

Kari Mielikäinen, Mauri Timonen ja Pekka Nöjd

Männyn ja kuusen kasvun vaihtelu Suomessa 1964–1993

Mielikäinen, K., Timonen, M. & Nöjd, P. 1996. Männyn ja kuusen kasvun vaihtelu Suomessa 1964–1993. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 1996(4): 309–320.

Valtakunnan metsien viimeisimmät inventointitulokset osoittavat männyn ja kuusen kasvun alentuneen Suomen eteläosassa selvästi 1990-luvun alussa. Käsitystä kuusten vaikeuksista tukevat eri puolilla Etelä-Suomea löytyvät kuolleet yksilöt. Samantyyppinen ilmiö havaittiin 1930-luvun puolivälissä, jolloin Esko Kangas aloitti tutkimuksensa kuusen kuivumistyypeistä. Tämänkertaisen kuusen kuivumisen syyt ovat herättäneet vilkasta keskustelua sekä tutkija- että maallikkopiireissä. Kuivuus, routa, talviaikainen hengitys sekä otsoni ja erilaiset halogenoitunut hiilivedyt johdannaisineen ovat yleisimpiä arvioita ilmiön syiksi.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin männyn ja kuusen paksuuskasvun vaihtelu 30-vuotiskauden 1964–1993 ajalta. Puukohtaisia vuosilustoindeksijä verrattiin sää tietoihin kuusen viimeaikaisen kasvun alenemisen syiden tutkimiseksi.

Vuosilustoindeksit osoittavat kuusen keskimääräisen kasvun olleen Etelä-Suomessa vuosina 1989–1993 noin 9 % pitkäaikaisen keskiarvon alapuolella. Männyn kasvu oli vuosikymmenen vaihteessa keskimääräistä nopeampaa. Vuosien 1992–1993 indeksit olivat sen sijaan selvästi keskitason alapuolella.

Kasvun vaihtelun alustavat syyanalyytit osoittivat, että Etelä-Suomessa kuusen kasvu on vaihdellut samassa tahdissa touko–kesäkuun sateiden kanssa. Myös runsaat siemenvuodet 1973 ja 1989 erottuivat vuosilustoissa poikkeuksellisen alhaisena kasvuna. Aiemmat arviot siitä, ettei kuivuus yleensä rajoita puiden kasvua Suomessa, eivät saaneet tukea tuloksista.

Asiasanat: mänty, kuusi, kasvuindeksit, kasvun vaihtelu

Kirjoittajien yhteystiedot: *Mielikäinen* ja *Nöjd*, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, 01301 Vantaa. Faksi (09) 8570 5361; *Timonen*, Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema, PL 16, 96301 Rovaniemi. Faksi (016) 336 4640

Hyväksytty 6.11.1996

1 Johdanto

Kasvukauden lämpötilaa on pidetty puiden kasvua eniten rajoittavana tekijänä Suomessa (Hustich 1945, 1978, Mikola 1950, Henttonen 1984, Lindholm 1994, 1996). Veden merkitys kasvun rajoittajana kasvaa etelään mentäessä (Jonsson 1969). Keski-Euroopassa kuusen kasvun on todettu vaihtelevan samaan tahtiin kasvukauden sademäärän kanssa jopa runsassateisissa vuoristoissa (Kahle ym. 1993, Spiecker 1994). Henttonen (1984, 1990) on havainnut sateilla olevan vaikutusta myös Etelä-Suomen mäntyjen ja kuusten kasvuun. Myös Mikolan (1950) havainnot männyn kasvusta kuivilla kankailla ja soilla osoittivat sateilla olevan ääriolosuhteissa vaikutusta puiden kasvuun.

Suomessa kasvunvaihtelun tutkimus on tavallisesti palvellut käytännön metsätaloutta (Tiihonen 1979). Valtakunnan metsien inventointien kasvuluvut on korjattu laadituilla vuosilustoindeksillä vastaamaan säiltään keskimääräisiä olosuhteita. Menettely on mahdollistanut eri ajankohtina mitattujen kasvujen vertailun. Viime vuosina dendroklimatologiset tutkimukset, joissa menneitä säitä ennustetaan puiden vuosilustojen perusteella, ovat yleistyneet myös Suomessa (Lindholm 1996).

Tutkimustulokset teollisuuden ja liikenteen päästöjen vaikutuksista puihin, kuten myös Keski-Euroopassa raportoidut metsätuhot ("Waldsterben", "Neuartige Waldschäden") ovat lisänneet kiinnostusta metsien terveydentilan tutkimusta kohtaan. Puiden kasvun vaihtelu on käyttökelpoinen terveydentilan indikaattori, joka on myös kiinteästi yhteydessä taloudellisiin vaikutuksiin.

Kasvututkimusten tulokset viittaavat kuitenkin selkeästi siihen, ettei Keski-Euroopan metsien kasvu ole heikentynyt vaan pääosin kiihtynyt viime vuosikymmeninä. Ilmakehän kohoavan hiilidioksidipitoisuuden ja typpilaskeuman arvioidaan parantaneen puiden kasvuolosuhteita Euroopassa (Becker ym. 1989), mutta mahdollisesti myös lisänneen puiden herkkyyttä ilmastostressille (Spiecker 1991). Peräkkäisten puusukupolvien vertailu on osoittanut metsien tuotoskyvyn nousseen selvästi viime vuosisadan tasosta (Kenk ym. 1991, Keller 1992, Eriksson ja Johansson 1993, Spiecker ym. 1996). Erityisen selvä kohoava trendi on ollut viimeisten

40 vuoden aikana. Lisäyksen syyt ovat vielä epävarmoja, mutta yhtenä todennäköisenä tekijänä pidetään typpilaskeumaa, joka on Keski-Euroopassa luokkaa 15–40 kg/ha/v.

Teollisuuslaitosten lähiympäristöjen rikki- ja raskasmetallilaskeumien on todettu aiheuttaneen kasvun alenemista ja myös puukuolemia. Montsegorskin metallisulaton ympäristössä Kuolan niemimaalla todettu metsäkuolema-alue ulottuu 5–10 kilometrin etäisyydelle päästölähteistä. Kasvun alenema on havaittu 30–40 kilometrin päässä laitoksista (Nöjd ja Reams 1996).

Valtakunnan metsien viimeisimmät inventointitulokset osoittavat erityisesti kuusen kasvun alentuneen Lounais-Suomessa, Satakunnassa ja Hämeessä selvästi 1980-luvun puolivälin tasolta. Käsitystä kuusten vaikeuksista tukevat eri puolilla Etelä-Suomea löytyvät kuolleet yksilöt. Samantyyppinen ilmiö havaittiin 1930-luvun puolivälissä, jolloin Esko Kangas (1946) teki tutkimuksia kuusen kuivumistyypeistä. Tämänkertaisen kuusen kuivumisen syyt ovat herättäneet vilkasta keskustelua sekä tutkija- että maallikkopiireissä. Kuivuus, rousta, talviaikainen hengitys sekä otsoni ja erilaiset halogenoidut hiilivedyt johdannaisineen ovat yleisimpiä arvioita ilmiön syiksi.

