ilmaston muutoksen vaikutus metsäekosysteemiin ja metsänkäyttöön: mekanismeja ja kehityssuuntia. Silva Carelica 19. 157 s.

Kauhanen, H. 1987. On growth problems of mountain birch near its distributional limits. Uppsala Universitetets Naturgeografiska Institution. UNGI-rapport Nr 65: 183–190.

— 1988. Erämaa-alueiden luontaiselinkeinot ja monikäyttö. Teoksessa: Komiteanmietintö 1988:39. Erämaakomitean mietintö. Valtion painatuskeskus, Helsinki. 172–184.

Kauppi, P. & Posch, M. 1985. Sensitivity of boreal forests to possible climatic warming. Climatic Change 7: 45–54.

Kaurin, Å., Junttila, O., Nilsen, J. (toim.).1985. Plant Production in the North. Norwegian University Press, Oslo. 356 s.

Kemppi, E. 1989. Kuusen luontainen uudistuminen metsänraja-alueilla. Pro-gradu -työ MMK-tutkintoa varten. Helsingin yliopisto, Metsänhoitotieteen laitos. 79 s.

Kihlman, A. O. 1890. Pflanzenbiologische Studien aus Russisch Lappland. Ein Beitrag zur Kentniss der regionalen Gliederung an der polaren Waldgrenze. Acta Societatis pro Fauna et Flora Fennica 6 (3): 263 s. + 24 liites.

Kilander, S. 1965. Alpine zonation in the southern parts of the Swedish Scandes. Acta Phytogeographica Suecica 50: 78–84.

Kirje valtioneuvostolle. 1982. Lapin suojametsien käyttö. Allekirjoittajina 28 tutkijaa.

Kiviniemi, M.1992. Metsäoikeus. Gummerus, Jyväskylä. 319 s.

Komiteanmietintö 1900:5. Valtionmetsäkomitean mietintö. 269 s. + 40 liites.

Komiteanmietintö 1905:3. Komitealta Lapinmaan taloudellisten olojen tutkimista varten. 463 s.

Komiteanmietintö 1910:7. Suojametsäkomisionin mietintö. 243 s.

Komiteanmietintö 1952:7. Puun maakuljetusolojen kehittäminen. Vuoden 1949 metsätalouskomitean mietintö n:o 1.

Komiteanmietintö 1955:3. Inarin komitean mietintö.

Komiteanmietintö 1988:39. Erämaakomitean mietintö. 238 s.

Komiteanmietintö 1990:32. Saamelaisasian neuvottelukunnan mietintö I. Ehdotus saamelaislaiksi ja erinäisten lakien muuttamiseksi.

Korhola, A. 1990. Suomen metsien kehitysvaiheet. Terra 102 (4): 268–274.

Korpijaakko, K. 1989. Saamelaisten oikeusasemasta Ruotsi-Suomessa. Lakimiesliiton kustannus, Helsinki. 595 s.

— 1991. Samernas rättigheter i den tidigare litteraturen — "teori" eller forskning? Samesymposium. Lapin yliopiston hallintoviraston julkaisuja 15: 23–33.

Koutaniemi, L. 1990. Suomen lämpö- ja sadeolojen viimeaikaisin kehitys. Terra 102(4): 275–283.

Krebs, J. & Barry, R. 1970. The arctic front and the tundra-taiga boundary in Eurasia. Geographical Review LX (4): 548–554.

Krjučkov, V. V. 1967. Pričiny obuslovlivajuščie osobennosti lesotundry. Teoksessa: Tikhomirov, B. A. & Norin, B. N. (toim.). Rastitel´nost´ lesotundry i puti ejo osvoenija. Isdatel´stvo "Nauka", Leningrad s. 35–41.

— 1984. Strategia ohrana prirody Severa. Priroda 1: 38–50.

— 1993a. Ohranjaemye prirodnye territorii Kol´skogo Severa: realnoe polozenie i perspektivy. Teoksessa: Kalabin, G. V. (toim.). Rastitel´nye resursy Evropeiskogo Severa: produktivnast, racional´noe ispolzovanie, ohrana. Kolskij Naucnyj Centr, Rossiskoj Akademii Nauk. Apatity. 102 s.

— 1993b. Geografia Murmanskoi oblasti. Murmanskoe knižnoe izdatel´stvo, Murmansk. 158 s. + 2 liites.

— & Kondratovič, I. I. 1988. Pamjatniki prirody Kol´skogo Severa. Murmanskoe knižnoe izdatel´stvo, Murmansk. 96 s.

— , Kondratovič, I. I. & Andreev, G. N. 1988. Krasnaja kniga ekosistem Kol´skogo Severa. Murmanskoe knižnoe izdatel´stvo, Murmansk. 96 s.

Krylov, T. V. 1961. Lesa zapadnoj Sibiri. Izdatel´stvo Akademii Nauk SSSR, Moskva. 255 s.

Kuhn, T. 1970. The structure of scientific revolutions. Second enlarged edition. International Encyclopedia of Unified Science, 2/Vol. 2. The University of Chicago Press. Chicago. 210 s.

Kujala, V. 1927. Untersuchungen über Waldtypen in Petsamo und in angrenzenden Teilen von Inari-Lappland. Communicationes ex Instituto Quaestionum Forestalium Finlandiae editae 13. 125 s.
Kullman, L. 1979. Change and stability in the altitude of birch tree-limit in the southern Swedish Scandes 1915–1975. Acta Phytogeographica Suecica 65. 121 s.
— 1980. Radiocarbon dating of subfossil Scots pine (Pinus sylvestris L.) in the southern Swedish Scandes. Boreas 9: 101–106.
— 1981. Recent tree-line dynamics of Scots pine (Pinus sylvestris L.) in the southern Swedish Scandes. Wahlenbergia 8: 1–67.
— 1983. Past and present tree-lines of different species in the Handölan valley, Central Sweden. Teoksessa: Tree-line ecology. Proceedings of the Northern Quebec Tree-Line Conference. Collection Nordicana 47: 25–45.
— 1986. Recent tree-limit history of Picea abies in the southern Swedish Scandes. Canadian Journal of Forest Research 16 (4): 761–771.
— 1987. Long-term dynamics of high-altitude populations of Pinus sylvestris in the Swedish Scandes. Journal of Biogeography 14: 1–8.
— 1990a. Dynamics of altitudinal tree-limits in Sweden: a review. Norsk geogr. Tidsskr. 44: 103–116.
— 1990b. Recent natural decline of Swedish montane forests — a review. Teoksessa: Kinnunen, K. & Varmola, M. (toim.). Effects of air pollutation and acification in combination with climatic factors on forests, soils and waters in northern Fennoscandia. Nordic council of ministers, Nord 1990 (20): 146–156.
— 1991. Cataclystic response to recent cooling of a natural boreal pine (Pinus sylvestris L.) forest in northern Sweden. New Phytologist 117: 351–360.
— 1993a. Tree limit dynamics of Betula pubescens ssp. tortuosa in relation to climatic variability: evidence from central Sweden. Journal of Vegetation Science 4: 765–772.
— 1993b. Pine (Pinus sylvestris L.) tree-limit surveillance during recent decades, Central Sweden. Arctic and Alpine Research 25 (1): 24–31.
Kurnaev, S. F. 1973. Lesorastitel'noe rajonirovanie SSSR. Izdatel´stvo "Nauka", Moskva. 202 s.
Kuusela, K. 1974. Metsätalous teollistuvassa Suomessa. SITRA, Helsinki. 160 s.
— 1975. Suoja- ja lakimetsien puusto. Metsä ja Puu 2: 8–9.
Kärkkäinen, K. 1990. Männyn lisääntyminen pohjoisella metsänrajalla. Tutkielma, Oulun yliopisto. Perinnöllisyystieteen laitos. 41 s.
Laestadius, L. 1993. Loca parallela plantarum. Översättning och kommentarer av Georg Gripenstad. Tornedalica Nr 51. I-Tryck/Grafiska Huset, Luleå. 256 s.
Laine, K. M. & Henttonen, H. 1987. Phenolics/nitrogen ratios in the bilberry Vaccinium myrtillus in relation to temperature and microtine density in Finnish Lapland. Oikos 50: 389–395.
Laitakari, E. 1928. Katsaus eri maiden metsälainsäädäntöön. Suomen Metsänhoitoyhdistyksen julkaisuja. Erikoistutkimuksia 12. 83 s.
Lakari, O. J. 1915. Studien über die Samenjahre und Altersklassenverhältnisse der Kiefernwälder auf dem nordfinnischen Heideboden. Acta Forestalia Fennica 5 (1): 216 s.
Landbruksdepartementet, Skogavdelningen. 1992. Forvaltning av vernskog. 14 s.
— & Det Norske Skogselskap. 1993. Skjötsel av fjellskog. Norsk Skogbruk, Oslo. 18 s.
Lapin seutukaavaliitto. 1990. Lapin seutukaavan 4. osa. 80 s. + kartat.
— 1992. Meidän metsät. Sarja A, julkaisu n:o 115. 123 s. + 3 liites.
Larsen, J. A. 1974. Ecology of the northern continental forest border. Teoksessa: Ives, J. D. & Barry, R. (toim.). Arctic and Alpine Environments. Methuen, London: s. 341–369.
— 1980. The boreal ecosystem. Academic Press, New York ym. 500 s.
— 1989. The Northern Forest Border in Canada and Alaska. Biotic Communities and Ecological Relationships. Springer-Verlag, New York. 255 s.
Larsson, E. (toim.). 1987. Fjällskog. Svenska Naturskyddsföreningens årsbok 1987, årgång 78. Sveriges Natur, Stockholm. 140 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: 98 s.

