

PUUN MUISTI

Kasvun vaihtelu päivästä vuosituhanteen

Kari Mielikäinen - Pekka Nöjd - Erkki Pesonen - Mauri Timonen

VANTAAN TUTKIMUSKESKUS

Puun muisti

Kasvun vaihtelu päivästä vuosituhanteen

Kari Mielikäinen, Pekka Nöjd, Erkki Pesonen ja Mauri Timonen

Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus
Vantaa 1998

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 703

Kari Mielikäinen, Pekka Nöjd, Erkki Pesonen ja Mauri Timonen 1998. Puun muisti. Kasvun vaihtelu päivästä vuosituhanteen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 703, 71 s. ISBN 951-40-1644-0, ISSN 0358-4283.

Avainsanat: kasvun vaihtelu, ympäristömuutokset ja kasvu, päivittäinen kasvu, kasvutrendi, lustokalenteri, kasvupanta

Taitto: Riitta Alaniva, Rovaniemen tutkimusasema
Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus,
Kasvun vaihtelu -hanke

Hyväksynyt: Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusjohtaja Matti Kärkkäinen

Toimittajien yhteystiedot:

Kari Mielikäinen: Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18,
01301 Vantaa, puh. (09) 857 051, telefax (09) 8570 5361

Pekka Nöjd: Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18,
01301 Vantaa, puh. (09) 857 051, telefax, (09) 8570 5361

Erkki Pesonen: Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18,
01301 Vantaa, puh. (09) 857 051, telefax, (09) 8570 5361

Mauri Timonen: Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen tutkimusasema,
PL 16, 96301 Rovaniemi, puh. (016) 336 411, telefax, (016) 3364 640

Julkaisua myy: Metsäntutkimuslaitos, Kaija Westin, Unioninkatu 40 A,
00170 Helsinki, puh. (09) 8570 5721, telefax, (09) 8570 5717

sähköpostiosoitteet: etunimi.sukunimi@metla.fi

© Kirjoittajat ja Metsäntutkimuslaitos

ISBN 951-40-1644-0
ISSN 0358-4283

Gummerus Kirjapaino Oy
Jyväskylä 1999

SISÄLLYS

Alkusanat	4
1. Johdanto	5
11. Puut historian kirjoina	5
12. Keski-Euroopan metsien kehityshistoria	6
13. Suomen metsäkuvan muuttuminen	7
14. Metsien terveydentilan arviointi	10
2. Puun paksuuden ja paksuuskasvun lyhytaikainen vaihtelu	13
21. Vuosilustojen syntyminen ja kehitys	13
211. Solukerrosten muodostuminen ja rakenne	13
212. Puun vanheneminen ja kuolema	16
22. Paksuuskasvun päivittäinen seuranta	17
221. Mittavälineiden kehitys	17
222. Metlan uusi kasvupanta	17
23. Esimerkkejä paksuuskasvumittauksista	18
231. Puun ympärysmittauksen muutokset kasvukauden aikana	18
232. Kasvun taso ja kasvurytmi peräkkäisinä vuosina	21
233. Solutason kasvumittaukset	21
24. Kasvun lyhyen ajan seurannan sovellukset	23
3. Kasvun vuosien välinen vaihtelu	26
31. Miten kasvun vuosien välistä vaihtelua tutkitaan	26
32. Kasvun vaihtelun määrittäminen ja soveltaminen	27
321. Vuosilustoindeksit	27
322. Indeksit ja kasvun osatekijät	28
33. Kasvun vaihtelu Suomessa viime vuosikymmeninä	29
331. Männyn ja kuusen vuosilustoindeksit 1964–1993	29
332. Piikkivuodet ja piikkivuosi-indeksit	29
34. Kasvun vuotuisen vaihtelun syyt	33
35. Päätelmiä	41
4. Pitkän ajan kasvun vaihtelu	42
41. Lustokalenterit ilmastohistorian ilmentäjinä	42
411. Lustokalenterien laatiminen	42
412. Metsänrajamännyn 1911-vuotinen sarja	44
413. Muut sarjat	47
42. Ilmaston vaihtelut ja metsänuudistuminen	47
43. Ilmaston vaihteluiden jaksollisuus	50
431. Jääkausien kertautuminen	50
432. Proksitietojen kertomaa	51
44. Päätelmiä	53
5. Alueelliset kasvutrendit Euroopassa	54
51. Mitä tarkoittaa kasvutrendi?	54
52. Trenditutkimuksen menetelmät	54
53. Keski-Euroopan kasvutrendit	56
54. Pohjois-Euroopan kasvutrendit	57
55. Kasvutrendit päästölähteiden lähialueilla	59
551. Kasvunvaihtelu Karjalan kannaksella	60
552. Kostamuksen kaivoskombinaatin vaikutus männyn kasvuun	61
553. Kuolan niemimaan metsävauriot	62
56. Kasvutrendien mahdolliset syyt	63
561. Metsien käsittely ja luonnontuhot	63
562. Ilmansaasteet ja ilmasto	64
57. Kasvun lisääntymisen vaikutus metsänhoitoon	65
6. Tulosten tarkastelua	66
Kirjallisuus	68