Tässä tutkimuksessa esitetään männyn ja kuusen kasvun vaihtelua kuvaavat vuosilustoindeksit vuosille 1964–1993. Lisäksi verrataan Etelä-Suomen kuusi-indeksejä ilmatieteen laitoksen säähavaintoihin kasvun vaihteluiden syiden selvittämiseksi.

2 Kasvun käsitteellinen malli

Puun pituus- ja paksuuskasvun vuosien välinen vaihtelu aiheutuu ympäristötekijöistä Cookin (1992) esittämän käsitteellisen mallin mukaan seuraavasti:

$$R_t = A_t + C_t + \delta D1_t + \delta D2_t + E_t \quad (1)$$

jossa

R_t = havaittu kasvu

A_t = puun biologisesta iästä aiheutuva trendi vuosiluston leveydessä

- C_t = ilmastosta aiheutuva kasvuvaikutus
 $D1_t$ = metsikön sisäisistä (endogeenisistä) tekijöistä aiheutuva kasvuvaikutus
 $D2_t$ = ulkoisista (eksogeenisistä) tekijöistä aiheutuva kasvuvaikutus ja
 E_t = selittämätön kasvuvaikutus
 t = aika (vuosi)

Ilmastoa kuvaavat tärkeimmät tekijät (C_t) ovat Suomessa lämpötila ja sademäärä. Metsikön sisäisiä tekijöitä ($D1_t$) ovat mm. metsikkörakenne ja puuston tiheys, puiden välinen kilpailu, kukkiminen ja siementuotanto. Ulkoisia tekijöitä ($D2_t$) ovat mm. hakkuut, metsäpalot, hyönteistuhot, taudit, saasteet, tulvat ja myrskyt. $D1_t$:n ja $D2_t$:n yhteydessä esiintyvä parametri δ voi saada arvon 0 tai 1 sen mukaan, vaikuttaako tekijä vuonna t mallissa vai ei. Selittämätöntä kasvun vaihtelua (E_t) aiheuttavat mm. kasvupaikan maaperäominaisuuksien vaihtelu, rinteiden kaltevuussuunta ja mittausvirheet.

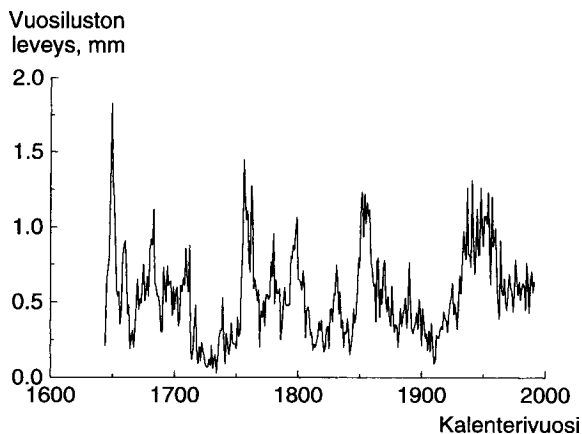
Kaikkien kasvuun vaikuttavien tekijöiden ($A_t \dots E_t$) mallintaminen yhtäaikaisesti on mallitusteknisesti vaikeaa. Usein käytettävissä on havaintoajasarjoja vain muutamista kasvunvaihtelua selittävästä tekijöistä. Siksi on tavanomaista, että jo aineiston keruuta suunniteltaessa pohditaan keinoja tutkittavan signaalin esiinsaamiseksi ja taustakohinan vaimentamiseksi.

3 Aineisto ja menetelmät

3.1 Aineistonvalinta

Kasvun vuosien välistä vaihtelua voidaan kuvata joko vuosilustojen leveyksien tai havupuilla latvakasvainten perusteella. Syynä vuosilustojen yleiseen käyttöön on mittauksen helppous ja tarkkuus. Pituuskasvun tarkka mittaus puuta kaatamatta on mahdotonta. Hankaluuksia aiheuttavat myös erisyytensä kokonaan puuttuvat latvakasvaimet. Tässä tutkimuksessa kasvuindeksit laadittiin pystyjuusta kairattujen lastujen perusteella.

Kasvun ilmastollisen vaihtelun selvittäminen edellyttää, että muut puun kasvuun vaikuttavat tekijät tunnetaan ainakin jossakin määrin tai ne on

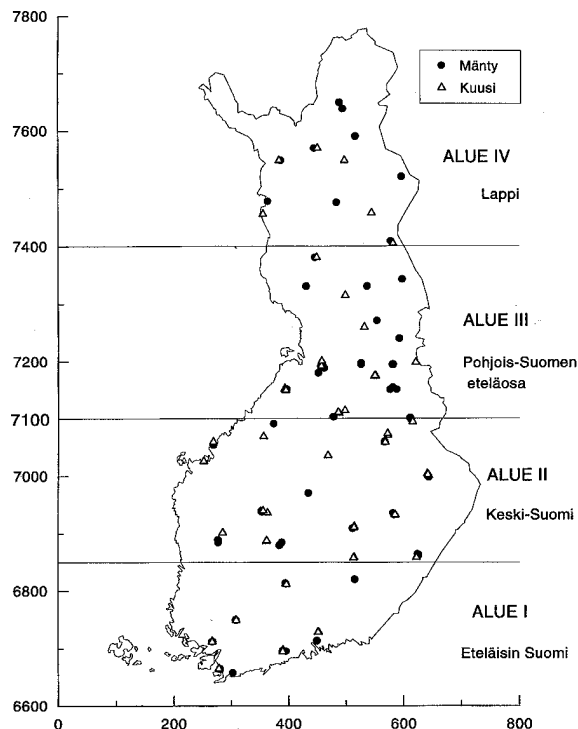


Kuva 1. Inarin Muotkan ruokussa kasvaneen vanhan metsän rajamännyn kasvun vaihtelu vuodesta 1644 vuoteen 1993.

vakioitu. Kuvassa 1 on esimerkki Lapin metsänrajalla kasvavan vanhan männyn kasvun vaihtelusta. Sen vuosilustojen leveydessä näkyy vuosittaisen vaihtelun ohella vuosikymmenien mittaisia kasvutrendejä ja jaksoittaista vaihtelua. Näitä säännöllisiä puiden kilpailuaseman muutoksista aiheutuvia trendejä on vaikea tulkita ilman tietoa metsikköhistoriasta. Puiden välisen kilpailun vaikutusten eliminomiseksi vuosilustotutkimukset keskitetään tavallisesti pitkään hakkaamattomina säilyneisiin harvoihin metsiköihin.

Tutkimusaineiston muodostivat Metlan puuntuotoksen tutkimussuunnan 1980-luvun alussa perustamat valtakunnalliset kasvuindeksikokeet eli VKIP-kokeet, kaikkiaan 114 männikköä ja 99 kuusikkoa eri puolilla Suomea (kuva 2, ks. myös Vuokila 1986). Kukin koe koostui kolmesta metsikköstä, jotka poikkesivat toisistaan iältään.

