

Kasvuun vaikuttavat tekijät kuivan kankaan männiköissä Satakunnassa

Karlsson, Kristian

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute - sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja kokouskoosteita yms.

Sarjassa ei käytetä tieteellistä tarkastusmenettelyä.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>
ISSN 1795-150X

Toimitus

PL 18, 01301 Vantaa
puh. 010 2111
faksi 010 211 2102
sähköposti julkaisutoimitus@metla.fi

Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos
PL 18, 01301 Vantaa
puh. 010 2111
faksi 010 211 2102
sähköposti info@metla.fi
<http://www.metla.fi/>

Tekijät Karlsson Kristian			
Nimeke Kasvuun vaikuttavat tekijät kuivan kankaan männiköissä Satakunnassa			
Vuosi 2009	Sivumäärä 23	ISBN 978-951-40-2197-8 (PDF)	ISSN 1795-150X
Yksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Metsäntutkimuslaitoksen Kanuksen yksikkö <ul style="list-style-type: none"> - Hanke 3093: Länsi-Suomen metsien terveydentila - Hanke 3332: Vesitalouden vaikutus puiden kasvuun ja kasvupaikkojen puuntuotoskykyyn Etelä-Suomen kangasmailla 			
Hyväksynyt Jussi Saramäki, Metla, Kannuksen yksikön johtaja, 26.10.2009			
Tiivistelmä <p>Tutkimuksessa selvitettiin 32 karun kasvupaikan männikön kasvua ja siinä tapahtuneita muutoksia Satakunnassa. Useimmat männiköt luokiteltiin jäkälätyypeiksi, mutta puuston perusteella niiden puuntuotoskyky oli tätä parempi ja vastasi vähintään kanervatyypin tuotoskykyä.</p> <p>Kasvun vuotuista vaihtelua tutkittiin puiden sädekasvun perusteella laadituilla vuosilusto-indekseillä. Hämeen- ja Pohjankankaan mäntyjen kasvun vaihtelu vuodesta toiseen riippui kuluvan ja kahden edellisen vuoden kesäkuun sademäärästä. Riippuvuus oli olemassa eri jaksoina ja myös muualla sijaitsevassa saman kasvupaikkatyyppin metsikössä. Kasvun riippuvuus sateisuudesta oli vähentynyt hiukan puiden varttuessa isommiksi. Mäntypistiäisten tuhot näkyivät merkittävinä kasvutappioina erityisesti 1960-luvulla, jolloin kasvu oli noin puolet pitkän ajan keskiarvosta. Säkölänharjulla ja Harjavallassa sateen merkitys kasvutekijänä ei ollut yhtä selvä ja hyönteisten aiheuttamat kasvutappiot olivat pienemmät kuin muilla karuilla kankailla.</p> <p>Säkölänharjun ja Harjavallan männiköiden kasvussa tapahtuneita muutoksia tutkittiin tarkemmin käyttäen Hämeen- ja Pohjankankaan kasvutietoja vertailuaineistona sekä huomioimalla sateen merkitystä kasvutekijänä. Harjavallan tehtaiden ympäristössä kasvu oli kääntynyt selkeään laskuun 1970-luvun aikana ollen enää noin viidennes vertailuna käytetyn mallin kasvuennusteesta 1990-luvulle tultaessa. 1960-luvulla sädekasvu oli vertailutasoa parempaa sekä Harjavallassa että Säkölänharjulla.</p> <p>Hämeen- ja Pohjankankaiden männiköissä on todettu kohonneita teollisuuspäästöistä johtuvia raskasmetallipitoisuuksia. Kasvuun tämä ei ole vaikuttanut, joten alueet sopivat edelleen luontaisten kasvutekijöiden ja puiden kasvun välisten tutkimusten tekemiseen. Vuosilustoihin sisältyvä ilmastosiinaali on karuilla kasvupaikoilla melko voimakas, kun taas muilla boreaalisen vyöhykkeen kasvupaikkatyypeillä kasvuun vaikuttavia ilmastotekijöitä on vaikeaa tunnistaa. Hyönteisten joukkoesiintymät ovat ilmesesti myös sidottu ilmastoon. Näistä syistä Hämeen- ja Pohjankankaan männiköitä tulisi hyödyntää nykyistä enemmän ilmastomuutoksiin liittyvissä tutkimuksissa.</p>			
Asiasanat sädekasvu, pituuskasvu, kasvun vuotuinen vaihtelu, kuivuus, ilmansaasteet, mäntypistiäinen			
Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2009/mwp136.htm			
Tämä julkaisu korvaa julkaisun			
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla			
Yhteydenotot Karlsson, Kristian, Metla, PL 44, 69101 Kannus. Sähköposti kristian.karlsson@metla.fi			
Muita tietoja			

Sisällys

1 Johdanto	5
2 Menetelmät	6
3 Tulokset	8
Mäntykankaiden puuntuotoskyky	8
Tilavuuskasvu	9
Sädekasvun vuotuinen vaihtelu	11
Pituuskasvun muutokset ajan suhteen	14
4 Tarkastelu	16
5 Kirjallisuus	20

1 Johdanto

Metsien kasvupaikkojen luokittelussa karuiksi kankaiksi nimitetään karuihin ja karukokankaisiin kuuluvat kasvupaikkatyypit (Kuusela 1964). Metsätyypeiltään nämä ovat jäkälä- tai kanervatyyppejä. Satakunnassa karuja kankaita esiintyy enemmän kuin muualla Etelä-Suomessa Pohjanmaata lukuun ottamatta (Karlsson 1995). Valtakunnan metsien inventointien mukaan Satakunnassa niiden osuus on noin 6 % kangasmaiden pinta-alasta (%-osuus metsätalousmaan kankaista, liite 1). Osa karuiksi luokitelluista kasvupaikkatyypeistä on moreenimailla, joiden alhainen viljavuus on seurausta runsaasta kivisyydestä. Satakunnassa suurin osa karuista männiköistä sijaitsee kuitenkin lajittuneilla hiekkakankailla, ennen kaikkea Hämeenkanalla, Pohjankankaalla sekä alueella Säköharju–Pori. Geologiselta alkuperältään nämä maat ovat mannerjäätikön sulamisvesien synnyttämiä reunamuodostelmia ja harjuja tai niistä myöhemmin huuhtoutuneita rantamuodostelmia. Geologian tutkimuskeskuksen maaperäkartoituksen mukaan hiekkamaita on yleensä runsaammin länsi-osissa maata: osassa Pohjanmaata, Satakunnassa, Ahvenanmaalla ja Manner-Suomen etelärannikolla (liite 2).

Karujen, lajittuneiden kasvupaikkojen puusto on lähes aina puhdas männikkö. Kanervatyypin männikkö kasvaa yleisten kehityssarjojen mukaan vajaa 17 m korkeaksi sadassa vuodessa ja keskimääräinen tuotos on suuruusluokkaa 2.9 m³ ha⁻¹ vuodessa. Tämä on noin puolet hoidetun eteläsuomalaisen mustikkatyypin männikön tuotoksesta (Koivisto 1959). Mainitut tuotosluvut ovat karkeitä sillä metsän kasvu vaihtelee hyvin paljon myös saman metsätyypin kasvupaikoilla. Lisäksi metsien kasvua ja kehitystä ei ole tutkittu yhtä paljon lajittuneilla, karuilla kankailla kuin muiden kasvupaikkatyypien metsissä johtuen niiden suppeasta esiintymisestä ja vähäisestä puuntuotannollisesta merkityksestä koko maan puunkäyttöä ajatellen.

On arvioitu, että ilmansaasteiden vaikutukset metsien kasvuun näkyvät ensin karuilla kasvupaikoilla (esimerkiksi Hari 1983). Tämä johtuisi niiden happamoitumisherkkyydestä, josta seuraa ravinteiden huuhtoutumista pintakerroksista syvemmälle maahan pois puiden juurten ulottuvilta (Tamminen & Mälkönen 1986). Pääasiallisesti happamoitumisherkkyydestä johtuen metsämaiden ns. kriittinen kuormitus ylittyy suurimmassa osassa Etelä-Suomea (Kämäri ym. 1992).

Metallisulattamot, kuten Outokummun Harjavallan ja Kokkolan tehtaat, kuuluvat maamme suurimpiin yksittäisiin happamoittavien aineiden päästölähteisiin. Näihin teollisuuslaitoksiin kuuluu tai on kuulunut rikkihapon ja lannoitteiden valmistusta, joten niiden ympäristössä sijaitseviin karuihin männiköihin on happamoittavien aineiden ja raskasmetallien lisäksi kertynyt typpiyhdisteitä (Laaksovirta & Sivola 1975, Väisänen 1986). Typpilaskeumalla on lannoittava vaikutus, koska typeistä on pulaa etenkin karuilla kasvupaikoilla (Kukkola & Saramäki 1983). Raskasmetallit vaikuttanevat sen sijaan puiden kasvuun haitallisesti, kun humuksen hajotustoiminta estyy ja ravinteista tulee pulaa (Helmisaari ym. 1994). Metallisulattamoiden päästöjen kasvua rajoittavia vaikutuksia on selvitetty Kuolan niemimaalla tehdyissä tutkimuksissa (Nöjd 1996), mutta siellä päästöt ovat suuruusluokaltaan moninkertaiset esimerkiksi Harjavaltaan nähden.

Tämän osatutkimuksen tavoitteena oli analysoida Satakunnan karujen männiköiden tähänastista kasvua, erottaa tärkeimpiä siihen vaikuttaneita luontaisia kasvutekijöitä sekä selvittää ympäristömuutosten, kuten ilman epäpuhtauksien, mahdollisia vaikutuksia kasvuun.