Lauer, W. 1978. Timberline studies in central Mexico. Arctic and Alpine Research 10 (2): 383–396.
Lavrenko, E. M. & Isačenko, T. I. (toim.). 1979. Karta rastitel'nosti Evropejskoj časti SSSR. Botaničeskij institut im. V. L. Komarova, Rossijskaja Akademija Nauk. Sankt-Peterburg.
Lazarev, E. E. & Patsija, E. J. 1991. Sosiala aspekter på de kolska samernas livsföring. Samesymposium. Lapin yliopiston hallintoviraston julkaisuja 15: 201–210.
Lehtinen, A. 1991. Northern natures. A study of the forest question emerging within the timberline conflict in Finland. Fennia 169 (1): 57–169.
— 1993. Uhkat ja uhkakuvat pohjoissuomalaisessa luonnonvarapolitiikassa. Nordia, Sarja B 1: 141–149.
— 1994a. Luonnonharrastajat ja suomalainen metsävaltio – kulttuurisokeus ja yhteiskuntakelpoisuus uusien metsäliikkeiden perimärasitteena. Terra 106 (1): 12–19.
— 1994b. Tales from the northern backwoods-modernization and colonialism in the Eurasiatic taiga. Nordisk Samhällegeografisk Tidskrift 18: 11–21.
Leikola, M. (toim.). 1979. Tutkimustoiminta Lapin metsien hoidon ja käytön suuntaajana. Summary: The role of forestry research in guiding forest policy and management in Finnish Lapland. Silva Fennica 13: (1a): 50 s.
— 1987. Restrictions on forest management close to timber line in Finland. Proceedings of the IUFRO S1.05-12 Symposium in Lapland, Finland. August 16-22, 1987. Northern Forest Silviculture and management. Käsikirjoitus Rovaniemen tutkimusasemalla.
Lihtonen, V. 1949. Piirteitä valtion metsätaloudesta. Suomalaisen Kirjallisuuden Seuran kirjapaino, Helsinki. 46 s.
Linder, P. 1987. Om upprättandet av Domänverkets skogsodlingsgräns. Sveriges skogsvårdsförbundets tidskrift 4: 31–39.
Lindgren, D. 1985. Contortatall – varifrån och vart? Lodgepole pine – where and from where? Institutionen för skoglig genetik och växtfysiologi. Sveriges Lantbruksuniversitet Skoglig. Rapport 4: 159–168.
— 1991. Genetic possibilities to accelerate adaptation of trees at tree limits. Teoksessa: Alden, J., Mastrantonio, J. L. & Ødum, S. (toim.). 1993. Forest Development in Cold Climates. Proceedings of a NATO Advanced Research Workshop on Forest Development in Cold Climates, June 18–23, Laugarvatn, Iceland. NATO ASI Series, Series A: Life Sciences Plenum Press, New York. 244: 299–320.
— (toim.) 1993. Pinus contorta from untamed forest to domesticated crop. Proceedings of a meeting with IUFRO Working Party S2.02.06 "Pinus contorta provenances and breeding" and "Frans Kempe Symposium". Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Forest Genetics and Plant Physiology. Report 11: 416 s.
— , Fries, A & Nilsson, J-E. 1989. Genetic improvement of forest trees at high latitudes with particular reference to lodgepole pine. Forest regeneration at northern latitudes close to timber line. Proceedings, 7th annual workshop on silviculture and management of northern forests: 1985 June 16–20; Luleå, Gällivare and Östersund, Sweden. General Technical Report PNW-GTR-247. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwestern Research Station. 68–73.
Linné, C. von. 1991. Lapin kasveja. Carl von Linnén latinankielisestä teoksesta Flora Lapponica (1737) valikoinut, suomentanut ja selityksillä varustanut Marja Itkonen-Kaila. Suomalaisen Kirjallisuuden Seuran toimituksia 54. 176 s.
Linsser, C. 1867. Die periodischen Erscheinungen des Pflanzenlebens in ihrem Verhältniss zu den Wärmeerscheinungen. Memoires de L'Académie Impériale des Sciences de St.-Pétersbourg. VIIE Serie. Tome XI, 7. 44 s.
Lippmaa, T. 1929. Pflanzenökologische Untersuchungen aus Norwegisch- und Finnisch-Lappland unter besonderer Berücksichtigung der Lichtfrage. Acta Instituti et Horti Botanici Universitatis Tartuensis (Dorpatensis) Vol. II. Fasc. 1-2: 165 s.
Loftsson, J. 1993. Forest development in Iceland. Teoksessa: Alden, J., Mastrantonio, J. L. & Ødum, S. (toim.). Forest Development in Cold Climates. Proceedings of a NATO Advanced Research Workshop on Forest Development in Cold Climates, June 18–23, Laugarvatn, Iceland. NATO ASI Series, Series A: Life Sciences Plenum Press, New York. 244: 453–461.