VKIP-kokeiden perustamisessa sovellettiin puuntuotoksen tutkimussuunnan julkaisussa (Vuokila 1986) esitettyjä periaatteita. Niiden lähtökohtana on minimoida tekijöiden $D1_t$ ja $D2_t$ (malli 1, s. 310) vaikutukset jo kokeita perustettaessa. Tällöin metsiköiden tulee olla luonnontilaisia tai vain lievästi käsiteltyjä. Lisäksi edellytetään, että metsikkö kasvaa harvahkossa asennossa ja että se on terve. Koeputki hyväksytään vain suhteellisen väljässä tilassa kasvavat terveet pää- ja lisävaltapuut. Koeputki valitaan vaihtelevan säteisiltä koelaloilta siten, että



Kuva 2. Valtakunnalliset VKIP-kokeet Suomessa. Osa-alueet I ja II muodostavat tutkimuksessa sovelletun Etelä-Suomen sekä osa-alueet III ja IV Pohjois-Suomen alueen. Raja kulkee P-yhtenäiskoordinaatin 7100 kautta.

yhdelle osakoealalle tulee keskimäärin 30 koepuuta, joista kairataan 10 koepuuta.

Vuotuisen kasvuindeksin tarkkuustavoitteeksi asetettiin 2,5 prosentin keskivirhe tulostusositetta kohti. Keskivirheellä tarkoitetaan tässä yhteydessä otoskeskiarvon keskivirhettä. Keskivirhetavoitteen toteuttavat otoskoot 250–300 puuta/osite määriteltiin kasvun variaatiokertoimeen perustuvalla menetelmällä (Roiko-Jokela 1979).

Otokseen poimittiin 111 metsikköä ja 1 223 koepuuta (taulukko 1). Mäntykokeet painottuivat Pohjois-Suomessa kuivahkoille kankaille ja Etelä-Suomessa lisäksi kuiville kankaille (aluejako kuvassa 2). Kuusikokeet sijoituivat lähes poikkeuksetta tuoreille kankaille. Pohjois-Suomen kuusikoeput ja kaktuivat tasaisesti eri ikäluokkiin, mutta Etelä-Suomen kuuset olivat keskimääräistä nuorempia. Koko aineiston keski-ikä oli 78 vuotta rinnankor-

keudelta. Mäntylustojen keskileveys oli lähes sama sekä Etelä- että Pohjois-Suomessa (1,31 ja 1,28 mm). Kuusen vastaavat arvot olivat 1,31 ja 1,62 mm.

Vuosilustojen leveys mitattiin lustomikroskopiolla 1/100 mm:n tarkkuudella. Mittausten oikeellisuus testattiin ristiinajoittamalla (Holmes 1994, Timonen 1995, 1996). Ajoituksessa käytettiin hyväksi vuosia, jolloin kasvu oli laajoilla alueilla poikkeuksellisen alhainen.

3.2 Standardointi ja indeksien laskenta

Standardoinnissa poistetaan lustoista tutkittavan ilmiön kannalta epäoleellista kasvun vaihtelua eli kohinaa (*noise*). Kasvun ilmastollista vaihtelua eli ilmastosignaalia (*signal*) määritettäessä kohina voidaan kuvata Cookin käsitteellisellä mallilla (1) seuraavasti:

$$G_t = f(A_t, \delta D_{1t}, \delta D_{2t}) \quad (2)$$

Tämä standardointifunktio (*growth trend function*) sisältää puiden erilaisesta kasvuntasosta aiheutuvan tasokorjauksen, lustojen biologisesta iästä (A_t) aiheutuvan alenevan kasvutrendin (ikäkorjaus) sekä huomiot metsikön sisäisten (D_{1t}) ja ulkoisten (D_{2t}) tekijöiden vaikutukset.

Koska tämän tutkimuksen VKIP-aineistosta oli minimoitu tekijöiden D_{1t} tai D_{2t} vaikutukset jo koejärjestelyissä, Cookin standardointifunktio (2) voitiin supistaa yksinkertaiseen muotoon $G_t = f(A_t)$. Tätä pelkästään ikäkorjauksen ja tasokorjauksen sisältävää standardointitapaa on sovellettu yleisesti kasvututkimuksissa (Schulman 1945, Mikola 1950, Sirén 1961, Fritts 1976, Cook 1992).

Tutkimuksen VKIP-aineisto standardoitiin Kuuselan ja Kilkin (1963) esittelemällä kasvuprosenttimallilla:

$$\log(P_d + y_0) = a + b \times \log(t + t_0) \quad (3)$$

jossa

P_d = läpimitan kasvuprosentti

t = läpimittaa vastaava ikä (vuosilustojen lukumäärä)

a ja b = mallin regressiokertoimia

Taulukko 1. Tutkimusaineiston jakautuminen kasvupaikka- ja ikäluokittain.

A: koealojen kokonaislukumäärä; B: koepuiden lukumäärä; C: kairausnäytteistä mitattu keskimääräinen lustojen lukumäärä ja D: kairausnäytteistä laskettu keskimääräinen kuoreton läpimitta, cm. Ikäluokittaisessa tarkastellussa esitetyt koepuiden lukumäärät kuvaavat 30–120 vuotiaiden koepuiden määrää.

Kasvupaikka	A	B	C	D	21–40	41–60	61–80	81–100	101–120	21–120
Mänty, Pohjois-Suomi										
Lehtomaiset kankaat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tuoreet kankaat	1	9	54	18,0	-	9	-	-	-	9
Kuivahkot kankaat	17	209	71	19,6	49	45	39	17	39	189
Kuivat kankaat	3	43	90	16,0	-	16	14	-	7	37
Yhteensä	21	261	74	19,0	49	70	53	17	46	235
Mänty, Etelä-Suomi										
Lehtomaiset kankaat	1	10	113	33,2	-	-	-	-	-	-
Tuoreet kankaat	5	40	100	25,6	6	9	-	-	-	15
Kuivahkot kankaat	17	153	75	21,4	21	24	56	13	-	114
Kuivat kankaat	12	111	92	22,0	3	20	21	21	-	65
Yhteensä	35	314	86	22,6	30	53	77	34	-	193
Kuusi, Pohjois-Suomi										
Lehtomaiset kankaat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tuoreet kankaat	13	170	86	22,6	33	25	22	23	30	133
Kuivahkot kankaat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kuivat kankaat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yhteensä	13	170	86	22,6	33	25	22	23	30	133
Kuusi, Etelä-Suomi										
Lehtomaiset kankaat	2	20	57	24,2	1	9	10	-	-	20
Tuoreet kankaat	38	438	71	22,6	118	106	46	52	-	322
Kuivahkot kankaat	2	20	65	28,4	-	6	11	3	-	20
Kuivat kankaat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yhteensä	42	478	71	23,0	119	121	67	55	-	362
Koko maa										
Männyt	56	575	81	23,0	79	123	130	51	46	428
Kuuset	55	648	75	23,0	152	146	89	78	30	495
Puulajit, yht.	111	1223	78	23,0	231	269	219	129	76	923

y_0 ja t_0 = mallin joustavuuteen ja muotoon vaikuttavia vakioita.