2 Menetelmät

Tutkimukseen valittujen 28 havaintometsikön männiköiden puusto kartoitettiin ja mitattiin tavanomaisin menetelmin yhdellä koealalla kussakin metsikössä (Metsikkökokeiden maastotyöohjeet 1987). Puiden kasvu määritettiin kairatuista lastuista ja pystypuista arvioitujen pituuskasvujen avulla. Yleiset puustotunnukset laskettiin Metsäntutkimuslaitoksen KPL-ohjelmistolla (Heinonen 1994). Yleisimmät puustotunnukset esitetään alueittain taulukossa 1. Kaksi koepuuta per koeala kaadettiin viidellätoista koealalla ja runkoanalyysin avulla rekonstruoidtiin näiden puiden aiempi pituuskehitys. Kaikki erottuvat pituuskasvut mitattiin kaadetuista puista ja puuttuvat vuotuiset pituuskasvut interpoloitiin käyttäen lustojen lukumääriä eri korkeuksilla Carmean (1972) menetelmällä ja Fabbio ym. (1994) julkaiseman algoritmin mukaan. Kasvupaikoista määritettiin metsätyyppi silmävaraisesti ja mitattiin jäkälien peittävyys maapinta-alasta.

Kasvutiedot analysoitiin ensin osa-alueittain: Hämeen kangas, Pohjankangas, Säköharju ja Harjavalta. Harjavallan aineistoa täydennettiin neljän terveyslannoituskokeen tiedoilla. Täydennys tehtiin, jotta tarkasteluihin saataisiin mukaan metsiköitä aivan Harjavallan tehtaiden lähialueilta. Terveyslannoituskokeet sijaitsivat etäisyyksillä 0,5, 2, 4 ja 8 km tehtaista. Näiden mittaus ja koejärjestelyt on esitetty toisessa julkaisussa (Levula 1993), mutta ne olivat mittausteknisesti edellä mainittuja vastaavia. Olellisin ero koski kaatokoepuita, joiden lukumäärä oli paljon suurempi lannoituskokeissa kuin havaintometsiköissä. Lannoituskokeiden koejärjestelyt eivät vaikuttaneet analyyseihin, koska tässä tarkasteltiin puiden kasvua joko käsittelyä edeltävältä ajalta tai sitten pelkästään kokeiden käsittelemättömien ruutujen osalta.

Yleisten kasvutietojen vertailuaineistona käytettiin karujen kankaiden ja karukkokankaiden puusto- ja kasvupaikkatietoja valtakunnan metsien kuudennen ja seitsemännen inventoinneista (Karlsson 1995).

Mikroskoopilla mitatuista sädekasvuista laadittiin vuosilustoindeksit puukohtaisesti käyttäen ITRDB:n ohjelmistoa (International Tree Ring Data Bank Program Library). Indeksit ilmaisee puun tai puuryhmän kunkin vuoden kasvun suhteellista tasoa, jolloin pitkäaikaiselle keskikasvulle on annettu arvo yksi; sitä isommat arvot ovat keskimääräistä suotuisammasta kasvukaudesta ja sitä pienemmät epäedullisemmasta kasvukaudesta. Eri alueiden tai metsikköryhmien indeksisarjojen samanlaisuutta tarkasteltiin korrelaatiokertoimin. Korrelaatiot laskettiin myös muunnetuille sarjoille, jolloin muunnos oli $\ln(\text{IND}_i) - \ln(\text{IND}_{i-1})$, missä IND_i on vuoden i indeksi ja IND_{i-1} edellisen vuoden indeksi. Tämä muunnos on erittäin vahva standardointi vuosilustoindeksille (tai mitatuille sädekasvuille), koska se tuo esiin muutokset yhdestä vuodesta seuraavaan kasvun absoluuttisen tason ollessa ilman merkitystä (Deusen 1990). Tällöin hyvien ja huonojen kasvukausien ajoittuminen toisiinsa nähden tulee selkeästi esiin sarjoissa (vrt. Nöjd & Reams 1996).

Tarkasteltavien vuosien kuukausittaiset säätekijät ennustettiin neljälle osa-alueelle ennustemallilla, joka käyttää Ilmatieteen laitoksen havaintoja lähimmistä säähavaintoasemista (Ojansuu & Henttonen 1983). Alueittaiset keskiarvot vuosilta 1961–90 ovat taulukossa 1. Vuosilustoindeksien riippuvuus säätekijöistä esitettiin regressioyhtälöllä. Regressiomalleja testattiin kahdessa riippumattomassa aineistossa. Edelleen tutkittiin regressiomallien parametrien pysyvyyttä, eli niiden samanlaisuutta vuodesta toiseen, tekemällä ns. Kalman-suodatusta kaikille selittäjille erikseen ja yhdessä (Visser & Molenaar 1988). Analyysit tehtiin PRECON 4.02 ohjelmistolla (Fritts & Shaskin 1995).

Hämeen- ja Pohjankankaan mäntyjen pituuskasvuista laadittiin valtapuiden pituuskasvumalli, joka oli muotoa:

$$I_H = a \cdot T^b \cdot H^c \cdot e^{d \cdot H}, \text{ missä}$$

I_H = tulevan kasvukauden pituuskasvu

T = puun ikä kasvukauden alussa

H = puun pituus kasvukauden alussa

a, b, c, d , = parametrejä

Hämeen ja Pohjankankaan vuotuisten sädekasvujen perusteella laadittiin valtapuiden kuorettoman läpimitan kasvumalli, joka oli muotoa:

$$I_D = a \cdot T^b \cdot D^c \cdot IND^d, \text{ missä}$$

I_D = tulevan kasvukauden kuorettoman läpimitan kasvu

T = puun ikä kasvukauden alussa

D = puun kuoreton läpimitta

IND = säätekijöillä laskettu vuosilustoindeksi

a, b, c, d , = parametrejä

Mallin mukaista pituuskehitystä verrattiin puuston pituusboniteetin määrittämiseksi laadittuun pituuden kehitysyhtälöön (Gustavsen 1980). Pituuskasvun ja läpimitan ennustemalleja käytettiin kuitenkin ennen kaikkea vaihtoehtoisena tapana kasvuindeksien määrittämiseksi. Tässä tapauksessa kasvuindeksi IND vuonna j oli...

$$IND_j = \frac{\sum (y_i / \hat{y}_i)}{n}, \text{ missä}$$

y_i = puun i :n mitattu kasvu

\hat{y}_i = puun i :n mallilla ennustettu kasvu

n = puiden lukumäärä vuonna j

Indeksin vertailuluku määritettiin siis pituuden tai läpimitan kasvumallilla eikä kunkin puun mitatuista kasvuista, kuten ITRDB -ohjelmistossa tehdään. Koska tärkeimmät säätekijät sisältyivät läpimitan kasvun vertailulukuun, kertoi tämä indeksi sellaisista kasvun tason vaihteluista, jotka johtuivat muista tekijöistä kuin säästä, esimerkiksi ympäristön muutoksista.

Taulukko 1. Puustotunnukset alueittain. Harjavallan tiedot havaintometsiköille I ja lannoituskokeille II.

	Pohjan- kangas	Hämeen- kangas	Säkylän- harju	Harjavalta I	Harjavalta II
Metsiköitä	7	12	5	4	4
Koaloja	7	12	5	4	53
T, a	97	94	97	69	34
$D, \text{ cm}$	17	21	23	18	13
$H, \text{ m}$	14	16	17	17	10
$V, \text{ m}^3 \text{ a}^{-1}$	117	119	150	143	87
Korkeus mpy., m	154	132	113	48	48
Lämpösumma, dd	1118	1167	1247	1273	1273
Sadesumma, mm a^{-1}	600	596	590	570	570

Metsikön T = keski-ikä, D = keskiläpimitta, H = keskipituus, V = runkotilavuus

3 Tulokset

Mäntykankaiden puuntuotoskyky

Silmävaraisen metsätyypiluokituksen perusteella tutkitut männiköt olivat hyvin karuja. Havaintometsiköistä 16 luokiteltiin jäkälätyypeiksi, 10 kanervatyypeiksi ja 2 puolukkatyypeiksi. Jäkälän peittävyys maan pinnassa oli selvästi suuri paino metsätyyppien määrittämisessä (taulukko 2). Puuntuotoskyky oli kuitenkin parempi kuin vastaavilla metsätyypeillä yleensä (taulukko 2 ja 3). Tämä koski erityisesti jäkäläkankaiksi luokiteltuja metsiköitä, joiden pituusboniteetti oli keskimäärin 50 % suurempi kuin mitä sen pitäisi olla jäkäläkankailla tutkimusten mukaan (Gustavsen 1980).

Pituusboniteetti ei korreloinut merkitsevästi jäkäläpeittävyyden kanssa, mutta pituusboniteetin ja maaston korkeuden välinen korrelaatiokerroin oli 0.60 ($p = 0.0007$, $n = 28$) ja pituusboniteetin ja puuston biologisen iän välinen korrelaatiokerroin oli 0.58 ($p = 0.0018$, $n = 28$). Pituusboniteetti laski korkeammalle iässä lämpösumman laskiessa ja vanhoissa puustoissa oli pienemmät boniteetti-arvot kuin nuorissa. Korrelaatiota löytyi myös osa-alueiden sisällä, ei ainoastaan koko aineistossa. Samanlaista riippuvuutta puuston iästä on havaittu lukuisissa tutkimuksissa (Tamminen 1983, Karlsson & Walheim 1996). Pituusboniteettiin liittyviä ongelmia ja näkökohtia yleisemmin on esitetty mm. Ojansuu (2005) kirjoituksessa. Tunnukset ikä ja korkeus merenpinnasta eivät olleet keskenään korreloituneita. Riippuvuudet iästä ja korkeudesta / lämpösummasta aiheuttivat havaitut erot osa-alueiden välillä keskimääräisissä valtapituusboniteetissa (taulukko 3).

Pituusboniteetin määrittäminen perustuu oletukseen, että pituuskehitys on ennustettavissa harhattomasti ja luotettavasti puuston iän ja valtapituuden perusteella. Tätä oletusta testattiin vertaamalla valtapuiden pituuskehitystä kuvaavaa mallia Gustavsenin (1980) bonitointimalliin. Graafisessa tarkastelussa todettiin, että valtapuiden pituuskehitys oli ollut melko samanlaista tutkimuksissa männiköissä kuin valtapituuden kehitys yleisen bonitointimallin mukaan (Karlsson 1995). Kun laaditulla yhtälöllä ennustettiin valtapituus sadan vuoden iällä tutkimuksen jokaiselle männikölle, poikkesivat nämä systemaattisesti hiukan valtapituusboniteetti-arvoista. Alle sadan vuoden ikäisissä männiköissä oli ollut parempi pituuskehitys kuin bonitointimallin mukainen kehitys ja sitä vanhemmissa vastaavasti vähän huonompi. Erot olivat kuitenkin niin pienet (+6 – -4 %), ettei kuva kasvupaikkojen puuntuotoskyvystä muuttunut.