ALKUSANAT

Puun kasvun vuosien välistä vaihtelua ja erityisesti pidempää trendinomaista kasvukehitystä on pidetty metsätieteissä pääsääntöisesti tutkimuksia häiritsevänä ongelmana. Eri aikoina mitattujen kasvujen vertailu on edellyttänyt tulosten korjaamista ns. pitkän ajan ilmastolliseen keskitasoon. Kasvun vaihtelun ja trendien syiden selvittäminen on jäänyt tutkimuksissa toissijaiseksi.

Noin parikymmentä vuotta sitten alkanut keskustelu ihmisen toimenpiteiden vaikutuksesta metsiin on tehnyt kasvun vaihtelun tutkimisen uudella tavalla mielenkiintoiseksi. Ilman epäpuhtaudet, sää ja metsien käsittely jättävät kukin jälkensä puun vuosirenkaisiin ja latvakasvaimiin. Puun sisään varastoitunut historiatieto on luettavissa vuosirenkaista yksittäisen solukerroksen tarkkuudella.

Ympäristökeskustelun ajoittaiset ylilyönnit osoittavat pitkien havaintosarjojen hyödyllisyyden. Vuosikymmenien ja vuosisatojen mittaiset sarjat auttavat arvioimaan viime aikoina tapahtuneiden kasvumuutosten ainutlaatuisuutta. Tunnintarkka kasvun seuranta yhdistettynä samanaikaisiin puiden kasvuympäristöä koskeviin mittauksiin mahdollistaa puun elintoimintoihin vaikuttavien tekijöiden yksityiskohtaisen analysoinnin.

Tämä kirja on tarkoitettu tutkijoille, opiskelijoille, koululaisille sekä säiden ja ympäristömuutosten metsävaikutuksista kiinnostuneille kansalaisille. Esitetyt tulokset pohjautuvat Metlan kolmivuotiseen tutkimushankkeeseen, jossa on tehty yhteistyötä useiden kansainvälisten tutkijaryhmien kanssa.

Kirjoittajista Kari Mielikäinen on tutkinut kasvun vuosien välistä vaihtelua ja kasvutrendejä. Mauri Timonen on erikoistunut vuosituhansien mittaisten lustokalenterien rakentamiseen ja analysointiin. Erkki Pesonen on tutkinut puun päivittäistä paksuuskasvua ja kehittänyt tähän tarkoitukseen tarvittavia mittalaitteita. Pekka Nöjd on selvittänyt ilmansaasteiden vaikutuksia puun kasvuun Suomen lähialueilla. Kirjan kirjoitusvastuu on jaettu ylläolevien erikoisalojen mukaisesti. Kari Mielikäinen on lisäksi kirjoittanut kirjan johdannon ja tulosten tarkastelun. Kirjan viimeistelyn julkaisukuntoon on hoitanut ansiokkaasti Riitta Alaniemi Metlan Rovaniemen tutkimusasemalta.

Puiden kasvun vaihtelua tarkastellaan aikajännteillä, jotka ulottuvat tunneista vuosituhansiin. Tutkimuksessa on käytetty hyväksi Metlassa lyhyen ajan kasvun mittaukseen kehitettyä kasvupantaa sekä pidemmän ajan tarkasteluissa perinteistä vuosilustoanalyysiä ja maailmalla laajaa suosiota saavuttanutta dendrokronologista lähestymistapaa. Vuosilustoja on kairattu metsissä kasvavista elävistä puista, kuolleista pystykeloista ja järviin uponneista ns. subfossiilipuista. Näin menetellen tarkastelun aikajännettä on pystytty venyttämään vuodentarkkana lähes 2000 vuoteen.