Mallia sovellettiin jokaiselle kairausnäytteelle erikseen. Lustoikä rajattiin Etelä-Suomessa 20–100 ja Pohjois-Suomessa ja 20–120 vuoteen. Mallittamisen ehtona oli 20 havaintoa näytettä kohti. Tasoitusten harhattomuus todettiin sekä visuaalisesti että

jäännöstermitarkasteluihin. Näytekohtaiset malliparametrit a ja b vaihtelivat taulukon 2 mukaisesti. Parametrien y_0 ja t_0 arvoja ei iteroitu.

Vuosilustoindeksiin päästään, kun mitattuja lustoja verrataan mallista saatuihin odotusarvoihin, kerrotaan suhteet 100:lla ja lasketaan kalenterivuositteittaiset keskiarvot. Vuosilustojen leveyden vaihteluita kuvaavia vuosilustoindeksiä voi soveltaa

Taulukko 2. Kuuseen ja Kilkin kasvuprosenttimallin parametriestimaatit puittaisena yhdistelmänä (ylempi osa) ja koko aineistolle laskettuna (alempi osa).

a ja b: regressiomallin kertoimet; t_a ja t_b : niiden keskivirheet
 Mallin keskim. keskivirhe: puittaisten mallien keskivirheiden keskiarvo
 Mallin keskim. R^2 , %: puittaisten mallien keskimääräinen selitysaste
 Mallien lkm: indeksien laskentaan lopullisesti hyväksytyjen mallien lkm

	Mallitus puittain						Mallien lkm
	Mallin parametri a		Mallin parametri b		Mallin keskim. keskivirhe	Mallin keskim. R^2 , %	
	Minimi	Maksimi	Minimi	Maksimi			
Mänty							
Pohjois-Suomi	-21,568	26,197	-5,822	4,531	0,264	43,0	163
Etelä-Suomi	-26,828	36,124	-8,048	5,784	0,278	47,6	172
Kuusi							
Pohjois-Suomi	-2,696	23,944	-5,53	0,554	0,248	51,2	103
Etelä-Suomi	-14,859	47,567	-11,048	3,269	0,257	49,3	219
	Mallitus koko aineistolla						N
	Parametri		t_a	t_b	Mallin keskivirhe	Mallin R^2 , %	
	a	b					
Mänty							
Pohjois-Suomi	6,066	-1,466	91,500	-90,900	0,482	60,1	5489
Etelä-Suomi:	4,900	-1,152	67,400	-65,000	0,446	42,3	5768
Kuusi							
Pohjois-Suomi	4,223	-0,981	51,700	-51,200	0,427	43,9	3350
Etelä-Suomi	4,571	-1,086	75,900	-72,900	0,491	39,8	8045

myös puiden tilavuuskasvun vaihtelua kuvaavina kasvuindekseinä, sillä läpimitan kasvunvaihtelun tiedetään selittävän noin 75 % runkotilavuuden kasvunvaihtelusta (Ilvessalo 1965).

1993. Etelä- ja Pohjois-Suomen raja kulkee yhtenäiskoordinaatin 7 100 mukaisesti eli suunnilleen Kokkola–Kajaani–Kuhmo-linjalla (kuva 2). Vaikka erityisesti pohjoinen osite on ilmastollisesti epäyhtenäinen, maata ei voitu jakaa pienempiin osa-alueisiin pyrittäessä 2–3 prosentin keskivirheeseen.

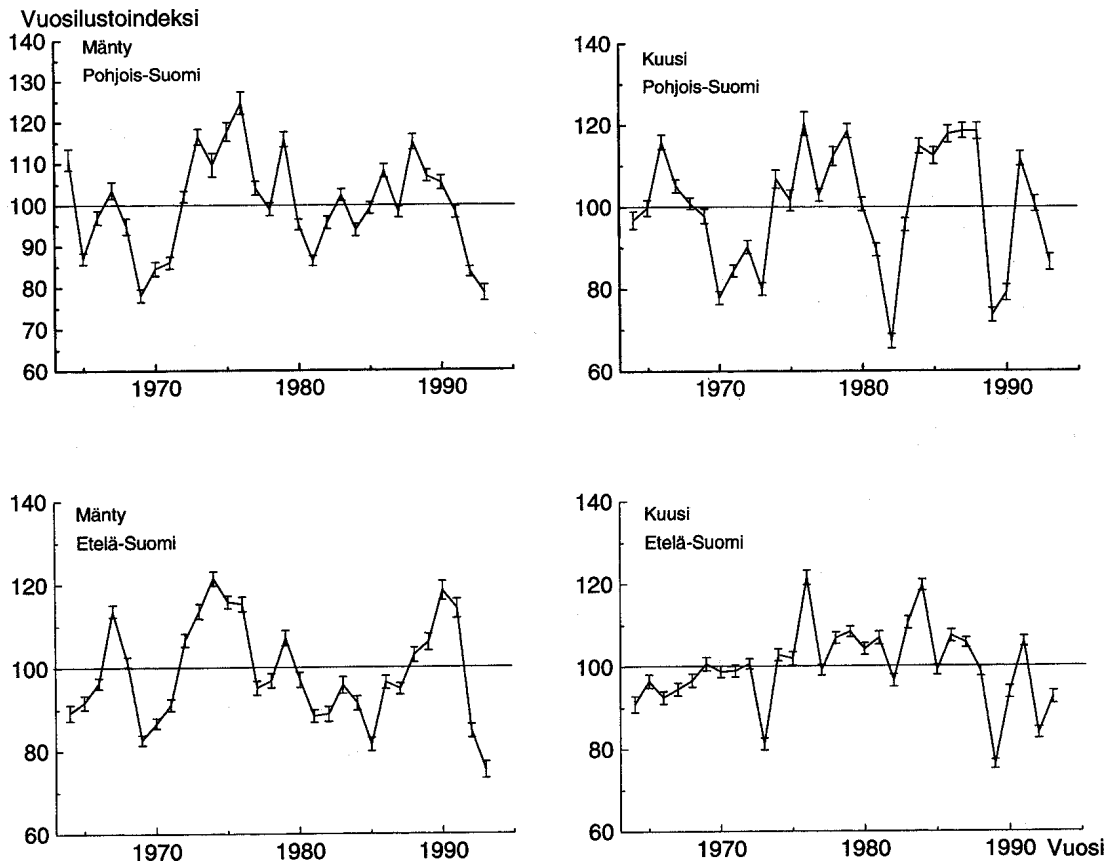
4 Tulokset

4.1 Männynjakuksen vuosilustoindeksit

Kuvassa 3 esitetään osa-alueittain männyn ja kuusen vuosilustoindeksit keskivirheineen vuosille 1964–