Taulukko 2. Jäkälän peittävyys maan pinta-alasta sekä havaintometsiköille ennustettu pituusboniteetti Gustavsenin (1980) mukaan keskimäärin metsätyypeittäin. Metsätyypin ja pituusboniteetin yleinen riippuvuus on samasta julkaisusta ja koskee Etelä-Suomea.

Metsä- tyyppi	Yleinen H_{100}	Jäkälän peitto (%)	Pituusboniteetti (m)
VT	21	8	17.4
CT	15–18	35	18.7
CIT	12	69	18.5
Keskimäärin		52	18.5

Taulukko 3. Jäkälän peittävyys maan pinta-alasta sekä havaintometsiköille ennustettu pituusboniteetti Gustavsenin (1980) mukaan keskimäärin alueittain.

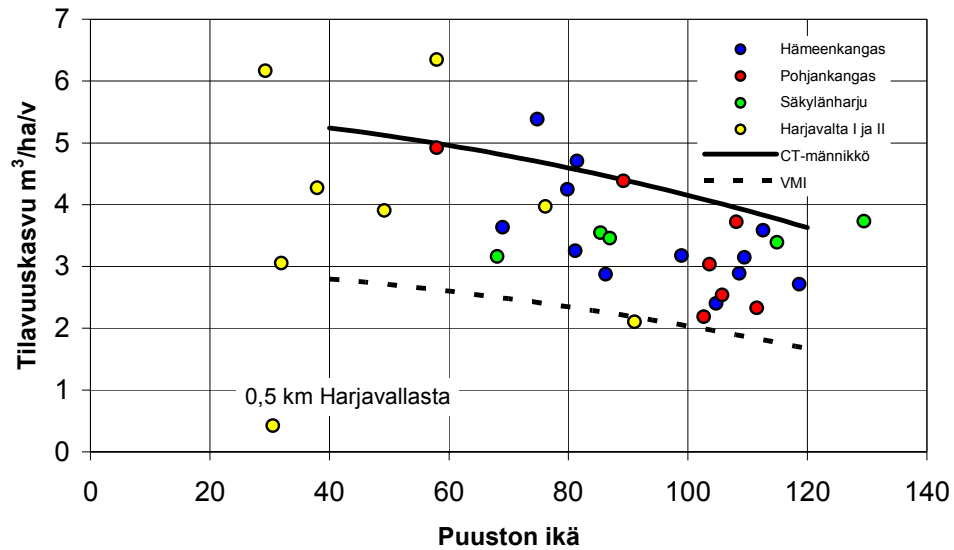
	Pohjan- kangas	Hämeen- kangas	Säkylän- harju	Harjavalta I
Jäkälä (%)	52	59	33	56
Pituusboniteetti (m)	16.4	18.4	19.7	20.9

Starr (1989) löysi selkeän riippuvuuden pituusboniteetin ja jäkäläpeittävyyden välillä Lohtaja-Ullava alueen hiekkakankaiden männiköissä. Myös metsätyyppien keskimääräiset pituusboniteetit olivat yleisen tason mukaiset. Nämä havainnot viittaavat siihen, että tutkimus koski häiriintymättömiä hiekkakankaita, toisin kuin tämä tutkimus, jossa metsätyyppi ja pintakasvillisuus eivät täysin kuvanneet kasvupaikkojen puuntuotoskykyä.

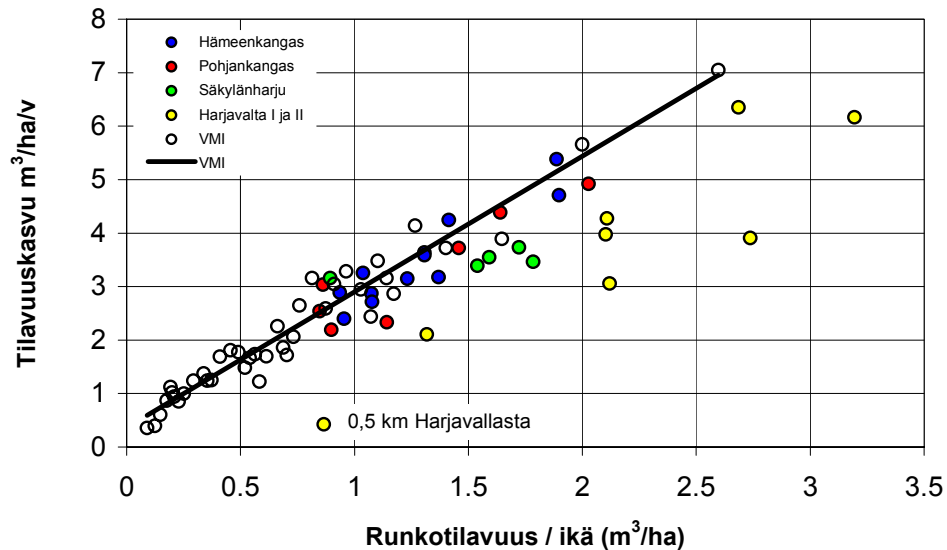
Tilavuuskasvu

Tilavuuskasvun riippuvuutta puuston iästä esitettiin suhteessa valtakunnan metsien inventointien keskimääräisiin kasvulukuihin puolukkatyyppiä huonommista kasvupaikoista sekä suhteessa kehityssarjaan kanervatyypin hoidetusta männiköstä (kuva 1). Tarkastelun perusteella vain yksi metsikkö erottui selvästi muita karuja männiköitä huonommin kasvavana. Tämä metsikkö sijaitsi Harjavallassa 0.5 km tehtaista. Aikaisempien tutkimusten perusteella tämä metsikkö on selvästi saasteiden vaurioittama (Helmisaari ym. 1994). Joidenkin metsiköiden kasvu oli korkeahko suhteessa vertailukäyriin johtuen kasvupaikkojen CIT -metsätyyppiä selvästi paremmasta puuntuotoskyvystä. Hyvä tilavuuskasvu eräissä Harjavallan metsiköissä selittyi lisäksi niiden nuorella iällä. Mikään alue ei muuten erottunut toisista selkeästi huonommalla tai paremmalla tilavuuskasvulla.

Tarkastelu tilavuuskasvusta suhteessa puuston tilavuuteen jaettuna iällä antoi erilaisen kuvan karujen männiköiden kasvusta (kuva 2). Vertailutapa korostaa nykykasvun tason suhdetta aikaisempaan kehitykseen eli kertyneeseen puustopääomaan. Tutkitut männiköt olivat yleensä sekä puustopääomaltaan että nykykasvultaan parempia kuin karut männiköt Etelä-Suomessa keskimäärin (vertailu VMI-tietoihin). Säkylänharjun neljässä metsikössä oli aavistuksen alhaisempi tilavuuskasvu (suhteessa tunnukseen tilavuus / ikä) kuin Hämeen- ja Pohjankankaan metsiköissä. Harjavallan metsiköiden kasvu oli siitä edelleen suhteellisesti katsottuna alhaisemmalla tasolla, mutta hajonta oli myös huomattavan suurta. Ilman epäpuhtauksista kärsinyt metsikkö Harjavallassa erottui myös tässä tarkastelussa sekä alhaisen nykykasvun että alhaisen runkotilavuuden takia. Muuten Säkylänharjulla ja Harjavallassa sijaitsevien metsiköiden erottuminen muista tässä vertailussa on voinut olla seurausta luontaisista eroista metsiköiden ja alueiden välillä, tai metsiköiden vaihtelevasta käsittelystä. Kuvattu tilanne on toisaalta voinut syntyä myös siten, että kasvu on aiemmin ollut nykykasvua huomattavasti parempaa, jolloin puustopääomaa on kasvanut merkittävästi.



Kuva 1. Mittausta edeltäneen viisivuotisjakson keskimääräinen tilavuuskasvu suhteessa puuston ikään havaintometsäkoissa. Vertailukäyrät perustuvat valtakunnan 6. ja 7. metsien inventointien kasvutietoihin kuivahkoa kangasta karummilta kasvupaikoilta sekä kanervatyypin kehityssarjaan Koiviston (1959) mukaan.



Kuva 2. Mittausta edeltäneen viisivuotisjakson keskimääräinen tilavuuskasvu suhteessa puuston tilavuuteen jaettuna iällä. Vertailuhavainnot (piste on 5 koealan keskiarvo) sekä tasoituskäyrä perustuvat valtakunnan 6. ja 7. inventointien kasvutietoihin kuivahkoa kangasta karuimmilta kasvupaikoilta.