Vantaalla syyskuussa 1998

Kari Mielikäinen

1. JOHDANTO

11. Puut historian kirjoina

Yli satatuhatta vuotta kestänyt viimeisin jääkausi päättyi Suomessa noin 10 000 vuotta sitten. Tällöin ilmastossa tapahtui yhtäkkinen käänne, jonka vaikutuksesta lämpötila kohosi lähes 10 astetta ja peräkäisten vuosien välinen lämpötilavaihtelu pieneni murto-osaan aiemmasta. Sääolot ovat säilyneet käänteen jälkeen suotuisina. Meneillään olevaa jääkauden jälkeistä holoseenikautta onkin pidettävä poikkeuksellisen rauhallisena aikana maapallon ilmasto-historiassa (Broecker 1995).

Viimeaikaiset mittaustiedot ihmisen vaikutuksista ilmakehään ja sitä kautta ilmastoon viittaavat siihen, että rauhallinen aika saattaa olla päättymässä. Maapallon ilmaston tiedetään nimittäin lämmenneen koko 1900-luvun ajan. Kehityksen ennustetaan jatkuvan siten, että lämpötilat ovat sadan vuoden kuluttua 3,5–4,5 astetta nykyistä korkeampia. Tämä merkitsisi Fennoskandiasa paluuta noin 5000 vuoden takaisen atlanttisen kauden ilmasto-olosuhteisiin. Suomessa lämpötilan kohoamista ei ole toistaiseksi havaittu. Todellisuudessa vuosijakso 1961–1990 on ollut maassamme viileämpi kuin sitä edeltävä 30-vuotiskausi.

On myös mahdollista, että nopea ilmaston muuttuminen laukaisisi samantyyppisen epävakaan suurten vaihteluiden kehitysvaiheen, joka vallitsi viime jääkautta edeltävällä lämpimällä ns. Eem-interglasiaalikaudella. Myös muutos kylmempään on meillä mahdollista, jos lämmin Golf-virta kääntyisi pois Skandinavian rannikolta. Koska jääkausien syntyminen ja loppuminen saattavat perustua vain muutamien asteiden muutokseen keskilämpötilassa, uusi jääkausikin voi pahimmillaan olla lähempänä kuin arvaammekaan.

Puut ovat luonnon parhaita ilmastohistorian oppikirjoja. Puiden vuosirenkaihin ja yksittäisiin soluihin varastoituu tieto maaperän ja ilmakehän ominaisuuksien muutoksista. Tietoa voidaan mitata vuosirenkaiden leveydestä, puuaineen tiheydestä, solujen koosta ja muodosta sekä puuhun sitoutuneista kemiallisista yhdisteistä. Soihin ja järvien pohjamutiin aikoinaan uponneet ns. subfossiilipuut säilyvät kylmissä ja hapettomissa olosuhteissa mittauskelpoisina vuosituhansien ajan, mikä mahdollistaa ilmastovaihteluiden tutkimisen jälkikäteen.

Vanhin suomalainen puufossiili lienee Södankylän Vuotson kanavasta löydyntynyt lehtikuusi. Hyvin säilyneen rungon arvioidaan kasvaneen Eem-kaudella yli satatuhatta vuotta sitten (Mäkinen 1982). Lämmintä jaksoa seurannut jääkausi hävitti maastamme lehtikuusen, joka on ehtinyt ”paluumatkallaan” toistaiseksi vasta Äänisjärvelle muutaman sadan kilometrin päähän Suomen itärajasta.



Kuva 1. Vuotson kanavatyömaalta löytyneestä noin kahdeksan metrin mittaisesta lehtikuusen rungosta sahattu kiekko. Lehtikuusen arvioidaan kasvaneen viime jääkautta edeltäneellä lämpimällä Eem-kaudella runsaat 100 000 vuotta sitten. Jääkausi hävitti luontaisen lehtikuusen Suomesta. Näytekiekkoa säilytetään Geologian tutkimuskeskuksen Pohjois-Suomen aluetuotimistossa Rovaniemellä.

Puiden vuosirenkaiisiin perustuva nykyaikainen lustotutkimus sai alkunsa vuonna 1904, jolloin amerikkalainen A. E. Douglass keksi ristiinajoittamisen periaatteen (Dean 1986). Hän oivalsi Arizonan Flagstaffin kaupungin lähellä sijaitsevan metsikön puiden vuosirenkaita tutkiessaan, että puiden vuosilustot jäivät säännönmukaisesti normaalia kapeammiksi poikkeuksellisen kuivina vuosina. Varsinainen tieteellinen läpimurto tapahtui kuitenkin vasta seitsemän vuotta myöhemmin, vuonna 1911, jolloin hän totesi saman ilmiön toistuvan yhtäaikaisesti sekä Flagstaffin että noin 100 kilometrin päässä sijaitsevan Presscottin kaupungin metsiköissä. Havainnostaan innostuneena hän tutki seuraavan kolmen vuoden ajan Flagstaffin alueen mäntymetsiköitä onnistuen yhdistämään näytteensä 500-vuotiseksi lustosarjaksi eli lustokalenteriksi. Vuoteen 1919 mennessä hänen alueellinen, vuodentarkka lustokalenterinsa oli venynyt jo yli 3000 vuoden pituiseksi Kalifornian vanhojen mammuttipetäjien ansiosta.