Mänty, Pohjois-Suomi

Männyn viimeisen viisivuotisjakson (1989–1993) keskiarvo oli 95 eli 5 % keskitason alapuolella. Erityisesti vuosina 1992–1993 männyn kasvu on ollut heikkoa. Vuodesta 1972 alkanut hyvä kasvujakso



Kuva 3. Männynjakuksen kasvuindeksit vuosille 1964–1993. Kuviin merkitty myös indeksien keskiarvot.

kesti kahdeksan vuotta eli vuoteen 1979 saakka. Myös 1980-luvun loppupuolen viisivuotisjaksoilla, vuosina 1986–1990, indeksit ovat olleet keskitason yläpuolella. Sarjaa laajemmin tarkasteltuna voidaan todeta jakson 1972–1991 olleen männyn kasvun kannalta myönteinen; indeksien keskiarvo oli 105. Hyviä yksittäisiä kasvuvuosia olivat 1973 (117), 1975–1976 (118, 125), 1979 (116) ja 1988 (115).

Mänty, Etelä-Suomi

Viimeisen viisivuotisjakson (1989–1993) keskiarvo oli 100, mikä vastaa keskitasoa. Viimeisin huipujakso oli 1988–1991, jolloin kasvu oli keskimäärin noin 10 % keskiarvon yläpuolella. Sarjan paras jakso sijoittuu vuosiin 1972–1976, jolloin indeksi-

keskiarvo nousi 115:een. Lämpimien jaksojen väliin jäi epävakaa 10-vuotisjakso (1977–1987), jolloin indeksi pysytteli keskitasolla tai sen alapuolella (keskiarvo 94). Mielenkiintoisena yksityiskohtana on samankaltaisuus indeksin kuusi vuotta kestävässä nousussa minimistä maksimiinsa vuosina 1969–1974 ja 1985–1990 ja maksimin jälkeen alkavassa laskussa. Erityisen heikon kasvun vuosia olivat 1969 (indeksi 83), 1985 (81) sekä vuodet 1992 ja 1993. Hyviä vuosia olivat 1966 (116), 1973–1976 (114, 122, 116, 115) ja 1990–1991 (118, 114).

Kuusi, Pohjois-Suomi

Viimeisen viisivuotisjakson (1989–1993) keskiarvo oli 90. Kasvun vaihtelut olivat pohjoisessa rajui-

ja: suotuisat ja epäsuotuisat kasvujaksot vaihtelivat viisivuotiskausittain vuoronperään lähes $\pm 20\%$ keskitason molemmin puolin. Vuosina 1970–1973 indeksi oli noin 17 % keskitason alapuolella, 1976–1979 noin 14 % sen yläpuolella, 1981–1983 jälleen 16 % alle normaalin ja 1984–1988 vastaavasti noin 17 % normaalin yläpuolella. Uusin kasvun notkahdus tapahtui viiden vuoden lämpöjakson jälkeen vuosina 1989–1990, jolloin indeksi putosi arvoon 76. Kuusen kasvun syvä notkahdus kahden suotuisan jakson välissä 1980-luvun alussa näyttää dramaattiselta. Erityisen heikon kasvun vuosia olivat vuodet 1970 (indeksi 78), 1973 (80), 1982 (67) ja 1989 (74). Hyviä kasvuvuosia olivat 1966 (116), 1976 (120), 1979 (119), vuodet 1984–1988 (115, 113, 118, 119, 119) ja vuosi 1991 (112).

Kuusi, Etelä-Suomi

Kuusen kasvu on ollut viimeisen viisivuotiskauden (1989–1993) aikana selvästi keskitason alapuolella (indeksikeskiarvo 91). Koko 30-vuotisen tarkastelujakson heikoin (1989, indeksi 76) ja kolmanneksi heikoin vuosi (1992, indeksi 84) sattuvat kyseiselle jaksolle. Edellinen vastaavatyypinen kuusen kasvun minimivuosi oli 1973 (indeksi 81). Viime vuosien heikkoa kasvua edelsi pitkä varsin suotuista jakso 1970-luvun puolivälistä 1980-luvun loppupuolelle (ks. Henttonen 1990, s. 58).

4.2 Indeksisarjojen vertailuaiempiintutkimuksiin

Vertailu Tiihosen indekseihin

Tiihosen (1986) VMI7:n lustoaineistosta laskemat Pohjois-Suomen mänty- ja kuusi-indeksit vuosille 1944–1983 osoittavat vuotuisten kasvunvaihteluiden rytmittävän samansuuntaisesti VKIP-indeksien kanssa vertailujaksolla 1964–1983 (kuva 4, yläosa). Huomiota kiinnittää VKIP-indeksien Tiihosen indeksejä huomattavasti alhaisempi taso kuusella 1960-luvulla ja 1970-luvun alussa; erot tosin tasoittuvat 1970-luvun loppupuoliskolla. Tasoeroon vaikuttavat ainakin laskentamenetelmän ja otantamenetelmän erilaisuus sekä erilainen tutkimusalue: Tiihonen sisällytti Pohjois-Suomeen Lapin ja Ou-

lun läänit, kun taas VKIP-aineisto painottuu osalle alueelle III (ks. kuva 2).

Tiihosen VMI7:n aineistosta vuosille 1940–1979 laskemat eteläisimmän Suomen indeksit (Tiihonen 1983) ja VKIP-indeksit vastaavat melko hyvin toisiaan vertailujaksolla 1964–1979. Ainoa suurempi ero on kuusen indekseissä 1960-luvun alussa.