Sädekasvun vuotuinen vaihtelu

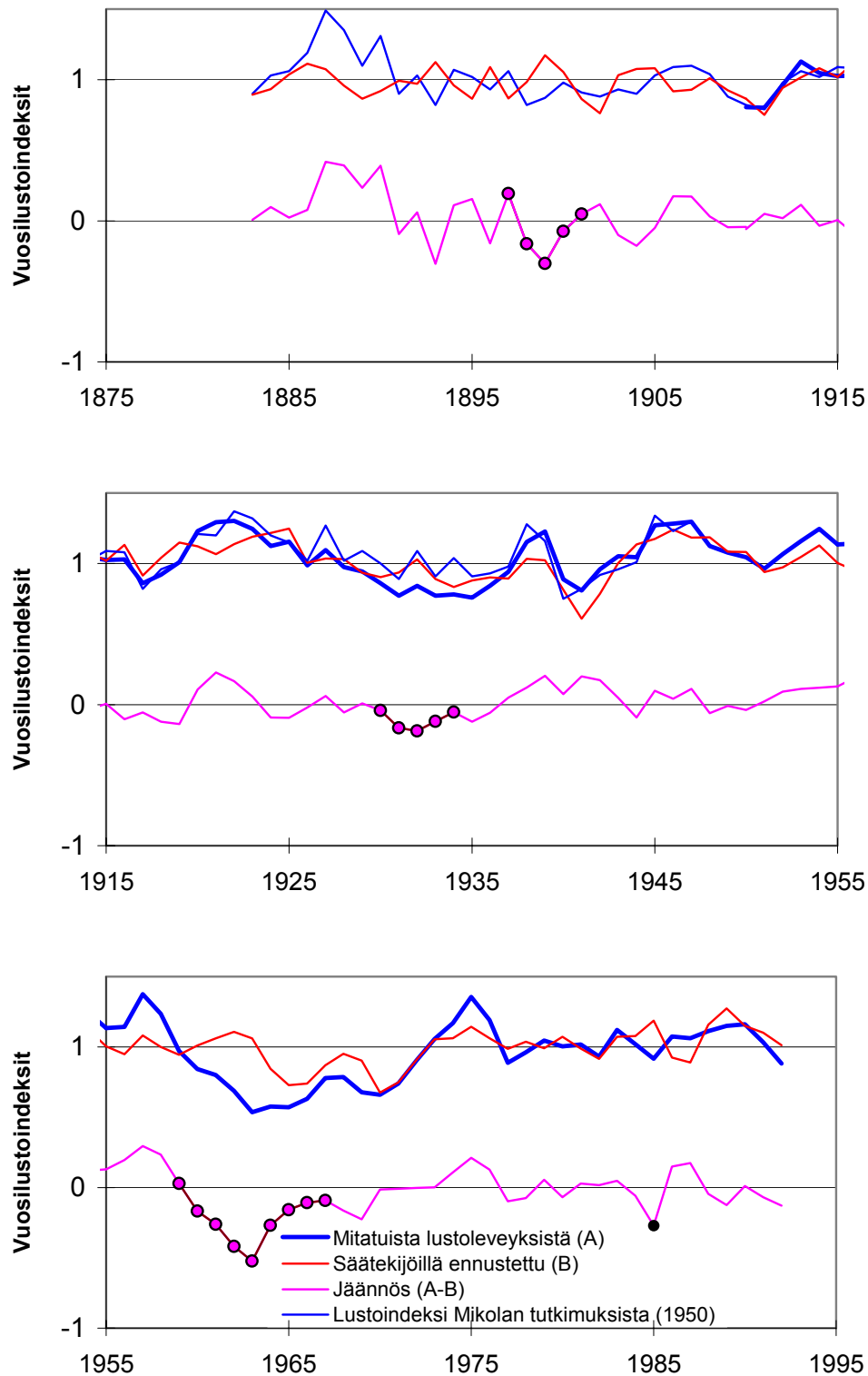
Vuosilustoista lasketut indeksisarjat olivat hyvin samanlaisia Hämeenkanalla ja Pohjankankaalla. Säkölänharjun ja Harjavallan indeksit erosivat näistä hiukan (taulukko 4). Lustosarjoille tehty muunnos osoitti kuitenkin, että hyvien ja huonojen vuosien ajoittuminen oli hyvin samanlaista sekä Säkölänharjulla että Hämeen- ja Pohjakankaalla. Harjavallan muunnettu sarja korreloi kohtalaisesti esimerkiksi Hämeenkanan sarjan kanssa, joten samanlainen ilmastollinen signaali sisältyi myös siihen mutta heikompana. Säkölänharjun ja Harjavallan varsinaisten indeksisarjojen erilaisuus muista ei siten johtunut erilaisesta riippuvuudesta säättekijöistä vaan muista tuntemattomista tekijöistä. Luontaiset, metsiköiden sisäiset ja metsikkökohtaiset vaihtelut sädekasvussa (johtuen kilpailusta, harvennuksesta ym. käsittelyistä) olivat myös jääneet selkeämmin näkyviin keskimääräisiksi tarkoitetuissa indeksisarjoissa, koska metsiköiden lukumäärä oli pieni kuin Harjavallassa (4 metsikköä) ja Säkölänharjulla (5 metsikköä) verrattuna muihin alueisiin (9–11 metsikköä).

Taulukko 4. Alueiden indeksisarjojen väliset korrelaatiokertoimet.

	Hämeen- kangas	Pohjan- kangas	Säkölän- harju
<i>Varsinaiset indeksisarjat</i>			
Pohjankangas	0.75		
Säkölänharju	0.52	0.31	
Harjavalta I	0.07	-0.05	0.56
<i>Muunnatut indeksisarjat (kts. sivu 6)</i>			
Pohjankangas	0.77		
Säkölänharju	0.78	0.70	
Harjavalta I	0.59	0.53	0.76

Kesäkuun sade ja heinäkuun keskilämpötila selitti vuotuisen sädekasvun tasoa Hämeen- ja Pohjankankaan männiköissä (kuva 3). Kasvun taso riippui kuluvaan sekä kahden edellisen kesäkuun sademäärästä sekä kuluvaan heinäkuun lämpötilasta. Riippuvuus sademäärästä oli lievästi käyräviivainen niin, että vaikutus kasvuun heikkeni kesäkuun sadesumman kasvaessa. Perättäisten vuosien vuosilustoindeksit ovat keskenään korreloituneita, joten mallien parametrien tilastollista merkitsevyyttä ei voida laskea luotettavasti. Malleja hyvyttä testattiin tästä syystä toisissa metsiköissä. Toinen testimetsikkö oli Mikolan (1950) tutkimuksista ja toinen Lohtajan hiekkakankailta Pohjanlahden rannikolta (Karlsson 1996). Ennusteissa ei ollut systemaattisia poikkeamia ja ennusteiden keskivirhe (RMSE) oli 0.15 Mikolan (1950) metsikössä Pohjankankaalta jaksolla 1883–1947 ja 0.21 Lohtajan metsikössä jaksolla 1910–1992. Laadinta-aineistossa ennusteen keskivirhe oli 0.13. Ennusteet olivat varsin hyviä ottaen huomioon testiaineistojen ajallinen ja maantieteellinen erilaisuus suhteessa laadinta-aineistoon.

Ennusteiden poikkeamat oikeasta olivat suurempia ennen vuotta 1910 kuin sen jälkeen, mikä osin johtunee silloisesta harvasta sääasemaverkostosta (Ojansuu & Henttonen 1983). Lohtajan testimetsikössä meren lämpötiloja tasaava vaikutus oli ilmeinen, joten sen kohdalla malli, johon toukokuun lämpötila (kevään viileys) sisältyy muuttujana, selitti kasvun tason vaihtelua hiukan paremmin kuin Satakunnan hiekkakankaille laadittu malli (vrt. Karlsson & Walheim 1996).



Kuva 3. Mäntyjen sädekasvun perusteella laadittu vuosilustoindeksi Pohjankankaalle ja vastaava Mikolan (1950) tutkimuksesta. Lisäksi esitetään säätekijöiden perusteella ennustettu indeksi sekä lustoleveysindeksin ja säällä ennustetun indeksin erotus, eli jäännös. Mäntypistiäisten aiheuttamat kasvatappiot ja käpyvuosi (1985) on merkitty palloilla jäännöksen kuvaajassa.

Sää-vuosilustoindeksiyhtälön parametrien oikeellisuutta testattiin myös laskemalla regressiot erikseen jaksoille 1910–50 ja 1950–92. Riippuvuus säätekijöistä oli hyvin samanlaista molempien jaksojen aikana. Samat parametrit osoittautuivat merkityksellisiksi. Kasvun tason riippuvuus säätekijöistä ei kuitenkaan ollut aivan samanlaista koko tutkimusjakson aikana. Mallien selittäjille tehty Kalman-suodatus osoitti, että sademäärän vaikutus kasvuun väheni hiukan 1930-luvusta lähtien. Indeksisarjoihin sisältyvien puiden lukumäärä säilyi samana koko tämän jakson aikana, joten kunkin vuoden indeksiin käytettyjen puiden keski-ikä ja myös keskimääräinen koko kasvoivat tasaisesti vuodesta toiseen. Mäntyjen herkkyyden kuivuudelle väheni ilmeisesti jakson aikana, kun tutkitut puut kasvoivat isommiksi ja pystyivät helpommin turvaamaan vedensaantinsa. Riippuvuus kasvun tason ja sademäärien välillä ei hävinnyt kokonaan vaan regression-kertoimen pieneneminen loppui 1990-luvun taitteessa. Yksinkertainen regressio-kerroin kuluvan kesäkuun sadesumman vaikutuksesta vuosilustoindeksiin pieneni 0.0036:sta 0.0021:een jakson 1930–1992 aikana. Poikkeuksellisen kuiva kesäkuu aiheutti siten samoissa puissa suuremman alenemisen kasvuun 1930-luvulla kuin jakson lopussa 1990-luvulla.