Luomajoki, A. 1993a. Climatic adaptation of Scot pine (Pinus Sylvestris L.) in Finland based on male flowering phenology. Seloste: Männyn sopeutuminen Suomen ilmastoon hedekukkimisaikojen valossa. Acta Forestalia Fennica 237: 27 s.
— 1993b. Climatic adaptation of Norway spruce (Picea abies (L.) Karsten) in Finland based on male flowering phenology. Seloste: Kuusen sopeutuminen Suomen ilmastoon hedekukkimisaikojen perusteella arvioituna. Acta Forestalia Fennica 242: 28 s.
Lykke, J. 1988. Mot skogens yttergrenser. Teoksessa: Lykke, J. (toim.). Skogen. Gyldendal Norsk Forlag. s. 79–90.
Magga, O. H. 1992. Nordkalotten som naturforvaltningsområde. Samiske perspektiver. Teoksessa: Seminarrapport av Nordisk seminar om FOU-behov og forvaltning av utmarksressursser i Finnmark, Finnmark distrikthögskole, Alta 9.-10. Dec. 1992: 9–17.
Makarova,O. A. & Kondratovič, I. I. 1992. Osabo ohranjaemi prirodnie territorii Murmanskoi oblasti. Rossiskaja Akademii Nauk, Kolskij Nautsnij Centr, Apatity. 68 s.
Mantel, K. 1990. Wald und Forst in der Geschichte: ein Lehr- und Handbuch. Verlag M. & H. Schaper, Hannover. 518 s.
Marr, J. W. 1948. Ecology of the forest-tundra ecotone on the east coast of Hudson Bay. Ecological monographs 17: 117–144.
Martinsson, O., Packee, E. C., Gasparro, A., Lawson,T (toim.). 1989. Forest Regeneration at Northern Latitudes Close to Timber Line. Proceedings of the seventh annual workshop on Silviculture and Management of Northern Forests, Luleå-Gällivare-Östersund, Sweden 16–20 June 1985. IUFRO WP S1.05–12. Northern Forest Silviculture and Management. Published cooperatively by Pacific Northwest Research Station, U.S. Department of Agriculture, Forest Service and Agricultural and Forestry Experiment Station, School of Agriculture and Land Resources Management, University of Alaska Fairbanks, General Technical Report PNW-GTR-247: 73 s.
Massa, I. 1979. Napapaholainen puurajalla. Teoksessa: Carlson, J. (toim.). Suomalaisen sosiologian juures. Suomen Antropologinen Seura, Helsinki. s. 90–108.
— 1983. Ihminen ja Lapin luonto. Lapin luonnonkäytön historiaa. Suomen Antropologinen Seura. Helsinki. 163 s.
— 1985. Lappi huomenna: Vaihtoehtoisen dualismin edellytyksiä ja ongelmia. Lapin tutkimusseuran vuosikirja XXXVI: 23–31.
— 1994. Pohjoinen luonnonvalloitus. Suunnistus ympäristöhistoriaan Lapissa ja Suomessa. Gaudeamus. Tampere. 297 s.
Mather, A. S. 1990. Global Forest Resources. Belhaven Press. London. 341 s.
Mattila, E. & Kujala, M. 1980. Utsjoen, Inarin ja Enontekiön metsävarat 1978. Summary: Forest resources of Utsjoki, Inari and Enontekiö, North Finland, in 1978. Folia Forestalia 436: 21 s.
Mattsson, J. 1987. Ihmisen vaikutus Utsjoen metsänrajametsiin. Turun yliopisto. Maantieteen laitos. Pro gradu-tutkielma. 123 s.
Mattsson, L. 1983. Relationen skogsbruk – rensskötsel. Markanvändning – norr, Rapport 7: 115 s.
Mayer, H. & Ott, E. 1991. Gebirgswaldbau – Schutzwaldpflege. Ein waldbaulicher Beitrag zur Landschaftsökologie und zum Umweltschutz. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 587 s.
Metsähallitus. 1961. Selvitys Inarin ja Utsjoen hoitoalueiden hakkuutoiminnan tulevasta järjestelystä huomioituna, että puun markkinointi suuntautuu etelän suuntaan. Moniste 59 s.
— 1985. Inarin hoitoalueen metsätaloussuunnitelma. Moniste. 158 s. + 188 liites.
— 1991. Metsien hoito. Lappi. 68 s. + 15 liites.
— 1992. Ohje erämaa-alueiden luonnonmukaisesti hoidettavien metsien käsittelystä. 22 s + karttaliite.
Mikola, J. 1991. Provenance and individual variation in climatic hardiness of Scots pine in northern Finland. Teoksessa: Alden, J., Mastrantonio, J. L. & Ødum, S. (toim.). Forest Development in Cold Climates. Proceedings of a NATO Advanced Research Workshop on Forest Development in Cold Climates, June 18-23, Laugarvatn, Iceland. NATO ASI Series, Series A: Life Sciences Plenum Press, New York. 244: 333–342.

Mikola, P.1952. Havumetsien viimeaikaisesta kehityksestä metsänrajaseudulla. Summary: On the recent development of coniferous forests in the timberline region of northern Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 40 (2): 35 s.
— 1959. Metsänviljelyn mahdollisuuksista pohjoisella metsänrajalla. Metsätaloudellinen Aikakauslehti (11): 374–379 ja 389.
— 1970. Forests and forestry in subarctic regions. Ecology of the subarctic regions. Proceedings of the Helsinki UNESCO symposium 1966: 295–302.
— 1971. Reflexion of climatic fluctuation in the forestry practises of Northern Finland. Reports from Kevo Subarctic Research Station 8: 116–121.
— 1978. Concequenses of climatic fluctuation in forestry. Fennia 150: 39–43.
— 1979. Silvicultural practices near the tree-line. Holarctic Ecology 2: 269–271.
Miljöverndepartementet. 1992. Ny landsplan for nasjonalparker og andre större verneområder i Norge. St. meld. nr. 62 (1991–1992). 131 s. + karttaliite.
Moen, A. 1987. The regional vegetation of Norway; that of Central Norway in particular. Norsk geogr. Tidsskr. Vol. 41: 179–226 + karttaliite.
Montell, J. 1904. Om de lappländska skogarnas framtid. Suomen Metsänhoitoyhdistyksen Julkaisuja 20: 103–108.
Mononen, S. 1987. Männynsiemenen siirrot Pohjois-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 278: 80–91.
Morgenstern, E. K. & Mullin, T. J. 1990. Growth and survival of black spruce in the range-wide provenance study. Canadian Journal of Forest Research 20 (2): 130–143.
Mork, E. 1968. Økologiske undersøkelser i fjellskogen i Hirkjølen forsøksområde. Ecological investigations in the mountain forest at Hirkjølen experimental area. Meddelelser fra det Norske Skogforsøksvesen 93: 465–614 + taulukot.
— 1970. Klimaet i fjellskog og skoggrenser og dets betydning for skogens vekst og utbredelse mot snaufjellet. Summary: The climate in mountain forest at the timberline and its influence on the forest's growth and extension in the alpine zone. Tidsskrift for skogbruket 78: 198–208.
Muth, R. M. 1990. Community stability as social structure: the role of subsistence uses of natural resources in southeast Alaska. Teoksessa: Lee, R. G., Field, D. R. & Burch, W. R. (toim.): Community and forestry. Continuities in the sociology of natural resources. Westview Press. Boulder, San Francisco & London. 211–227.
Müller-Wille, L. 1977. The "Lappish movement" and "Lappish affairs" in Finland and their relations to nordic and international ethnic politics. Arctic and Alpine Research 9 (3): 235–247.
— 1979. Das Nordpolargebiet und seine Menschen. Teoksessa: Müller-Wille, L. & Schroeder-Lanz, H. Kanada und das Nordpolargebiet. Geographische Gesellschaft Trier, Trier. s. 53–60.
Mørkved, B. 1990. Granskogens historie i Nord-Norge. Teoksessa: Sveli, A. (toim.). Skogbruk i Nord-Norge – streiftog gjennom historien. Nord-Norges Skogsmannaforbund. 2. utg. 24–30.
Nekrasova, T. P. 1955. Estestvennoe vosobnovlenie eli na Kolskom Severe. Botanièeskij Žurnal 40 (3): 419–426.
Nichols, H. 1976. Historical aspects of the northern Canadian treeline. Arctic 29: 38–47.
Nickul, K. 1935. Eräs Petsamokysymys. Suonikylän alueesta kolttakulttuurin suojelualue. Terra 47: (2–3): 81–105.
— 1970. Saamelaiset kansana ja kansalaisina. Suomalaisen Kirjallisuuden Seura, Helsinki. 324 s.
Niemi, M. 1992. Riekon metsästys elinkeinona ja virkistysmuotona Ylä-Lapissa metsästyskausina 1989/90 ja 1991/92. Maatilahallitus, Helsinki. 86 s.
Nieminen, M. 1983. Suomen porotutkimus. Summary: Finnish reindeer research. Oulanka Reports 4: 114–117.
Nikkanen, T. 1982. Pohjois-Suomen mäntyjen nuorissa siemenviljelyksissä syntyneen siemenen käyttömahdollisuuksista Oulun läänin alueella. Summary: Survival and height growth of North Finland x South Finland hybrid progenies of Scots pine in intermediate areas. Folia Forestalia 527: 31 s.