Vertailu Tompon ja Henttosen indekseihin

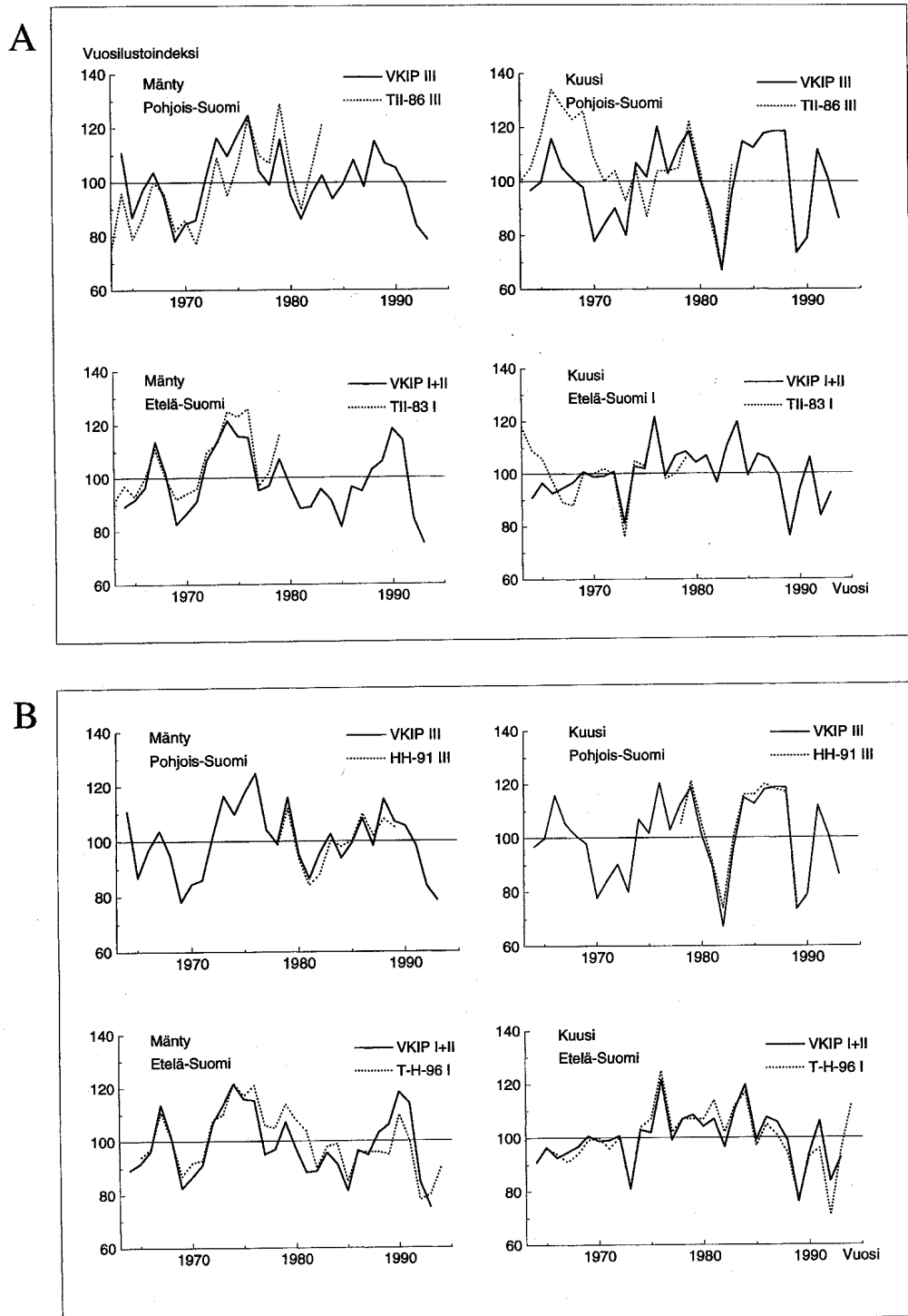
Henttosen VMI8:n aineistosta vuosille 1978–1989 laskemat Pohjois-Suomen indeksit (Mielikäinen 1991) ovat hyvin yhdenmukaiset vertailujaksolla 1978–1989 (kuva 4, alaosa).

Tompon ja Henttosen (1996) tuoreimmat vuosille 1965–1994 laskemat Etelä-Suomen mänty- ja kuusi-indeksit perustuvat VMI8:n aineistoon. VKIP-indeksit noudattavat niitä pääpiirteissään melko tarkoin yhteisellä tarkastelujaksolla 1965–1993. Männyllä poikkeamat ovat hiukan suuremmat kuin kuusella. VMI8:n indeksit ”sukeltavat” syvempään 1990-luvulla molemmilla puulajeilla, joskin tilanne tasoittuu vuonna 1993 (VKIP: mänty 75, kuusi 93; VMI8: mänty 80, kuusi 95).

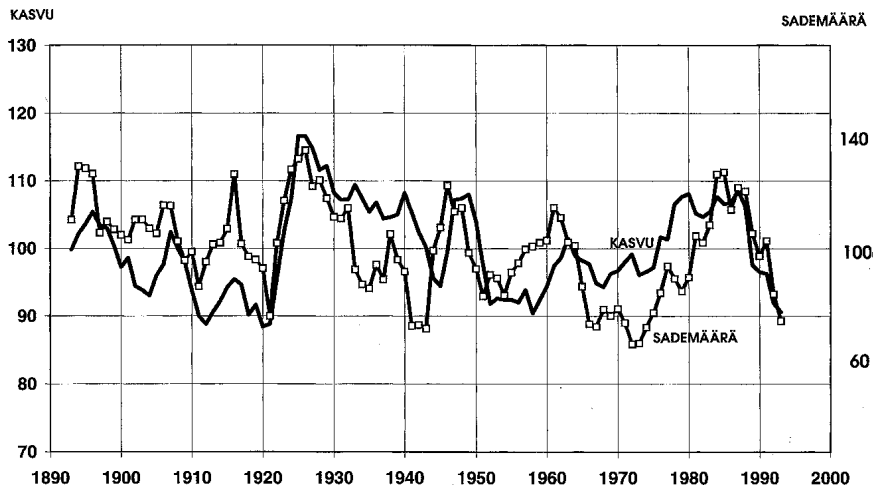
Tompon ja Henttosen sarja kertoo mielenkiintoisen tuloksen vuodelta 1994: kuusen indeksi on nousut arvoon 112, mihin tasoon se ei ole yltänyt kertaakaan edeltävän kymmenen vuoden aikana.

4.3 Kasvunvaihtelun syyt

Aiemmissä tutkimuksissa on osoitettu, että Etelä-Suomen olosuhteissa kuusen kasvua selittävät lähinnä alkukesän lämpimyyden ja kesä–heinäkuun sademäärät (Henttonen 1990). Vertasimme Etelä-Suomen kuusen kasvun vaihtelua Ilmatieteen laitoksen Jokioisten säähavaintoasemalla mitattuihin kuukausittaisiin säätilastoihin vuosilta 1893–1993. Laadittua kolmenkymmenen vuoden mittaista kasvun indeksisarjaa jatkettiin taaksepäin Mikolan (1950) ja Tiihosen (1979) indekseillä. Mikolan luvut vuosille 1893–1947 koskevat Tammelan aluetta, Tiihosen indeksit vuosille 1948–1963 koko Etelä-Suomea. Indeksisarjojen yhdistäminen on jossain määrin mielivaltaista, koska sarjojen laadintaperiaatteet poikkeavat toisistaan.



Kuva 4. VKIP-kasvuindeksien vertailu Tiihosen (A) sekä Tompon ja Henttosen (B) laatimiin indeksisarjoihin. Indeksisarjojen lähdeviitteet: TII-86: Tiihonen 1986; TII-83: Tiihonen 1983; HH-91: Mielikäinen 1991 ja T-H-96: Tomppo ja Henttonen 1996.



Kuva 5. Kuusen kasvun ja touko–kesäkuun sademäärien suhteellinen vaihtelu menneen viiden vuoden liukuvina keskiarvoina Etelä-Suomessa. Kasvuindeksit 1893–1947 Tammela (Mikola 1950), 1948–1963 Etelä-Suomi (Tiihonen 1979) ja 1964–1993 Etelä-Suomi (tämä tutkimus). Sademäärät Jokioisilta suhteutettuna menneen sadan vuoden keskiarvoon.