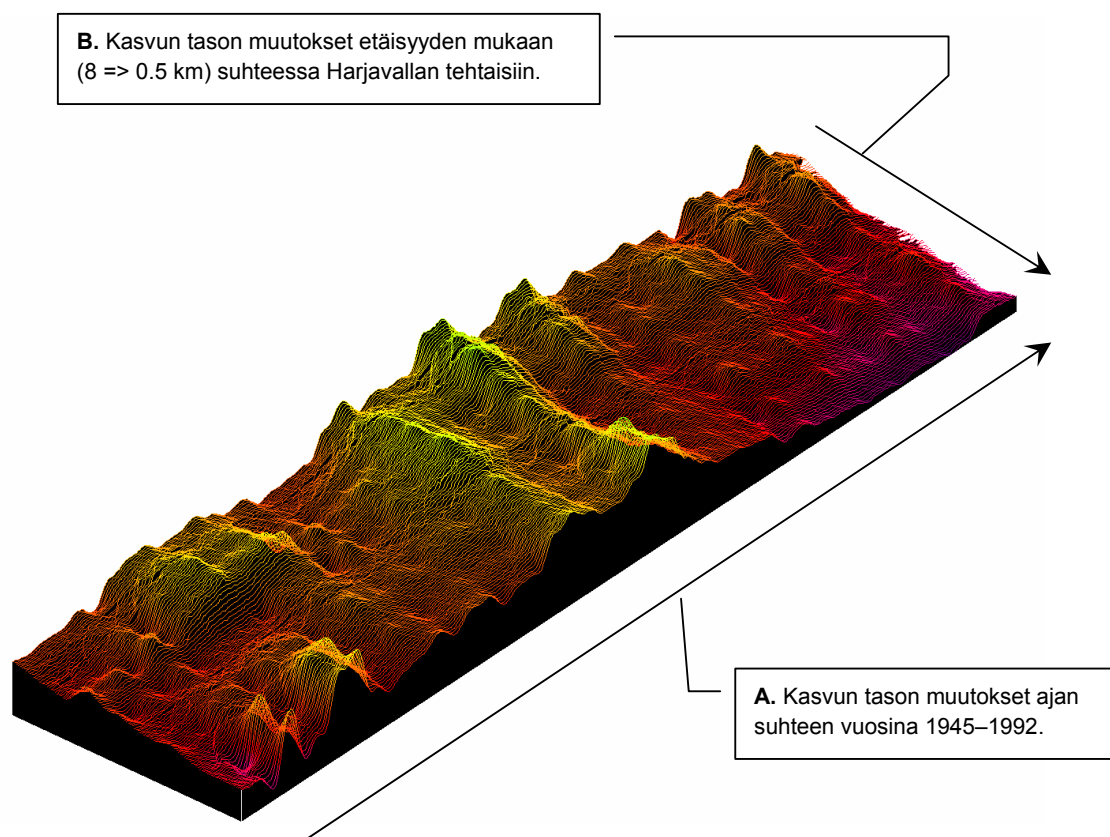
Sädekasvun vaihteluita ei täysin voitu selittää säätekijöillä. 1800-luvun lopussa, 1930-luvulla ja erityisesti jakson 1960–64 aikana kasvun taso oli huomattavan alhainen ilman, että se olisi johtunut epäedullisista säätekijöistä. Kasvutappiot johtuivat mäntypistiäisten neulasia syövien toukkien joukkoesiintymisistä. Näiden hyönteisten joukkoesiintymät ovat yleisiä karuissa männiköissä ja esimerkiksi 1960-luvun alun koko maata kattavat tuhot mainitaan useimmissa metsätuhoja esittävässä oppaissa. Mikolan (1950) ja tämän tutkimuksen yhdistetyistä indeksisarjoista kävi ilmi, että hyönteisten aiheuttamat kasvutappiot 1960-luvulla olivat pahimmat yli sataan vuoteen. Kasvutappiot esiintyivät kaikilla osa-alueilla, mutta ne olivat ankarimmat Pohjan- ja Hämeenkanalla, selvästi pienemmät Säkylänharjulla ja vaikeasti huomattavissa Harjavallassa. Kasvun taso oli alhaisimmillaan vuonna 1963 jolloin se oli 52 % -yksikköä pienempi kuin sääolosuhteiden perusteella ennustetusta kasvusta Pohjankankaalla ja vastaavasti 48 % -yksikköä pienempi Hämeenkanalla ja 22 % -yksikköä pienempi Säkylänharjulla. Harjavallassa jakso oli myös huomattavissa, mutta kasvun taso ylitti silti pitkäaikaisen keskiarvon.

Vuoden 1985 runsas käpyvuosi vähensi myös puiden sädekasvua merkittävästi, mutta muita yhtä selkeitä käpyvuosia ei indeksisarjojen perusteella pystytty erottamaan. Käpyvuosi erottui kaikilla tutkituilla alueilla, kasvun tason ollessa 23–29 % -yksikköä alhaisempi kuin sääolosuhteiden perusteella ennustettu kasvu. Ainoastaan alle 4 km:n etäisyydellä Harjavallan tehtaista käpyvuotta oli vaikeaa erottaa indeksisarjoissa.

Säkylänharjun ja Harjavallan puukohtaisesti laskettuihin vuosilustoindekseihin vaikutti ilmeisesti joitakin ulkopuolisia tekijöitä säätekijöiden lisäksi ja puut olivat myös varsin nuoria. Oli vaikeata määrittää näiden puiden kasvun pitkäaikaista keskitasoa häiriintymättömissä olosuhteissa, koska varsinkin puut lähellä Harjavallan tehtaista olivat melkein koko elinaikanaan olleet saasteiden vaikutuksen alaisina. Sen takia näiden männiköiden kasvun vaihtelua ja sen trendinomaisia muutoksia analysoitiin käyttäen vertailussa kasvumallia, joka perustui Hämeen- ja Pohjankankaan mäntyjen sädekasvuun. Jokaiselle puulle ja kullekin vuodelle ennustettiin läpimitan kasvu kasvumallin avulla. Läpimitan kasvukauden alussa oli selittäjänä mallissa ja sen kautta tuli myös kasvupaikan (silloinen) viljavuus osittain huomioiduksi.

Todellinen kasvu osoittautui ajoittain huomattavasti ennustettua paremmaksi kaikkialla Harjavallan ja Säkylänharjun alueella. Tämän paremman jakson ajoittuminen ja taso vaihteli alueellisesti ja ajallisesti, mutta eräänlainen kasvun huipentuma ajoittui 1960-luvulle (kuva 4).

Selvästi ennustettua heikomman kasvun alue erottui myös. Se rajoittui alle 4 km Harjavallan tehtaista. Kasvun taso oli alhaisimmillaan 22 % ennustetusta 0.5 km tehtaasta ja tarkastelujakson lopussa vuonna 1992. Kuvassa 4 näkyvät arvot kasvun tasosta ovat keskiarvoja saman vuoden ja sijainniltaan ”vierekkäisistä” havainnoista. Etäisyydellä 4–9 km oli viitteitä laskusta kasvun tasossa, mutta paikallista ja ajallista vaihtelua oli enemmän kuin lähialueilla. Ajallisesti kasvun tason laskeva trendi alkoi 1960-lopussa, mutta täysin selvä kasvun taantuminen oli vasta 1970-luvulla. Taantuneen kasvun alue oli laajentunut vain vähän tai ei lainkaan 1970-luvun alusta lähtien. Kasvumallin laadinta-aineistossa, eli Hämeen- ja Pohjankankaalla, näkyivät hyönteistuhot, käpyvuosi ym. luontaiset kasvunvaihtelut kuten em. puukohtaisiin vuosilustoindeksihin perustuvassa tarkastelussa.



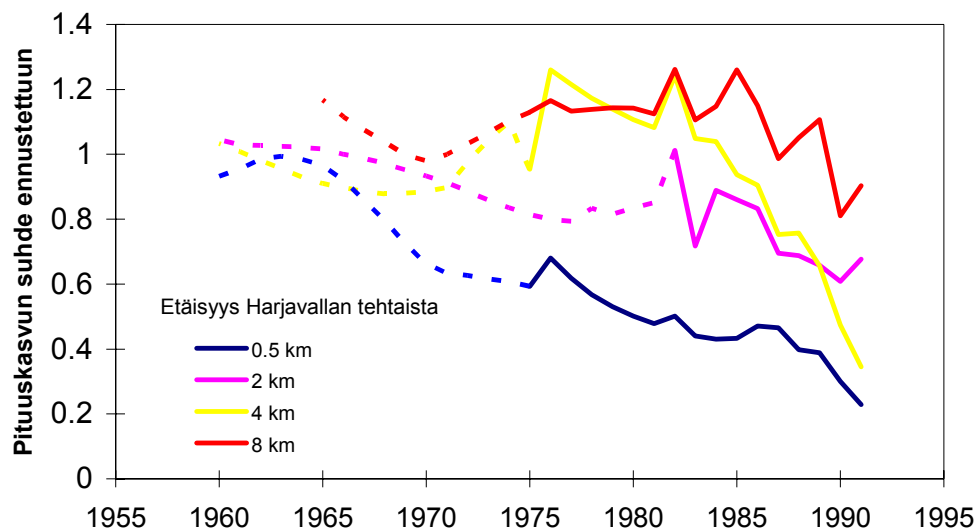
Kuva 4. Mäntyjen kuorettoman läpimitan kasvun taso verrattuna kasvumallin ennusteeseen ajan suhteen (A) sekä suhteessa etäisyyteen Harjavallan tehtaista (B).

Pituuskasvun muutokset ajan suhteen

Pituuskasvun vuotuista vaihtelua tutkittiin Harjavallassa käyttäen lannoituskokeiden kaatokoepuiden pituuskasvutietoja. Puiden lukumäärä oli 169 joten metsikön keskimääräistä pituuskehitystä voitiin rekonstruoida varsin luotettavasti. Metsiköiden lukumäärä oli sen sijaan vain neljä, joten spatiaalisia muutoksia ei voitu tutkia yhtä tarkasti kuin sädekasvun osalta.

Vertailuarvot pituuskasvuille otettiin bonitointiin käytetystä pituuskasvun ennustemallista, jonka parametrit laskettiin erikseen pelkästään Hämeen- ja Pohjankankaan puille.

Tarkastelu osoitti, että pituuskasvu oli taantunut samalla tavalla kuin sädekasvu 0.5 km Harjavallan tehtaista. Kasvu muuttui selkeästi huonommaksi 1960-luvun lopussa (kuva 5). Vuonna 1991 se oli 23 % mallilla ennustetusta. Myös 2 km:n etäisyydellä kasvu oli muuttunut samalla tavalla, mutta taantuminen ei ollut yhtä suurta ja vuoden 1991 kasvu oli 68 % ennustetusta. Viimeksi mainittu poikkeama mahtui luontaisten kasvun vaihtelurajojen sisälle, mutta kehityskulku oli samanlaista kuin lähimmässä metsikössä ja osoitti Harjavallan tehtaiden päästöjä tärkeimmiksi syiksi. Havaintometsiköissä 4 ja 8 km:n etäisyydellä tehtaista oli myös poikkeamia ennustetusta kehityksessä, mutta ne olivat erilaisia kuin lähempänä tehtaista. Molemmista metsiköissä oli havaittavissa lievää paranemista kasvussa vuodesta 1975 alkaen (kuva 5). Vuotuinen pituuskasvu kääntyi vuoden 1982 jälkeen hyvin selvään laskuun 4 km:n etäisyydellä ja myös 8 km etäisyydellä tapahtui tasaantumista kasvussa. Vuoden 1991 pituuskasvu oli enää 34 % vertailutasosta 4 km:n etäisyydellä.