Nikolov, N. & Helmisaari, H. 1992. Silvics of the circumpolar boreal forest tree species. Teoksessa: Shugart, H., Leemans, R. & Bonan, G. (toim.). 1992. A Systems Analysis of the Global Boreal Forest. Cambridge University Press, Cambridge ym. s. 13–84.

Nilssen, E. & Vorren, K-D. 1987. Skogens invandringshistorie. Teoksessa: Sveli, A. (toim.). Skogbruk i Nord-Norge – streiftog gjennom historien. Nord-Norges Skogsmannsforbund. s. 11–23.

Nilsson, A. 1897. Om Norrbottens växtlighet med särskild hänsyn till dess skogar. Tidskrift för Skogshushållning 25: 139–153.

Nilsson, S., Sallnäs, O., Hugosson, M. & Shvidenko, A. 1992. The forest resources of the former European USSR. The Parthenon Publishing Group, Carnforth, New York. 407 s.

Nordiska Ministerrådet. 1984. Naturgeografisk regionindelning av Norden. 2. ed. Stockholm. 288 s.

— 1994. Naturskogar i Norden. Nord 1994:7. 109 s.

Norin, A. & Payette, S. 1985. Recent expansion of tamarack at the forest limit (northern Quebec). Canadian Journal of Botany 62 (7): 1404–1408 s.

Norin, B. N. 1958. K poznaniju semennogo i vegetativnogo vosobnovlenija drevesnyh porod v lesotundre. Teoksessa: Tikhomirov, B.A. (toim.). Rastitel´nost Krainego Severa SSSR i ejo osvoenie, Izdatel´stvo Akademii Nauk SSSR, Moskva, Leningrad 3: 154–244.

— 1974. Nekatorie problemi izučenija vzaimaotnočenij lesnyh i tundravyh ekosistem. Botaničeskij Žurnal 59 (9): 1254–1269 s.

— 1993. Fitocenoticeskoe stroenie listvennitcih redkolesij samago severnogo v mire lesnogo massiva "Ary-Mas". Botaničeskij Žurnal 78 (12): 53–71 s.

Norokorpi, Y. & Kärkkäinen, S. 1985. Maaston korkeuden vaikutus puusto- ja kasvupaikkatunnuksiin sekä tykkytuhoihin Kuusamossa. Folia Forestalia 632. 24 s.

NOU 1989. Norges offentlige utredninger 1989:10. Flersidig skogbruk. 139 s.

— 1993. Norges offentlige utredinger 1993: Rett till och forvaltning av land og vann i Finnmark. Bakgrunnsmateriale for Samerettsutvalget. Oslo. 619 s.

Numminen, E. 1981. Metsänrajamänniköt ja niiden uudistaminen mielipiteiden ristiaallokossa. Teollisuuden metsäviesti 6–7: 18–21.

— 1987. Seed production of Scots pine close to timberline in Finland. Proceedings of the IUFRO S1.05-12 Symposium in Lapland, Finland. August 16–22, 1987. Northern Forest Silviculture and management. Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusasema.

Nuorteva, M. 1948. Metsänviljelyä männyn metsänrajan pohjoispuolella. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 1–2: 14–16.

Nuorteva, P. 1963. The influence of Oporinia autumnata (Bkh.) (Lep., Geometridae) on the timber-line in subarctic conditions. Annales Entomologia Fenniae 29 (4): 270–277.

Odin, H., Eriksson, B. & Perttu, K. 1983. Temperaturklimatkartor för svenskt skogsbruk. Temperature Climate Maps for Swedish Forestry. Sveriges Lantbruksuniversitet. Rapporter i skogsekologi och skoglig marklära 45: 1–57.

Oinonen, E., Sarvas, R., Sirén, G. 1960. Lapin suojametsien käsittelyohjeet. Metsähallitus. Moniste.

Oksanen, L., Fretwell, S. D., Arruda, J. & Niemelä, P. 1981. Exploitation ecosystems in gradients of primary productivity. The American Naturalist 118: 240–261.

Olofsson, G. 1989. Forest regeneration at high altitudes in Northern Sweden. Teoksessa: Martinsson, O., Packee, E., Gasparry, A., Lawson,T. (toim.): Forest regeneration at northern latitudes close to timber line. Proceedings, 7th annual workshop on silviculture and management of northern forests: 1985 June 16–20; Luleå, Gällivare and Östersund, Sweden. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwestern Research Station.General Technical Report PNW-GTR-247. 11–16.

Osnovy lesnogo zakonodatel´stva Rossiskoi federacii. 1993. "Ekos-inform". Moskva 63 s.

Parmuzin, Ju. P. 1979. Tundrales´e. "Mysl´", Moskva. 296 s.

Paulaharju, S. 1921. Kolttain mailta, kansatieteellisiä kuvauksia Kuollan Lapista. Kustannusosakeyhtiö Kirja, Helsinki. 202 s.

Payette, S. 1980. Fire History at the Treeline in Northern Quebec: A Paleoclimatic Tool. Teoksessa: Stokes, M., Dieterich, J. (toim.): Proceedings of the Fire History Workshop, October 20–24, 1980. Tucson, Arizona. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky

Mountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report RM-81 s. 126–131.
— 1983. The forest tundra and present tree-lines of the Northern Québec-Labrador peninsula. Teoksessa: Tree-line Ecology. Proceedings of the Northern Québec Tree-Line Conference. Collection Nordicana 47: 3–23.
— 1992. Fire as controlling process in the North American boreal forest. Teoksessa: Shugart, H.; Leemans, R. & Bonan, G. (toim.): A system analysis of the global boreal forest. Cambridge University Press, Cambridge: s. 144–169.
— & Filion, L. 1985. White spruce expansion at tree line and recent climatic change. Canadian Journal of Forest Research 15: 241–251.
— & Gagnon, R. 1979. Tree-line dynamics in Ungava peninsula, northern Quebec. Holarctic Ecology 2: 239–248.
— , Morneau, C., Sirois, L. & Desponts, M. 1989. Recent fire history of the northern Quebec biomes. Ecology 70 (3): 656–673.
Perttu, K. 1972. Skogsgränsens beroende av olika klimatologiska och topografiska faktorer. Skogshögskolan. Institutionen för skogsföryngring. Rapporter och Uppsatser Nr 34. 89 s.
Petrof, D. 1992. Siberian forests under threat. The Ecologist 22 (6): 267–270.
Pitterle, A. 1985. Performance of high altitude afforestations in the Alps since 1865: Analyses of damages and chances of success. Teoksessa: Turner, H. & Tranquillini, W. (toim.) Establishment and Tending of Subalpine Forests: Research and Management. Proc. 3rd IUFRO Workshop P 1.07–00, 1984. Eigd. Anst. forstl. Versuchswes., Ber. 270 (1985): 241–250.
Pohle, R. 1917. Wald- und Baumgrenze in Nord-Russland. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 4: 205–229.
Pohtila, E. 1970. Lapin metsä ja porotalous. Teoksessa: Haukioja, M & Lovén, L. (toim.): Niin metsä vastaa... metsät ja luonnonsuojelu. Metsäylioppilaat r.y., Pori. 97–102 s.
— 1977. Reforestation on ploughed sites in Finnish Lapland. Seloste: Aurattujen alueiden metsänviljely Lapissa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 91 (4): 100 s.
— 1980. Climatic fluctuations and forestry in Lapland. Holarctic Ecology 3: 91–98.
— 1987. Effect of site preparation on regeneration results in Lapland. Proceedings of the IUFRO S1.05–12 Symposium in Lapland, Finland. August 16–22, 1987. Northern Forest Silviculture and Management. Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusasema.
— & Timonen, M. 1980. Suojametsäalueen viljelytaimikot ja niiden varhaiskehitys. Folia Forestalia 453. 18 s.
Proceedings of the IUFRO S1.05–12 Symposium in Lapland, Finland. August 16–22, 1987. Northern Forest Silviculture and Management. Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusasema.
Pruitt, W. 1970. Some aspects of the interrelationships of permafrost tundra biotic communities. Teoksessa: Fuller, W. & Kewan, P. (toim.). Proceedings of the conference in northern circumpolar lands, Edmonton, Alberta 15–17 October 1969, IUCN publications new series 16. IUCN, Morges. s. 33–41.
Pöyhönen, V. 1921. Selostus metsäoloista Petsamossa 26.3.1921. 6 s. ja Selostus Petsamon läänin metsistä 30.7.1921. 4 s. Käsikirjoitukset valtionarkistossa 1.
Regel, C. 1935–1941. Die Vegetationsverhältnisse der Halbinsel Kola. 1.–6. Lieferung, Verlag des Repertoriums. Dahlem bei Berlin. 720 s.
Remröd, J. 1976. Val av tallprovenienser i Norra Sverige – analys av överlevnad, tillväxt och kvalitet i 1951 års tallproveniensförsök. Summary: Choosing Scots pine (Pinus sylvestris L.) provenances in Nothern Sweden – analysis of survival, growth and quality in provenance experiments planted 1951. Skogshögskolan Institutionen för Skogsgenetik. Rapporter och Uppsatser 19. 132 s.
Renvall, A. 1912a. Die periodischen Erscheinungen der Reproduktion der Kiefer an der polaren Waldgrenze. Acta Forestalia Fennica 1. 155 s.
— 1912b. Om orsaken till depressionen av tallens skogsgräns. Suomen Metsänhoitoyhdistyksen Julkaisuja 26: 146–179.
— 1915. Kertomus Utsjoen ja Kevon varsilla toimitetuista metsänarvioimistöistä kesinä 1911–1913. Käsikirjoitus valtionarkistossa 484/289/ 16. 194 s.
— 1919. Suojametsäkysymyksestä I–VI. Acta Forestalia Fennica 11. 671 s.

Rikkinen, K. 1981. Man at the timberline: life on the Kola Peninsula in the 1880's. Fennia 159 (1): 201–207.
— 1983. Metsänraja ja ihminen. Teoksessa: Hohti, P. (toim.): Perinteet ja tulevaisuus. Suomen tieteen ulottuvuuksia. WSOY. s. 351–359.
Ritari, A. 1987. Causal effects of site preparation on seedling performance in a Hylocomium-Myrtillus-stand. Proceedings of the IUFRO S1.05-12 Symposium in Lapland, Finland. August 16–22, 1987. Northern Forest Silviculture and Management. Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusasema.
— 1989. Lapin metsämaat puiden kasvualustana. The soils in Lapland as a growing medium of forest trees. Acta Lapponica Fenniae 15: 114–124.
Ritchie, J. C. 1986. Climate change and vegetation response. Vegetatio 67: 65–74.
— 1992. Aspects of the floristic history of Canada. Acta Botanica Fennica 144: 81–91.
Ross, W. 1992. Fire as an agent of change during climate change: implications for northern circumpolar conservation areas. Teoksessa: Third circumpolar universities cooperation conference 30.11.1992–3.12.1992. Abstract. Lapin yliopiston hallintoviraston julkaisuja 23: 40–41.
Rosvall, O. & Hajek, J. 1992. Tidig utveckling, skador och avgång i skogsodlingsförsök med arter av Abies, Picea, Pinus och Larix i områden med kallt klimat. Summary: Early development, injuries and mortality in reforestation experiments of Abies, Picea, Pinus and Larix in cold climate areas. Sveriges Lantbruksuniversitet Institutet för Skogsförbättring. Rapport nr 25. 62 s.
Rousi, M. 1983. Pohjois-Suomen siemenviljelysjälkeläistöjen menestymisestä Kittilässä. Summary: The thriving of the seed orchard progenies of northern Finland at Kittilä. Folia Forestalia 547. 14 s.
Ruotsalainen, S. 1987. Kuusen alkuperäsiirrot korkeilla mailla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 278: 66–79.
— 1992. Vaihtelu pohjoissuomalaisten plusmäntyjälkeläistöjen versosurmakestävyydessä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 437: 60–77.
Saarinen, J. 1994. Erämaaluonteisten virkistysalueiden sosiaalinen kapasiteetti. Esimerkkinä Urho Kekkosen kansallispuiston retkeilijät. Pro gradu- tutkielma. Oulun yliopisto. Maantieteen laitos. 133 s. + 8 liites.
Saastamoinen, O. 1977a. Economics of forest uses in Finnish Lapland. Seloste: Lapin metsien käyttömuotojen taloudellinen merkitys. Silva Fennica 11: 162–168.
— 1977b. Poronhoito ja puuntuotanto.Summary: Reindeer and Forestry. Suomen Luonto 2: 124–127.
— O. 1982a. Economics of Multiple-use forestry in the Saariselkä forest and fell area. Seloste: Metsien moninaiskäytön ekonomia Saariselän metsä- ja tunturialueella. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 104. 102 s.
— 1982b. Metsätalouden harjoittamisen taloudelliset edellytykset Pohjois-Lapissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 77: 24–36.
Sandberg, H. R. 1898. Reseberättelse, afgifven på grund af en med stadsanslag, beviljadt af Kejs. Senaten den 27 April 1892, företagen forstlig studieresa till Inari, Utsjoki och Enontekis lappmarker. Finska Forstföreningens Meddelanden 1, 153 s. + karttaliite.
Sarvas, R. 1964 . Havupuut. WSOY. Porvoo. 518 s.
— 1967. The annual period of development of forest trees. Proceedings of the Finnish Academy of Science and Letters 1965. 211–231.
— 1970a. Metsänrajakysymys ja suojametsävyöhyke. Teoksessa: Haukioja, M., Lovén, L. (toim.) Niin metsä vastaa... metsät ja luonnonsuojelu. Metsäylioppilaat r.y., Pori. s.145–151.
— 1970b. Temperature sum as a restricting factor in the development of forest in the subarctic. Unesco, Helsinki Symposium 1966. Ecology and Concervation. I. Ecology of the subarctic regions. s. 79–82.
Schaanning Kollström, R. 1987. Reindrift — skogbruk i Pasvik. Tilpasning til felles arealbruk. Hovedoppgave ved institutt for naturforvaltning, Norges landbrukshögskole, Ås. Moniste. 111 s.
Schmidt-Vogt, H. 1986–91. Die Fichte. Ein Handbuch in zwei Bänden. Band II in drei Teilbänden. Verlag Paul Parey. 647, 563, 607 ja 781 s.