Vuosilustoindeksin ja vastaavan vuoden sääsuhteiden riippuvuudet olivat sekä lämpötilan että sademäärän osalta melko heikkoja. Kun tarkasteltavaksi otettiin sateiden ja kasvun useampivuotiset liukuvat keskiarvot, riippuvuudet tulivat huomattavasti selvemmiksi. Kuvan 5 mukaan Etelä-Suomen kuusten kasvu ja touko–kesäkuun sademäärät ovat vaihdelleet samansuuntaisesti. Huomattavimmat poikkeukset ovat 1940-luvun alussa ja 1980-luvun puolivälissä. 1940-luvulla kuusten kasvu kääntyi nousuun muutaman vuoden viiveellä ”sadekauden” alettua. Sen sijaan 1980-luvulla kasvu kääntyi laskuun jo ennenkuin alkukesät alkoivat muuttua kuivemmiksi. Edellä mainittujen poikkeuksellisiin ajankohtiin sattuvat vuosisadan neljä kylmintä talvea, jotka ovat saattaneet vaurioittaa kuusten pinnallisia juuria tai hidastaa kevään tuloa syvän rouhtaantumisen muodossa.

Kasvukauden lämpötila ei osoittautunut yhtä hyväksi eteläisimmän Suomen kuusten kasvun selittäjäksi kuin alkukesien sademäärät. Sen sijaan heinäkuun lämpötilan ja seuraavan kesän kasvun välillä vallitsi voimakas negatiivinen korrelaatio. Tämä selittyy sillä, että erittäin lämpimät kesät saavat kuusen kukkimaan seuraavana kesänä, mikä näkyy kasvun alenemisena. Näin tapahtui mm. vuosina 1973

ja 1989, jotka ovat olleet viime vuosikymmenien runsaimmat käpy- ja heikoimmat kasvuvuodet.

Nyt saadut alustavat tulokset viittaavat siihen, että säätekijöiden, erityisesti sateiden vaikutukset ovat summautuvia ja vaikuttavat puiden kasvuun useiden vuosien ajan. Samaa tulokseen ovat Keski-Euroopassa tulleet mm. Becker ym. (1989) ja Kahle ym. (1993). Heidän mukaansa aiempien vuosien sateet vaikuttavat kuusen kasvuun jopa 5–7 vuoden takaa.

5 Tulosten tarkastelu

Kasvuindeksit osoittavat kuusen keskimääräisen kasvun olleen Etelä-Suomessa vuosina 1989–1993 noin 9 % pitkäaikaisen keskiarvon alapuolella. Männyin kasvu on noussut 1980-luvun loppupuolella. Vuosina 1991–1993 se on kuitenkin ollut Etelä-Suomessa 9 % ja Pohjois-Suomessa 13 % keskitason alapuolella.

Etelä-Suomessa kuusen kasvu on vaihdellut samansuuntaisesti touko–kesäkuun sateiden kanssa. Aiemmat arviot siitä, ettei kuivuus yleensä rajoita puiden kasvua Suomessa (Mikola 1950), eivät saa

tukea tuloksista. Sen sijaan tulokset ovat samansuuntaisia Henttosen (1984, 1990) tulosten kanssa. Olennaista nyt tehdyissä havainnoissa on se, että sateisuus ja kuivuus vaikuttavat Etelä-Suomen kuusen kasvuun usean vuoden ajan (vrt. Kahle ym. 1993). Usean vuoden jaksoissa aaltoileva kuusen kasvu näkyy myös silmävaraisesti arvioitavassa puiden elinvoimaisuudessa. Arviomme kuusen kasvuun usean vuoden jaksoissa tapahtuvan vaihtelun mekanismeista on seuraavanlainen:

Runsassateisina kausina (esim. 1975–1985) viljavilla mailla kasvavat kuuset saavat runsaasti vettä ja ravinteita, minkä vuoksi ne kasvattavat paljon yhteyttävää neulasmassaa juurten kustannuksella. Kuivan kauden tullen (esim. 1980–1990 luvun vaihe) vähäiset juuret eivät saa riittävästi vettä, minkä vuoksi puut varistavat osan haihduttavista neulasistaan ja käyttävät yhteyttämistuotteita uusien juurten kasvattamiseen. Kuivat kevät voivat vaikuttaa puiden vedenottoon joko suoraan tai hidastamalla roudan sulamista pakkastalvien jälkeen vähälumisissa kuusikoissa (Raitio 1996). Molemmista tapauksissa kuuset kärsivät vedenpuutteesta. Oman lisänsä epätasapainoiselle kasvulle saattaa antaa ilmasta satava typpi, joka Spieckerin (1991) lannoitustutkimusten mukaan äärevöittää puiden kasvun vuosien välistä vaihtelua.

Vuodesta 1985 vuoteen 1993 touko–kesäkuun sademäärät ovat pudonneet Etelä-Suomessa 30–50 %. Mallilaskelmien (ks. Mielikäinen 1996, s. 9) mukaan tämän tulisi alentaa kuusen paksuuskasvua viiden vuoden keskiarvona noin 20 prosenttia, kuten on tapahtunut sekä nyt esitettyjen indeksien että valtakunnan metsien inventointitulosten mukaan. Kuivuuden lisäksi Etelä-Suomen puita ovat rasittaneet kahdeksan vuoden jaksoon sattuneet kaksi ennätyskylmää (1985 ja 1987) ja vuosisadan kolme lämpimintä talvea (1989, 1990 ja 1992). Tämän lisäksi vuonna 1989 kuusen siemensato oli korkein, mitä maassamme on koskaan havaittu (Hokkanen 1992). Aiempien tutkimusten (Pukkala 1987) mukaan useaan tonniin hehtaarilla kohoava käpysato saattaa alentaa kuusen vuotuista kasvua jopa kolmanneksella.