Kuva 5. Mitattujen pituuskasvujen suhde mallilla ennustettuihin keskimäärin ja ajan suhteen terveyslannoituskokeissa eri etäisyyksillä Harjavallan tehtaista. Katkoviivalla esitetyt luvut perustuvat runkoanalyysiin ja ehyet viivat yksittäin mitattuihin pituuskasvuihin.

4 Tarkastelu

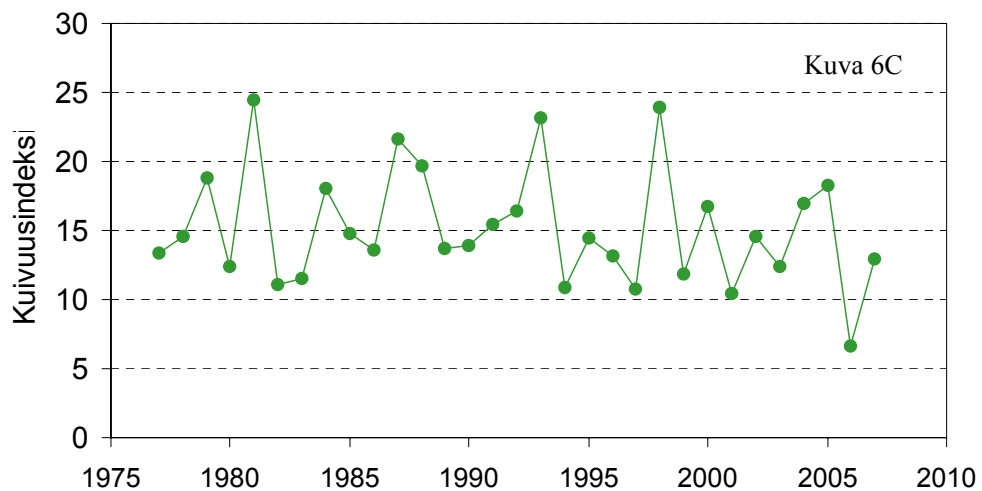
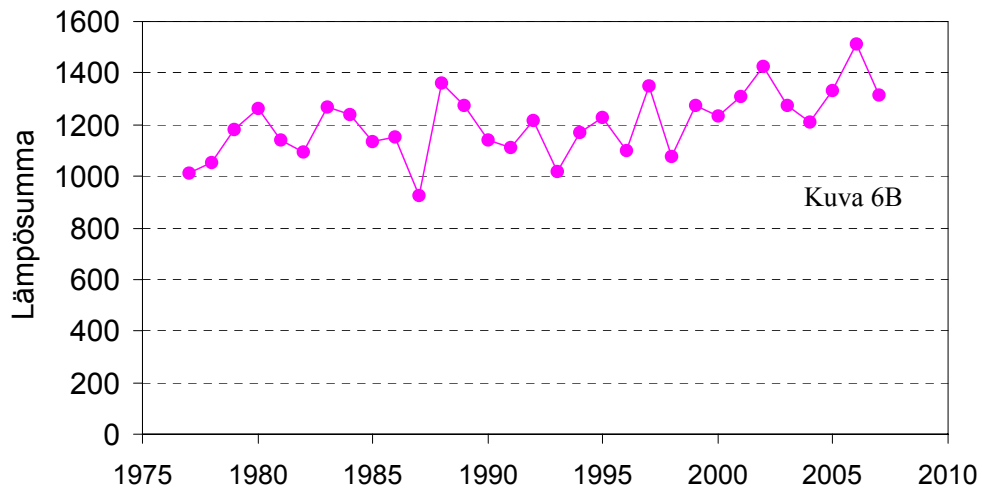
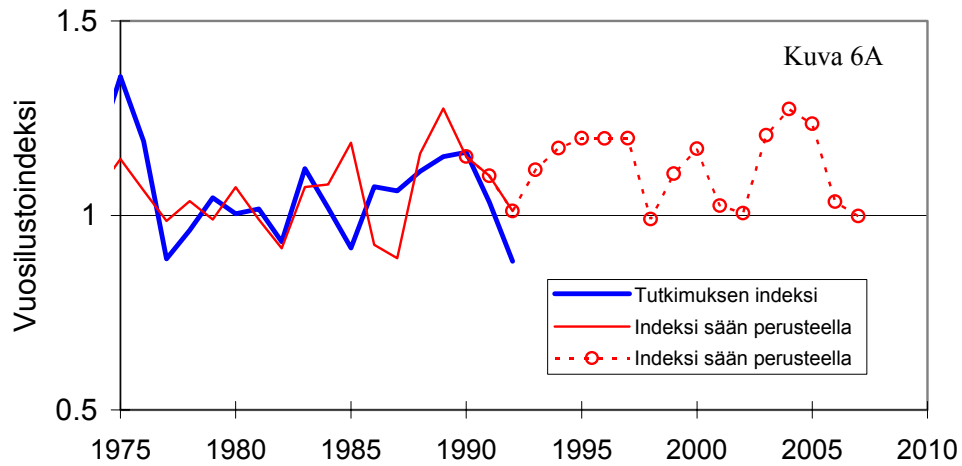
Metsätyypit eivät antaneet oikeaa kuvaa tutkittujen metsiköiden puuntuotoskyvystä. Puuston perusteella puuntuotoskyky oli parempi kuin mitä sen metsätyyppien perusteella olisi pitänyt olla. Tämä voi johtua aiemmista metsäpaloista (Sepponen 1985). On jopa esitetty, että valtaosa Etelä-Suomen jäkäläkankaista olisi syntynyt kanerva- tai puolukkatyypeistä metsäpalojen seurauksena. Tämä tutkimus vahvistaa näitä esityksiä. Laajamittaiset ja voimakkaat tulipalot köyhdyttävät maan pintakerroksia, mutta puuston varttuessa puut pystyvät juuristollaan hankkimaan vettä ja ravinteita laajemmalta alueelta, jolloin puuston tuotos pysyy korkeahkona. Voimakkaina esiintyneiden metsäpalojen pinta-maata köyhdyttävä vaikutus selittäisi osin niitä ravinne- ja vesitalouden häiriöitä ja hyönteistuhoja, joita on todettu lajittuneiden kankaiden nuorissa männiköissä (Raitio 1990, 1993).

Vuosilustoindeksihin perustuvissa tarkasteluissa löydettiin selkeä riippuvuus vuoden sädekasvun tason ja kasvukauden ja erityisesti kesäkuun sateisuuden välillä. Tärkeimmillä säätekijöillä voitiin selittää noin puolet vuosilustoindeksien vaihtelusta. Testit muissa aineistoissa osoittivat, että malleihin oli valittu oikeita säätekijöitä parametreiksi. Toisaalta parametreissa tapahtui jonkin verran muutoksia tarkastelujakson aikana, kun mäntyjen herkkyys sateisuudelle/kuivuudelle väheni niiden varttuessa isommiksi.

Tutkimuksen vuosilustoaineisto ulottui vain 1990-luvulle. Siitä eteenpäin ennustettu kasvun taso näyttää lievästi nousevan trendin (kuva 6A). Vähäsateiset kesät tulevat mallin mukaan huomioiduiksi, mutta kasvu on pääosin pitkän ajan keskiarvon yläpuolella. Tämä johtuu lämpötiloista. Vertailun vuoksi on kuvaan 6B esitetty lämpösumman kehittymistä. Siinä on nouseva trendi: 2000-luvun lämpösummat ovat olleet noin 100 dd astetta korkeammat kuin 1960-70 luvulla.

Keski-Euroopassa koettiin kesällä 2003 poikkeuksellista kuivuutta. Se aiheutti paljon näkyviä ongelmia metsissä ja sen seurauksena aloitettiin laajamittaisia tutkimuksia kuivuuden vaikutusten selvittämiseksi (Impacts of Drought and Heat... 2004). Mainittu kuivuus ei ulottunut yhtä ankarana Suomeen alueelle, mutta eräissä ilmastoskenaarioissa on esitetty sateiden vähenemistä Lounais-Suomessa seuraavien vuosikymmenten aikana (Karlsson 2008). Kuvassa 6C erottuu vuosi 2006 äärimmäisen kuivana kasvukautena. On ilmeistä, että myös Suomessa olisi varauduttava mahdollisiin kuivuusvaikutuksiin jatkamalla tutkimuksia kuivuudelle alttiilla kasvupaikoilla. Näitä ovat hiekkakankaiden lisäksi erilaiset kalliometsät. Lounais-Suomi on myös kokonaisuudessaan alue, jossa kasvukauden aikainen haihdunta ylittää sadannan merkittävästi jo nykyilmastossa. Suomen muut rannikkoalueet ovat erityisesti alkukesän aikana vähäsateisia alueita.

Merkittävä osa kasvunvaihteluista johtui muusta kuin säätekijöiden vaihteluista. Muutama tekijä nousi esiin tarkasteluissa. Syömällä neulasia mäntypistiäistoukat olivat aiheuttaneet suurimmat kasvutappiot karujen kankaiden varttuneissa männiköissä tämän vuosisadan kuluessa. Mäntyjen sädekasvu oli kuitenkin jäänyt puoleen normaalista vaikka mäntypistiäiset joukkoesiintymisensä aikana syövät lähes kaikki neulaset puista useampina perättäisinä vuosina. Tämä osoitti, että varttuneiden puiden kyky toipua tilapäisestä neulaskadosta on erittäin hyvä.



Kuva 6. Mitattu ja säätekijöillä ennustetut kasvuindeksit (A) sekä lämpösumman (B) ja kuivuuden (C) kehitys 30 vuoden ajan. Kuivuusindeksi = kesä-heinäkuun sadesumma / keskilämpötila.