Schroeter, C. 1926. Das Pflanzenleben der Alpen. Eine Schilderung der Hochgebirgsflora. Verlag von Albert Raustein, Zürich. 1288 s.
Scott, P. A., Bentley, C. V., Fayle, D. C. F. & Hansell, R. I. C. 1987. Crown forms and shoot elongation of white spruce at the treeline, Churchill, Manitoba, Canada. Arctic and Alpine Research, Vol. 19 (2): 175–186.
— , Hansell, R. I. C. & Fayle, D. C. F. 1987. Establishment of white spruce populations and responses to climatic change at the treeline, Churchill, Manitoba, Canada. Arctic and Alpine Research, Vol. 19 (1): 45–51.
Semjonov, B. A. 1993. Problemi predtundravyh lesov. Lesnoe Hozjaitsvo 1: 28–30.
— & Cvetkov, V. F. 1990. Lesorastitel'noe rajoniovanie predtundrovoj zony Europeiskoj časti SSSR. Teoksessa: Semjonov, B.A. (toim.): Severnie lesa, sostojanie, dinamika, antropogennoe vosdeistvie, Arhangelsk. s. 188–199.
Seppälä, M. & Rastas, J. 1980. Vegetation map of northernmost Finland with special reference to subarctic forest limits and natural hazards. Fennia 158 (1): 41–61.
Seppänen, O. 1940. Tuntsa- Oulankajoen sekä Jäämeren päävesistöalueiden metsät ja niiden kaukokuljetusmahdollisuudet. Acta Forestalia Fennica 47 (5): 79 s.
Shugart, H., Leemans, R. & Bonan, G. (toim.). 1992. A Systems Analysis of the Global Boreal Forest. Cambridge University Press, Cambridge ym. 545 s.
Šijatov, S. G. 1967. Kolebanija klimatai vozrastnaja struktura drevevostoev listvennicnyh redkolesij v gorah poljarnogo Urala. Teoksessa: Tikhomirov, B. A. & Norin, B. N. (toim.). Rastitel'nost lesotundry i puti ejo osvoenija. Izdatel'stvo "Nauka", Leningrad. s. 271–278.
Sippola, A-L. & Siitonen, J. 1994. Faunistics of Coleoptera in subarctic pine forests in Finnish Lapland. Luovutettu julkaistavaksi Entomologica Fennica -sarjassa.
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.
— 1958. Eräitä havaintoja keskisuomalaisen ja paikallisen mäntyrodun biologisista ja teknillisistä ominaisuuksista Perä-Pohjolassa. Summary: Some observations on the biological and technical properties of the local and central-finnish pine provenances in North Finland. Silva Fennica 96 (1): 32 s.
— 1960. Suojametsätutkimuksen nykyvaiheita ja sen tulevia suuntaviivoja. Metsätaloudellinen Aikakauslehti (3): 83–90.
— 1961. Skogsgränstallen som indikator för klimatfluktuationerna i norra Fennoskandien under historisk tid. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 54 (2): 66 s.
— 1970. Remarks on current silvicultural research in the Subarctic of Finland. Proceedings of the Unesco Helsinki symposium. Ecology of the subarctic regions.Unesco, Paris. s. 343–349.
— 1987. Reforestation experiments at the pine timberline in northernmost Finland. Proceedings of the IUFRO S1.05–12 Symposium in Lapland, Finland. August 16–22, 1987. Northern Forest Silviculture and Management. Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos. Rovaniemen tutkimusasema.
— 1991. Förskjutningar av tallens skogs- och trädgränser i Fennoskandien i modern tid. Nordenskiöld Samfundets Tidskrift 50: 65–69.
— 1993a. Seed year frequence in the subarctic of Finland: a pilot study. World Resource Review 5 (1): 95–103.
— 1993b. Advances and retreats of pine tree and timberlines in the Far North of Finland. World Resource Review 5 (1): 104–110.
Sirois, L. 1992. The transition between boreal forest and tundra. Teoksessa: Shugart, H., Leemans, R. & Bonan, G. (toim.): A system analysis of the global boreal forest. Cambridge University Press, Cambridge: s. 196–215.
Siuruainen, E. 1983. Arktisten alueiden väestöstä. Teoksessa: Hohti, P. (toim.) Perinteet ja tulevaisuus. Suomen tieteen ulottuvuuksia. WSOY. s. 361–371.
Sjörs, H. 1965. Forest Regions. Acta Phytogeographica Suecica 50: 48–63.
— 1967. Nordisk växtgeografi. Svenska Bokförlaget, Stockholm. 240 s.
Skauge, O. 1993. Reindrift og villrein i Norden. Nordisk Ministerråd, Nordiske seminar- og arbeijdsrapporter 617: 17 s.

Skogsstyrelsen. 1988. Forskningsseminarium Skogsbruk – rennäring-. Meddelande från skogsstyrelsen. Nr 1. 30 s.
— 1989. Skogsbruk i fjällnära skogar. Utredningsrapport juni 1989. 77 s. + liitteet.
Skogsvårdsstyrelsen i Västerbottens län & Länsstyrelsen i Västerbottens län. 1990. Sambruksformer för markanvändningsintressen inom Vilhelmina kommun, inventering, handlingsprogram. 105 s. + liitteet.
Skre, O. 1991. Physiology of plant survival under cold conditions, with particular reference to dark respiration as a factor limiting growth at timberline. A literature review. Meddelelser fra Norsk institutt for skogsforskning 44 (1): 34 s.
— 1993. Growth of mountain birch (Betula pubescens Ehr.) in response to changing temperature. Teoksessa: Alden, J., Mastrantonio, J. L. & Ødum, S. (toim.). Forest Development in Cold Climates. Proceedings of a NATO Advanced Research Workshop on Forest Development in Cold Climates, June 18–23, Laugarvatn, Iceland. NATO ASI Series, Series A: Life Sciences Plenum Press, New York. 244: 65–78.
Slettjord, S. 1993. Development of an environmental forest and arboretum on the outer coast of Finnmark county, Norway. Teoksessa: Alden, J., Mastrantonio, J. L. & Ødum, S. (toim.). Forest Development in Cold Climates. Proceedings of a NATO Advanced Research Workshop on Forest Development in Cold Climates, June 18–23, Laugarvatn, Iceland. NATO ASI Series, Series A: Life Sciences Plenum Press, New York. 244: 437–461.
Sokolov, S., Svyazeva, O. & Kubli, V. 1977. Arealy derev'ev i kustarnikov SSSR I. Akad. Nauk SSSR Bot. Inst. im V.L. Komarova. 164 s. + 91 karttaa.
Solantie, R. 1992. Lämpötilanmuutos Suomessa "vanhasta" normaalikaudesta 1931–1960 "uuteen" 1961–1990. Lapin tutkimusseuran vuosikirja XXXIII: 33–42. Lapin tutkimusseura r.y. Rovaniemi. s. 33–42
Sonninen, M. 1993. Puiden kasvumuodot ja kasvun vaihtelut korkeusvyöhykkeittäin Pyhätunturin kansallispuistossa. Nordia, Sarja B 1: 55–74.
Stern, R. 1983. Human impact on tree borderlines. Teoksessa: Holzner, W., Werger, M. & Ikusima, I. (toim.). Man´s impact on vegetation. Dr Junk Publishers, The Hague-Boston-London. s. 227–236.
— 1988. The consequences of human impact on tree borderlines. Teoksessa: Salbitano, F. (toim.). Human influence on forest ecosystems development in Europe, Proceedings of a workshop held in Trento, Italy 26–29 September 1988. Pitagora Editrice, Bologna. s. 279–286.
Stern, K. & Roche, L. 1974. Genetics of forest ecosystems. Ecological Studies 6. Berlin. Springer Verlag. 330 s.
Stevens, G. & Fox, J. 1991. The causes of treeline. Annual Review of Ecology and Systematics 22: 177–191.
Suomen kartasto. 1988. Vihko 141-143: Elävä luonto, luonnonsuojelu. Maanmittaushallituksen karttapaino. 32 s. + 3 liites.
Suomen Luonto 1977:2. Porotalousnumero. Nature of Finland. Special issue of reindeer husbandry. Summaries of the main articles. Suomen luonnonsuojeluliitto. 65–160 s.
Sulkinoja, M. 1983. Lapin koivut. Teoksessa: Kortesharju, J. (toim.) "Uutta ilmettä Lapin kasvivarojen hyväksikäyttöön". Oulun yliopisto. Pohjois-Suomen tutkimuslaitos C 47: 40–46.
Sveinbjörnsson, B, Nordell, O & Kauhanen, H. 1992. Nutrient relations of mountain birch growth at and below the elevational tree line in Swedish Lapland. Functional Ecology 6: 213–220.
Sveli, A. (toim.).1987. Skogbruk i Nord-Norge – streiftog gjennom historien. Nord-Norges Skogsmannsforbund. 504 s.
Taipale, K. & Saarnisto, M. 1991. Tulivuorista jääkausiin. Suomen maankamaran kehitys. WSOY. 416 s.
Tanner, V. 1919. Die Verteilung einiger Vegetationslinien im finnländischen Enontekis-Lappmark. Fennia 31: 2–9 + karttaliite.
— 1927. Voidaanko Petsamon aluetta käyttää maan hyödyksi? Keinoja ja tarkoitusperiä. Fennia 49 (3): 122 s. + karttaliite.