Kirjallisuus

- Becker, M., Landman, G. & Levy, G. 1989. Silver fir decline in the Vosges mountains (France): Role of climate and silviculture. *Water, Air and Soil Pollution* 48: 77–86.
- Cook, E.R. 1992. A conceptual linear aggregate model for tree rings. Julkaisussa: Cook, E.R. & Kairiukstis, L.A. (toim.). *Methods of dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences*. Kluwer Academic Publishers–International Institute for Applied Systems Analysis. s. 98–104. ISBN 0-7923-0586-8.
- Eriksson, H. & Johansson, U. 1993. Yields of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in two consecutive rotations in southwestern Sweden. *Plant and Soil* 154: 239–247.
- Fritts, H. 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press, London. 567 s.
- Henttonen, H. 1984. The dependence of annual ring indices on some climatic factors. *Seloste: Vuosilustoindexien riippuvuus ilmastotekijöistä*. Acta Forestalia Fennica 186. 38 s.
- 1990. Kuusen rinnankorkeusläpimitan kasvun vaihtelu Etelä-Suomessa. Summary: Variation in the diameter growth of Norway spruce in Southern Finland. University of Helsinki, Department of Forest Mensuration and Management, Research Notes 25. 88 s.
- Hokkanen, T. 1992. Käpysatotiedustelun tulokset 1992. *Moniste*. 15 s.
- Holmes, R.L. 1994. *Dendrochronology program library – users manual*. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA. 51 s.
- Hustich, I. 1945. The radial growth of the pine at the forest limit and its dependence on the climate. *Commentationes Biologicae, Societas Scientiarum Fennica* 9(11): 1–30.
- 1978. The growth of Scots Pine in Northern Lapland, 1928–1977. *Annales Botanici Fennici* 2: 274–300.
- Ilvessalo, Y. 1965. Metsänarvioiminen.
- Jonsson, B. 1969. Studier över den av väderleken orsakade variationen i årsringbredderna hos tall och gran i Sverige. Skogshögskolan, Institutionen för skogsproduktion, Rapporter och uppsatser 16.
- Kahle, H.-P., Hahn, D. & Spiecker, H. 1993. Witterungsverlauf und Wachstum von Fichten, Tannen und Buchen in Südwestdeutschland unter besonderer Berücksichtigung des Standorts und des Standraums. *KfK-PEF*, 104: 241–252.
- Kangas, E. 1946. Kuusikoiden kuivumisesta metsätuhoja metsänhoidollisena kysymyksenä. *Acta Forestalia Fennica* 52(5). 166 s.

- Keller, W. 1992. Bonität in Fichten-Folgebeständen ehemaliger Fichten-Versuchsflächen der WSL. Jahrestagung vom 1.–3. Juni 1992, Grillenburg/Sachsen: Tagungsband. DVFFA, Sektion Ertragskunde, Ber. d. Jahrestagung. s. 123–129.
- Kenk, G., Spiecker, H. & Diener, G. 1991. Referenzdaten zum Waldwachstum. Projekt Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung (PEF 82). Kernforschungszentrum Karlsruhe. 59 s.
- Kuusela, K. & Kilkki, P. 1963. Multiple regression of increment percentage on other characteristics in Scots pine stands. Seloste: Kasvuprosentti ja muiden metsikkötunnusten välinen yhteiskorrelaatio männiköissä. Acta Forestalia Fennica 75(4) 40 s.
- Lindholm, M. 1994. Sää säättää – mänty muistaa. Kesäaikaisten lämpötilojen rekonstruointi männyn vuosilustokalenterin avulla Enontekiön alueella. Julkaisussa: Uudet menetelmät ja niiden sovellukset kvartaaritutkimuksessa. Symposio Mekrijärvellä 20.–21.4.1993. Acta Universalis Ouluensis, Series A Scientiae Rerum Naturalium 251.
- 1996. Reconstruction of past climate from ring-width chronologies of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) at the northern forest limit in Fennoscandia. University of Joensuu. 169 p. University of Joensuu, Publications in Sciences 40. ISSN 0781-0342.
- Mielikäinen, K. 1991. Puutetta ja ylitarjontaa – kasvun kertomaa. Käytännön maamies 5: 72–74.
- 1996. Kasvun vaihtelu ja kasvutrendit Euroopassa. Julkaisussa: Hökkä, H., Salminen, H. & Varmola, M. (toim.). Pohjoisten metsien kasvu – ennen, nyt ja tulevaisuudessa. Metsäntutkimuspäivä Rovaniemellä 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 589: 6–15.
- Mikola, P. 1950. Puiden kasvun vaihteluista ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. Summary: On variations in tree growth and their significance to growth studies. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 38(5). 131 s.
- Nöjd, P. & Reams, G.A. 1996. Growth variation of Scots pine across a pollution gradient on the Kola peninsula, Russia. Environmental Pollution (painossa).
- Pukkala, T. 1987. Siementuotannon vaikutus kuusen ja männyn vuotuisen kasvuun. *Silva Fennica* 21(2): 145–158.
- Raitio, H. (toim.). 1996. Kuusikoiden kunto Merenkurkun alueella. Granskogarnas hälsotillstånd I Kvarkenregionen. Summary: Condition of Norway spruce in the Kvarken region of the Gulf of Bothnia. Merenkurkun neuvosto – Kvarkenrådet. 145 s.
- Roiko-Jokela, P. 1979. Kasvuindeksipalvelun alustava suunnitelma. Konekirjoite. 7 s.
- Schulman, E. 1945. Tree-rings and runoff in the South Platte River Basin. *Tree-Ring Bulletin* 11: 18–24.
- Spiecker, H. 1991. Liming, nitrogen and phosphorus fertilization and the annual volume increment of Norway spruce stands on long-term permanent plots in Southwestern Germany. *Fertilizer Research* 27: 87–93.
- 1994. Growth dynamics in a changing environment – Long-term observations. *Plant and Soil* (painossa).
- , Mielikäinen, K., Köhl, M. & Skovsgaard, J.P. (toim.). 1996. Growth trends of European forests. Studies from 12 countries. *European Forest Research Report* 5. 372 s.
- Tiihonen, P. 1979. Kasvun vaihtelu valtakunnan metsien 6. inventoinnin aineiston perusteella. Summary: Variation in tree growth in Finland based on the results of the 6th National Forest Inventory. *Folia Forestalia* 407. 12 s.
- 1983. Männyn ja kuusen kasvun vaihtelu Suomen eteläisimmässä osassa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella. Summary: Growth variation of pine and spruce in the southernmost part of Finland according to the 7th National Forest Inventory. *Folia Forestalia* 545. 8 s.
- 1986. Kasvun vaihtelu Suomen pohjoispuoliskossa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella. Summary: Growth variation in North Finland according to the 7th National Forest Inventory. *Folia Forestalia* 658. 9 s.
- Timonen, M. 1995. Climatic variations during the last 500 years in Finnish Lapland: An approach based on the tree rings of Scots pine. Julkaisussa: Heikinheimo, P. (toim.). International conference on past, present and future climate. Proceedings of the SILMU-conference held on Helsinki, Finland, 22–25 August 1995. Publications of the Academy of Finland 6/95. s. 148–150.
- 1996. Lapin metsien kasvun vaihtelu viimeisen 500 vuoden aikana. Julkaisussa: Hökkä, H., Salminen, H. & Varmola, M. (toim.). Pohjoisten metsien kasvu – ennen, nyt ja tulevaisuudessa. Metsäntutkimuspäivä Rovaniemellä 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 589: 32–41.
- Tomppo, E. & Henttonen, H. 1996. Suomen metsävarat 1989–1994 ja niiden muutokset vuodesta 1951 lähtien. Metsäntutkimuslaitos, metsätalastiedote 354.
- Vuokila, Y. 1986. Puuntuotoksen tutkimussuunnan kestokokeiden periaatteita ja suunnitelmia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 239. 229 s.