Säätekijöiden ääriarvojen ja tai muuten erikoisten sääolosuhteiden vaikutuksia on vaikeata erottaa tämän tyyppisissä tutkimuksissa niiden harvan esiintymistiheyden vuoksi. Puiden kukkiminen ja käpytuotanto on yksi tapahtuma, joka riippuu hyvin monesta säätekijästä, aiheuttaen selvästi alhaisemman runkopuun tuotoksen sinä vuonna. Selvästi havaittavia käpyvuosia oli vain yksi tarkastelujakson aikana, joten niiden esiintymisen mallittaminen säätekijöillä ei ollut mahdollista vaikka tiedetään, että säätekijät ovat tärkeimpiä selittäjiä runsaan siemensadon esiintymiselle (Leikola ym. 1982). Mäntypistiäisten joukkoesiintymisiä aiheuttavat tekijät ovat puutteellisesti tunnettuja, mutta nekin lienevät osin kytkettävissä säätekijöihin. Tutkituissa vuosilustosarjoissa esiintyi silmiinpistäväää säännöllisyyttä myös hyönteistuhojen ajoittumisessa, viimeisiä vuosikymmeniä lukuun ottamatta. Säännöllisten vaihteluiden eli syklien tulkinta syy-seuraussuhteeksi muodostaa erittäin vaikeasti ratkaistavan tieteellisen ongelman.

Nämä tutkimukset käynnistettiin aikoinaan ilmansaasteiden vaikutusten tutkimusta varten. Siinä ennakoitiin, että happamoitumisen tms. vaikutuksia löydettäisiin myös kauempana päästölähteistä. Pääosin voitiin kuitenkin todeta, että merkittäviä vaikutuksia oli havaittavissa melko lähellä teollisuutta.

Harjavallan tehtaiden päästöjen haitalliset vaikutukset lähimetsiin ovat kiistattomat. Puiden kasvu on taantunut selvästi 1970-luvun aikana alueella, joka sijaitsee alle 4 km tehtaista. Ensimmäiset merkit kasvun heikkenemisestä olivat alkaneet vielä aikaisemmin ja viitteitä kasvun taantumista löytyi osittain laajemmalla alueella 4–8 km:n säteellä tehtaista. Kasvun kiihtyminen 1950- ja 60-luvuilla on jäänyt vähemmälle huomiolle. Ensimmäisissä suomalaisissa ilmansaasteita koskevissa tutkimuksissa tämä ilmiö kuitenkin huomattiin (Hari 1983). Tutkimuksen yhdessä osatarkastelussa oli mukana metsiköitä alueelta Harjavalta – Säkyänharju (Ilvesniemi ym. 1983). Osin näiden tulosten perusteella maiden happamoitumista nostettiin ilmansaasteiden tärkeimmäksi seuraamukseksi Suomen metsissä. Siinä kehitykseen ennakoitiin kulkevan ravinteiden vapautumisesta johtuvan kiihtyvän kasvun vaiheen kautta ravinteiden huuhtoutumisesta aiheutuvaan kasvun taantumiseen. Tämä kehityskulku sopii muuten hyvin tässä tehtyihin havaintoihin, paitsi siinä, ettei kasvu ole kääntynyt laskuun kaikkialla, missä ensin on ollut normaalia korkeampi kasvun taso. Kasvun taantuma rajoittui vain tehtaiden lähialueille Harjavaltaan. Siellä puiden kasvun taantumisen syynä voidaan melko luotettavasti pitää raskasmetallien korkeita pitoisuuksia maassa happamoitumisen sijasta (Helmisaari ym. 1994).

Tehtaiden lähialueilla 1960-luvun hyvät kasvuluvut ovat voineet johtua typpipäästöistä. Ne levisivät silloin pääosin pölyn mukana (Laaksovirta & Sivola 1975). Harjavallan tehtaiden pölyn sisältämä typpi ei sen sijaan ole voinut aiheuttaa kasvun paranemista laajemmalla alueella, mutta muuten typpilaskeuma sopii paremmin parantuneen kasvun selittäjäksi kuin ravinteiden vapautuminen. Kaasumaisia typpiyhdisteitä on levinnyt Harjavalasta, muualla alueella on myös typpipäästöjä aiheuttavia tehtaita ja lisäksi maatalous ja liikenne ovat aiheuttaneet huomattavia päästöjä. 1990-luvulla typpilaskeuma oli edelleen yli 7 kg ha⁻¹ Harjavallassa 0.5 km tehtaista, vaikka päästöt olivat pienentyneet huomattavasti edellistä vuosista ja vuosikymmenistä (Helmisaari ym. 1994). Tavallisten metsälannoitusten kasvureaktioiden perusteella laadittu kasvumalli antaa karun mäntykankaan kasvunlisäykseksi +10 % kerran vuodesta toistuvasta 5 kg ha⁻¹ typpilannoituksesta (Kukkola & Saramäki 1983). Vastaavat lisäykset ovat +20 % 10 kg vuotuisesta typpilannoituksesta ja +30 % 15 kg typpilannoituksesta. Tämän suuruisella typpilaskeumalla saavutettaisiin siten niitä kasvunlisäyksiä, mitä tässä tutkimuksessa havaittiin.

Kasvupaikkojen luontainen viljavuus on menneinä vuosikymmeninä voinut olla parempi Harjavallan – Säköharjun alueella kuin Hämeen- ja Pohjankankaalla johtuen maaperän kerroksellisesta rakenteesta, kuloista tai pohjaveden korkeudesta. Selkeästi erilainen kasvurytmi olisi silloin voinut selittää kasvun kiihtymisen 1960-luvulla, mutta on epätodennäköistä, että tämä olisi tullut esiin niin monissa ja eri ikäluokkiin kuuluvissa havaintometsiköissä ja niin laajalla alueella kuin nyt.

Harjavallan ja muiden teollisuuslaitosten kokonaispäästöt ovat pienentyneet 1960-luvusta lähtien. Samalla ilmansaasteiden ja ilman koostumus on muuttunut. Typpi- ja monien muiden yhdisteiden osuus on nyt huomattavasti suurempi suhteessa rikkidioksidiin kuin ennen. Puiden latvat ovat alttiita ilmansaasteiden suorille vaikutuksille. Pituuskasvussa havaitut muutokset 4 ja 8 km:n etäisyydellä Harjavallan tehtaista voivat olla merkkejä ”uusien” yhdisteiden vaikutuksista. Pituuskasvun kääntyminen laskuun oli hyvin selkeätä 1980-luvun alussa, mutta erilaista kuin raskasmetallien eniten rasittamissa metsiköissä aiemmin. Pituuskasvussa tapahtuneet muutokset voivat olla kokonaistuotoksen vähenemistä tai seurausta kasvun allokoinnista alas rungolla pois saasteiden ulottuvilta.

Maataloutta, liikennettä ja teollisuutta on aina ollut vähemmän Hämeen- ja Pohjankankaan ympäristöissä kuin alueella Pori – Harjavalta – Säkö. Lisäksi ensiksi mainitut alueet nousevat jyrkemmin ympärillä olevasta maastosta, eivätkä siten ole yhtä alttiita yksittäisille, pisteenomaisille päästölähteille. Hämeen- ja Pohjankankaiden männiköissä on todettu kohonneita teollisuuspäästöistä johtuvia raskasmetallipitoisuuksia ennen kaikkea sammaleissa (Kubin ym. 1998). Selviä merkkejä kasvussa tapahtuneista pysyvistä tai pitkäaikaisista muutoksista ei näiltä alueilta kuitenkaan löytynyt. Luontaisten kasvutekijöiden vaikutukset puiden kasvuun tulivat esiin ja olivat verrattain hyvin selitettävissä. Vuosilustoihin sisältyvä ilmastosignaali on karuilla kasvupaikoilla melko voimakas, kun taas muilla boreaalisen vyöhykkeen kasvupaikkatyypeillä ilmastotekijöiden vaikutuksia on vaikea erottaa toisistaan. Hyönteisten joukkoesiintymät ovat ilmeisesti myös sidottu ilmastoon monimutkaisella tavalla. Näistä syistä Hämeen- ja Pohjankankaan männiköitä tulisi hyödyntää nykyistä enemmän ilmastomuutoksiin liittyvissä tutkimuksissa.

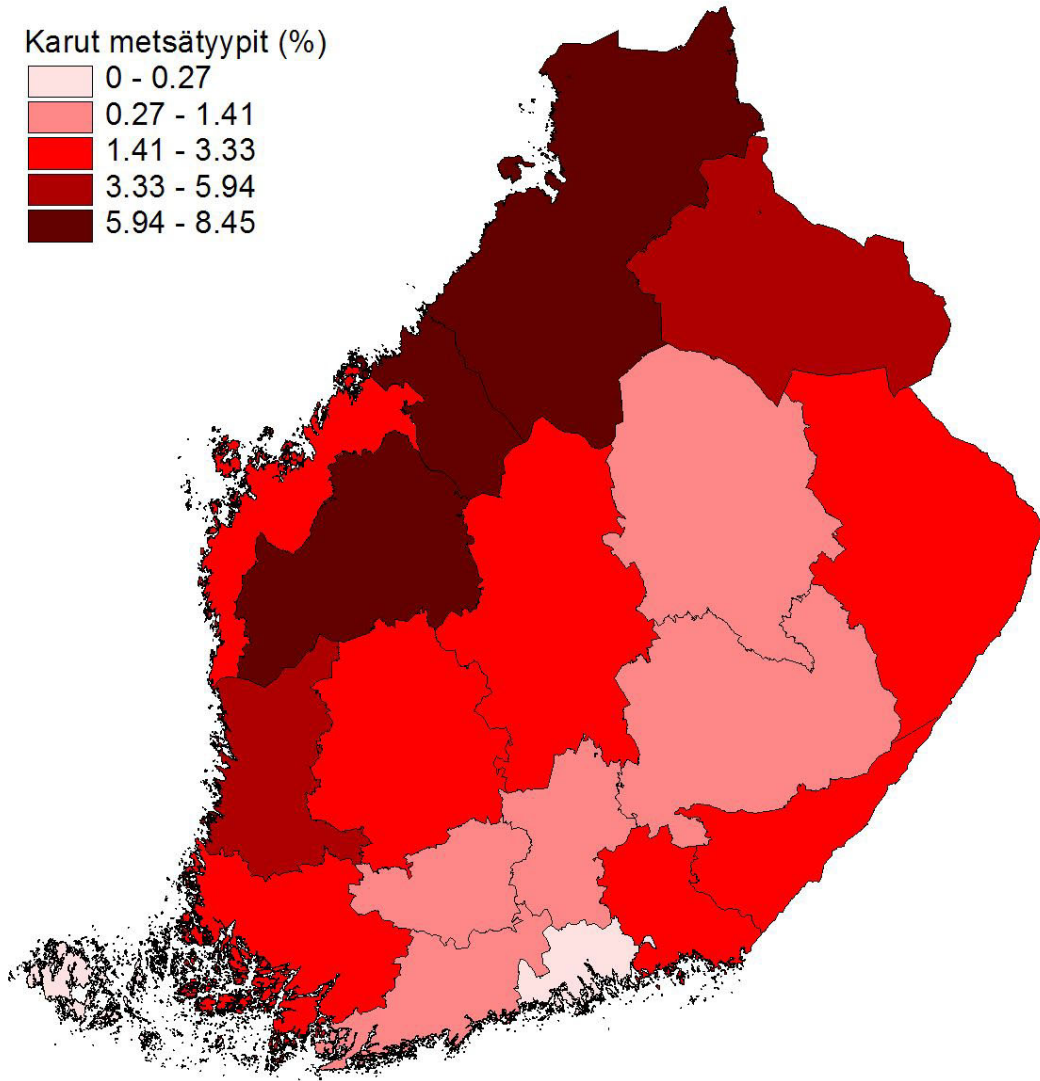
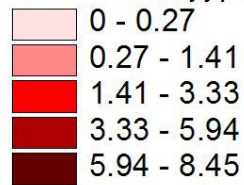
5 Kirjallisuus