Tenow, O. 1983. Topoclimatic limitations to the outbreaks of Epirrita autumnata (Bkh.) near the forest limit of the mountain birch in Fennoscandia. Teoksessa: Tree-line Ecology. Proceedings of the Northern Québec Tree-Line Conference. Collection Nordicana 47: 159–164.
Tigerstedt, P. M. A. 1973. Studies on isozyme variation in marginal and central populations of Picea abies. Hereditas 75: 47–60.
— 1979. Genetic adaptation of plants in the subarctic environment. Holarctic Ecology 2: 264–268.
— , Pohtila, E & Nevala, S. 1983. Lehtikuusestako Lapin puulaji? Teoksessa: Kortesharju, J. (toim.). Uutta ilmettä Lapin kasvivarojen hyväksikäyttöön – seminaariraportti, Oulun yliopisto. Pohjois-Suomen tutkimuslaitos C 47: 47–55.
Tikhomirov, B. A. 1953. Bezles'e tundry i ego preodolenie. Botaničeskij Žurnal 38 (4): 513–529 s.
— 1961. The changes in biogeographical boundaries in the North of USSR as related with climatic fluctuations and activity of man. Botanisk Tidsskrift 56 (4): 285–292.
— 1962. Bezles´e tundry ego pričiny i puti preodolenija. Izdatel´stvo Akademii Nauk SSSR, Moskva-Leningrad. 89 s.
— 1963. Principal stages of vegetation development in northern U.S.S.R. as related to climatic fluctuations and activity of man. The Canadian Geopgrapher 7 (2): 55–71.
— 1970. Forest limits as the most important biogeographical boundary in the North. Ecology of the subarctic regions. Proceedings of the Helsinki UNESCO symposium 1966. s. 35–40.
— & Norin, B. N. (toim.). 1967. Rastitel'nost lesotundry i puti ejo osvoenija. Izdatel´stvo "Nauka", Leningrad. 321 s.
Tjulina, L.N. 1936. O lesnoj rastitel´nosti Anadyrskaja kraja i ejo vsaimaotnošenii s tundroj. Trudy Arktičeskogo Instituta Tom XL Geobotanika: s. 7–212.
Tranquillini, W. 1979. Physiological Ecology of the Alpine Timberline. Tree Existence at High Altitudes with Special Reference to the European Alps. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York. 137 s.
Tremblay, M & Simon, J-P. 1989. Genetic structure of marginal populations of white spruce (Picea glauca) at its northern limit of distribution in Noeveau-Quebec. Canadian Journal of Forest Research, 19: 1371–1379.
Treter, U. 1984. Die Baumgrenzen Skandinaviens: Ökologische und dendroklimatische Untersuchungen. Franz Steiner Verlag Wiesbaden GmbH, Wiesbaden. 111 s.
Troll, C. 1973a. The upper timberlines in different climatic zones. Arctic and Alpine Research: 5 (3): A3–A18.
— 1973b. High mountain belts between the polar caps and the equator: Their definition and lower limit. Arctic and Alpine Research 5 (3): A19–A27.
Tseplyaev, V. P. 1965. The Forests of the U.S.S.R. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem. 521 s. + karttaliitteet.
Tuhkanen, S. 1984. A circumboreal system of climatic-phytogeographical regions. Acta Botanica Fennica 127. 50 s. + kartat.
— 1993. Metsänraja suhteessa ilmastoon erityisesti maapallon mereisillä alueilla. Nordia tiedonantoja sarja B 1993 (1): 7–36.
Tuomi, J., Niemelä, P. & Sirén, S. 1990. The Panglossian paradigm and delayed inducible accumulation of foliar phenolics in mountain birch. Oikos 59: 399–410.
Valkonen, S. 1992. Metsien uudistaminen korkeilla alueilla Pohjois-Suomessa. Forest regeneration at high altitudes in Northern Finland. Folia Forestalia 791: 81 s.
Varmola, M. (toim.). 1988. Lapin Metsä 2000 -ohjelma. Lapin lääninhallitus, Rovaniemi. 147 s.
Vasari, Y. 1978. The vegetation zones of northern Scandinavia and their development during the post-glacial period. Lapin Tutkimusseura r.y. Acta Lapponica Fenniae 10: 18–25.
Ve, S. 1951. Stig skoggrensa? Tidsskrift for Skogbruk 59: 305–317.
Venn, K. 1993. Red belts in boreal forests. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 451: 50–54.
Venäläinen, M. 1990. Menestyykö Kolarin ja Jämsän mäntyjen risteytymä Oulujoen rannoilla? Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 361: 1–14.
Viereck, L. A. 1979. Charasteristics of treeline plant communities in Alaska. Holarctic Ecology 2: 228–238.

Viereck, L. & Little, E. 1972. Alaska trees and shrubs. Vol. Agriculture Handbook. Forest service, US Department of Agriculture, Washington D.C. 410. 265 s. + karttaliitteet.
Wahlenberg, G. 1812. Flora Lapponica. Berolini. 550 s.
Wallen, C. 1962. Climate. Teoksessa: Sömme, A. (toim.) A geography of Norden. J.W. Cappelens Forlag, Oslo. s. 42–53.
Walter, H. & Breckle, S. 1986. Spezielle Ökologie der gemässigten und arktischen Zonen Euro-Nordasiens. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 587 s.
Wardle, P. 1973. New Zealand timberlines. Arctic and Alpine Research 5 (3): A127–A135.
— 1974. Alpine timberlines. Teoksessa: Ives, J. D. & Barry, R. G. Arctic and Alpine Environments. Methuen, London. 371–402.
— 1977. Japanese timberlines and some geographic comparisons. Arctic and Alpine research 9 (3): 249–258.
— 1981. Is the alpine timberline set by physiological tolerance, reproductive capacity, or biological interactions? Proc. Ecol. Soc. Aust. 11 (1981): 53–66 s.
— 1993. Causes of alpine timberline: a review of the hypothesis. Teoksessa: Alden, J., Mastrantonio, J. L. & Ødum, S. (toim.). Forest Development in Cold Climates. Proceedings of a NATO Advanced Research Workshop on Forest Development in Cold Climates, June 18–23, Laugarvatn, Iceland. NATO ASI Series, Series A: Life Sciences Plenum Press, New York. 244: 89–103 s.
Westoby, J. 1993. Maailmanmetsä. Kansainvälisen metsätalouden perusteet. Metsätähti. Jyväskylä.
Wibeck, E. 1959. Norrländska skogsodlingsförsök. Redogörelse för Statens Skogsförsöksanstalts norrlandsavdelnings s.k. markberedningsytor. Emil Kihlströms Tryckeri. Stockholm. 255 s.
Yliniemi, J. 1974. Selvitys Suomen porotalouteen kohdistuneesta tutkimustoiminnasta. Lapin Tutkimusseura ry. Moniste n:o 1. Rovaniemi. 27 s.
— & Saastamoinen, O. (toim.).1975. Lapin tutkimuspoliittinen ohjelma. Acta Lapponia Fenniae 9. Lapin tutkimusseura, Rovaniemi. 115 s.
Yoshino, M. M. 1973. Wind-shaped trees in subalpine zone in Japan. Arctic and Alpine Research 5 (3): A115–A126.
Zackrisson, O. 1977. Influence of forest fires on the North Swedish boreal forest. Oikos 29: 22–32.
Zavelskaja, N. A., Zukert, N. V., Poljakova, E. Ju. & Prjažnikov, A. A. 1993. Prognos viljanie izmenenija klimata na boreal'nye lesa Rossii. Lesovedenie 3: 16–24.
Zetterberg, P. & Eronen, M. 1994. Subfossiilisten mäntyjen dendrokronologiset tutkimukset Lapin metsänrajavyöhykkeessä. Summary: Denrochronological studies on subfossil forest-limit pines in Lapland. Acta Universitatis Ouluensis A 251: 108–116.
Žuravskij, A. 1915. Poljarnye okrainy v novom' osveščenie. Izvestija imparatorskaja russkaja geografičeskogo obščeštva Tom LI, Vyp. 4: 237–245.
Ødum, S. 1979. Actual and potential tree-line in the North Atlantic region, especially in Greenland and the Faroes. Holarctic Ecology 2: 222–227.

Rovaniemen tutkimusasemalla ilmestyneet Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja-sarjan julkaisut:

N:o 6 Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1981. 1981.
N:o 35 Päivi Hänninen. Sammalen kemiallinen torjunta taimitarhalla. 1981.
N:o 58 Pohjois-Lapin metsät. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1982. 1982.
N:o 65 Yrjö Norokorpi ja Pentti Sepponen (toim.). Kilpisjärven alueen maankäytön yleissuunnitelma. 1982.
N:o 71 Päivi Hänninen. Alustavia päätelmiä kivivillan käytöstä männyntaimen kasvualustana muovihuoneessa. 1982.
N:o 77 Pohjois-Lapin metsien uudistaminen. 1982.
N:o 95 Jarmo Nieminen. Varttuneet kontortametsiköt Kivalon kokeilualueella. 1983.
N:o 105 Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1983. 1983.
N:o 148 Pentti Sepponen, Vuokko Pitkänen ja Helena Poikajärvi (toim.). Metsien kasvupaikkaluokitus. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1984. 1984.
N:o 157 Erkki Kaila ja Markku Taipale. TUTKA-tiedonhallintaohjelmisto. Tietokannan muodostus ja käyttö. 1984.
N:o 165 Eero Tikkanen ja Hannu Raitio. Pohjois-Suomen aurausalueiden männyntaimien epänormaali kehitys ja olettamus sen syistä. Summary: A hypothesis on the cause of abnormal development of Scots pine saplings on ploughed sites in Northern Finland. 1984.
N:o 186 Eero Tikkanen. Aurausalueen heikkokuntoisten männyntaimien ravinnetaloudesta Pohjois-Suomessa. Abstract: Nutrient metabolism of weakened Scots pine saplings on a ploughed site in Northern Finland. 1985.
N:o 190 Erkki Kaila, Hilkka Kinnunen ja Tapio Timonen. BIB-viitetietokantaohjelmisto. Tietokannan muodostus ja käyttö. 1985.
N:o 196 Olli Saastamoinen ja Helena Poikajärvi (toim.). Tietojärjestelmien kehittäminen metsäalalla. Ajankohtaista tutkimuksesta. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1985. 1985.
N:o 226 Timo Penttilä ja Mikko Honkanen. Suometsien pysyvien kasvukoealojen (SINKA) maastotyöohjeet. 1986.
N:o 242 Esa Taskinen ja työryhmä. Metsäkanalintujen elinympäristövaatimukset – kirjallisuuskatsaus. 1986.
N:o 243 Timo Penttilä ja Martti Varmola (toim.). Lapin kolmion puuntuotannolliset mahdollisuudet. 1987.
N:o 253 Helena Poikajärvi (toim.). Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1986. 1987.
N:o 278 Hannu Saarenmaa ja Helena Poikajärvi (toim.). Korkeiden maiden metsien uudistaminen. Ajankohtaista tutkimuksesta. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1987. 1987.
N:o 345 Anna-Liisa Sippola. Suojelualuetyypit ja kansallispuistojen suojelun toteuttaminen – kahdeksan esimerkkiä. 1989.
N:o 347 Martti Varmola ja Pertti Palviainen (toim.). Lapin metsien terveys. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1989. 1990.
N:o 362 Martti Varmola ja Tuija Katermaa (toim.). Metsänparannus. Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1990. 1990.
N:o 373 Eero Tikkanen and Martti Varmola (eds.). Research into forest damage connected with air pollution in Finnish Lapland and the Kola Peninsula of the U.S.S.R. A seminar held in Kuusamo, Finland, 25–26 May 1990. 1991.
N:o 378 Pentti Vitikka, Heikki Posio & Hannu Saarenmaa. Hyönteistuhoriski keinotekoisessa ylispuiden kelouttamisessa. Summary: Bark beetle damage in conjunction with artificial snag production in Finnish Lapland. 1991.
N:o 407 Hannu Salminen & Tuija Katermaa (eds.). Simulation of Forest Development. Presentations from a symposium held in Saariselkä, Finland, October 12–14, 1991. 1992.
N:o 410 Anna-Liisa Sippola & Juha-Pekka Rauhala. Acerbin keinosta Jerisjärven tielle. Pallas-Ounastunturin kansallispuiston historiaa. 1992.
N:o 413 Heikki Kauhanen & Martti Varmola (toim.). Itä-Lapin metsävaurioprojektin väliraportti. Abstract: The Lapland Forest Damage Project – Interim report. 1992.
N:o 427 Heikki Eeronheimo, Risto Virtanen, Anna-Liisa Sippola, Pentti Sepponen, Sinikka Salmela & Raimo Pikkupeura. Pallas-Ounastunturin kasvillisuus – Ounastunturin Pyhäkeron alue. 1992.
N:o 437 Ari Nikula, Martti Varmola & Marja-Lea Lahti (toim.). Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1992. 1992.
N:o 479 Ari Nikula, Aulis Ritari & Marja-Lea Lahti (toim.). Metsäntutkimuspäivät Rovaniemellä 1993. 1993
N:o 518 Ari Keskimölö. Energiapuun korjuumenetelmien vertailua Kivalon tutkimusalueella. 1994
N:o 522 Ari Keskimölö. Puuenergian hankinta ja käyttö Lapissa. 1994.
N:o 534 Eero Mattila & Ari Keskimölö. Energiapuun korjuumahdollisuuksien arviointi metsän hakkuu- ja hoitoehdotusten perusteella. 1994.

ISBN 951-40-1411-1
ISSN 0358-4283