- Carmean, W.H. 1972. Site index curve for upland oaks in the Central States. *For. Sci.* 18: 242–250.
- Deusen van, P.C. 1990. A dynamic program for cross-dating tree rings. *Can. J. For. Res.* 20: 200–205.
- Fabbio, G., Frattegiani, M. and Manetti, M.C. 1994. Height estimation in stem analysis using second differences. *For. Sci.*, 40(2): 329–340.
- Fritts, H.C. & Shaskin, V. 1995. Modeling tree-ring structure as related to temperature, precipitation and day length. Kirjassa: Lewis, T.E. (toim.) 1995. Tree rings as indicators of ecosystem health. CRC Press. 210 s.
- Gustavsen, H.G. 1980. Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. Summary: Site index curves for conifer stands in Finland. *Folia Forestalia* 454. 31 s.
- Hari, P. (toim.) 1983. Energiatuotannosta peräisin olevien ilman epäpuhtauksien vaikutus metsien tuottoon. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja 44.
- Heinonen, J. 1994. Koalojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelma KPL. Käyttöohje. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 504. 80 s.
- Helmisaari, H-S., Derome, J., Levula, T., Nieminen, T., Palmgren, K., Salemaa, M., Vanha-Majamaa, I., Reponen, P., Rutter, O. 1994. Metsikön ravinnekierto ilman epäpuhtauksien aiheuttaman kuormituksen osoittajana. Julkaisussa. Mälkönen, E. & Sivula, H. 1994. Suomen metsien kunto. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 527. S. 156–174.
- Ilvesniemi, H., Hari, P., Raunemaa, T., Soteriou, S. & Arovaara, H. 1983. Puiden kasvun muutokset karuilla kasvupaikoilla Suomessa. Julkaisussa: Hari, P. (toim.) 1983. Energiatuotannosta peräisin olevien ilman epäpuhtauksien vaikutus metsien tuottoon. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja 44. 13 s.
- Impacts of Drought and Heat in 2003 on Forests. Abstracts, Scientific Conference 17-19 November 2004, Freiburg, Germany. *Berichte Freiburger Forstliche Forschung*, Heft 57.
- Karlsson, K. 1995. Männiköiden kasvu ja tuotos karuilla kasvupaikoilla. Julkaisussa: Hytönen, J. & Polet, K. (toim.) 1995. Metsäntutkimuspäivä Kälviällä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 540: 42–48.
- Karlsson, K. 1996. Pohjanmaan rannikkoalueen talousmetsien seurantakokeet — Ett nätverk med fasta provytor i Österbottens kustområde. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 606. 41 s.
- Karlsson, K. & Walheim, M. 1996. Kuusikoiden kasvu – Granskogens tillväxt. Julkaisussa: Raitio, H. (toim.) 1996. Kuusikoiden kunto Merenkurkun alueella – Granskogens hälsotillstånd i Kvarkenregionen. Summary: Condition of Norway spruce in the Kvarken region of the gulf of Bothnia. Merenkurkun neuvosto – Kvarkenrådet. s. 83–95.
- Karlsson, K. 2008. Locating forest field experiments according to present and future climate. In: International Conference on Adaptation of Forests and Forest Management to Changing Climate with Emphasis on Forest Health. Book of Abstracts. Swedish Agricultural University, p. 112.
- Koivisto, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Summary: Growth and yield tables. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 51.8. 1–49 s.
- Kubin, E., Lippo, H. & Poikolainen, J. 1998. Raskasmetallikuormitus. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.). Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja - The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 691: 55-61.
- Kukkola, M. & Saramäki, J. 1983. Growth response in repeatedly fertilized pine and spruce stands on mineral soil. Seloste: Toistuvalla lannoituksella saatava kasvunlisäys kivennäismaiden männikoissä ja kuusikoissa. *Commun. Inst. For. Fenn.* 114. 1–55.
- Kuusela, K. 1964. Ehdotus kangasmaiden luokittamiseksi metsätalouden järjestelyä ja pinta-alaverotusta varten metsätyyppien pohjalla. *Metsätaloudellinen aikakauslehti* 81: 137–144.
- Kämäri, J., Forsius, M., Johansson, M., Posch, M. 1992. Happamoitavan laskeuman kriittinen kuormitus Suomessa. Ympäristönsuojeluosaston selvitys III/1992. Ympäristöministeriö. 59 s.

- Laaksovirta, K. & Sivola, J. 1975. Effect of air pollution by copper, sulphuric acid, and fertilizer factories on plants at Harjavalta, W. Finland. *Annales Botanici Fennici* 12: 81–88.
- Leikola, M., Raulo, J. & Pukkala, T. 1982. Männyn ja kuusen siemensadon ennustaminen. *Folia Forestalia* 537. 43 s.
- Levula, T. 1993. Metsien terveydentila Harjavallan ympäristössä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 470: 54–66.
- Mikola, P. 1950. Puiden kasvun vaihtelusta ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. Summary: On variations in tree growth and their significance to growth studies. *Comm. Inst. For. Fenn.* 38.5: 1–131.
- Metsikkökokeiden maastotyöohjeet 1987. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 257. 237 s.
- Nöjd, P. 1996. Effects of emissions from the nickel-copper smelter in Monchegorsk, northwestern Russia, on the radial growth of Scots pine. *Research Papers* 615. The Finnish Forest Research Institute. 52 s.
- Nöjd, P. & Reams, G.A. 1996. Growth variation of Scots pine across a pollution gradient on the Kola Peninsula. *Julkaisussa: Nöjd, P. 1996. Effects of emissions from the nickel-copper smelter in Monchegorsk, northwestern Russia, on the radial growth of Scots pine. Research Papers* 615. The Finnish Forest Research Institute. *Osajulkaisu III*: 1–32.
- Ojansuu, R. 2005. Kasvupaikka ja puuntuotoskyky. Kirjassa: Hynynen, J., Valkonen, S., Rantala, S. (toim.). *Tuottava metsänkasvatus*. s. 49–62.
- Ojansuu, R. & Henttonen, H. 1983. Kuukauden keskilämpötilan, lämpösumman ja sademäärän 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.
- Raitio, H. 1990. Decline of young scots pines in a dry heath forest. *Acta Universitatis Ouluensis. Series A. Scientiae Refrum Naturalium* 216: 1–40.
- Raitio, H. 1993. Hämeen- ja Pohjankankaan metsien tilasta ja taimikkotuhojen syystä kautta aikojen. Teoksessa: Laiho, O. & Luoto, T. 1993. *Metsäntutkimuspäivä Porissa 1992. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 470: 41–49.
- Sepponen, P. 1985. The ecological classification of sorted forest soils of varying genesis in northern Finland. *Seloste: Syntyvaltaan erilaisten lajittuneiden kangasmetsämaiten ekologinen luokittelu Pohjois-Suomessa. Communicationes Institutii Forestalis Fenniae* 129. 77 s.
- Starr, M. R. 1989. Maan kehitys ja viljavuus Pohjanlahden rannikolla. Abstract: Soil formation and fertility in coastal sand deposits along the gulf of Bothnia. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 322: 67–77.
- Tamminen, P. 1993. Pituusboniteetin ennustaminen kasvupaikan ominaisuuksien avulla Etelä-Suomen kangasmetsissä. Summary: Estimation of site index for Scots pine and Norway spruce in south Finland using site properties. *Folia Forestalia* 819. 26 s.
- Tamminen, P. & Mälkönen, E. 1986. Kangasmaiten herkkyys happamoitumiselle. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 210. 25 s.
- Visser, H. & Molenaar, J. 1988. Kalman Filter Analysis in Dendroclimatology. *Biometrics* 44: 929–940.
- Väisänen, S. 1986. Effects of air pollution by metal, chemical and fertilizer plants on forest vegetation at Kokkola, W. Finland. *Annales Botanici Fennici* 23: 305–315.

Liite 1. Teemakartta, jossa esitetään 'karujen kankaiden' osuus metsätalousmaan pinta-alasta maakunnittain. Koillisosat Pohjois-Pohjanmaasta ja Kainuusta sekä Lappi on jätetty pois, jotta aluerajaus olisi sama kuin liitteessä 2. Aineisto: valtakunnan metsien 6. ja 7. inventoinnit © Metsäntutkimuslaitos.

Karut metsätyypit (%)



Liite 2. Teemakartta, jossa esitetään maalajin 'hiekkä (Hk)' osuus Geologian tutkimuskeskuksen maaperäkartoituksen kaikista maalajeista maakunnittain. Koillisosat Pohjois-Pohjanmaasta ja Kainuusta sekä Lappi on jätetty pois pienestä kartoituspinta-alasta johtuen. Aineisto: maaperäaineisto 1:20.000 © Geologian tutkimuskeskus 2009.

Maalaji = Hk (%)