Ristiinajoitusmenetelmä nousi arvoonsa sen jälkeen, kun arkeologit oivalsivat lustokalentereiden mahdollisuudet arkeologisten kohteiden ajoittamisessa. Douglass sai vuonna 1919 tutkittavakseen kairausnäytteitä Uudessa Meksikossa sijaitsevan esihistoriallisen Aztec-raunioiden puurakenteista. Näytteet eivät ajoittuneet edellä mainittuun lustokalenteriin, joten hän päätti laatia alueen puista uuden paikallisen kalenterin. Vuodet 700–1930 jKr. käsittävä lustokalenteri paljastikin Aztec-kylää rakennetun vuosina 1111–1120. Douglassin ajoituksen tarkkuus oli sensaatio 1900-luvun alun arkeologien keskuudessa, sillä aiemmat arviot rakennusten iästä olivat vaihdelleet 500:sta 5 000:een vuoteen. Näin suuri hajonta oli mahdollinen siksi, ettei ns. radiohiileen perustuvaa ajoitusmenetelmää oltu vielä keksitty.

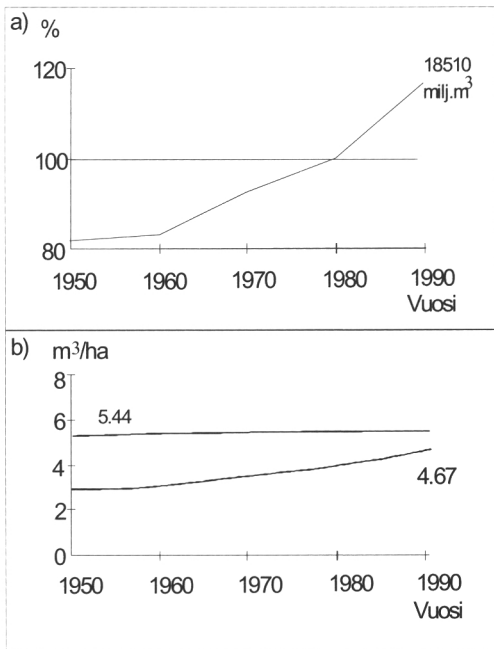
Douglassin oivallus merkitsi uuden tieteenalan, dendrokronologian, syntyä. Sanasta käytetään joskus suomalaista ilmaisua

”puulustotiede” (Heikkinen 1984). Tutkimusmenetelmät kehittyivät nopeasti ja laajenivat monille tieteenaloille kaikkialle maailmaan. Dendrokronologian keskeisimmät metsälliset osa-alueet ovat dendroklimatologia ja -ekologia. Näistä ensisimmäinen tutkii ilmastoa vuosirenkaista, jälkimmäinen puolestaan selvittää kasvun ja ympäristön vuorovaikutusta.

12. Keski-Euroopan metsien kehityshistoria

Euroopan metsien koko kehityshistoria on tallentunut metsässä kasvavien sekä järviin ja maakerrosten alle uponneiden puiden vuosirenkaiisiin. Lisätietoa muinaisten metsien rakenteesta ja puulajisuhteista tarjoavat maan alle hautautuneet siemenet ja siitepölyt. Tutkimusten mukaan metsät olivat tuhansia vuosia sitten lehtipuuvaltaisia tammen, pyökin ja muiden jalojen lehtipuiden muodostaessa valtapuuston. Havupuita, kuten kuusta ja saksanpihtaa, esiintyi enimmäkseen sekapuuna. Mielenkiintoista on se, että Amerikan länsirannikolla nykyisin yli 100-metriseksi jättiläiseksi kasvava Douglaskuusi kuului kymmeniä tuhansia vuosia sitten myös Euroopan luontaiseen puulajistoon. Nykyinen kiistely Douglaskuusen kasvatuksen luonnonmukaisuudesta Saksassa saa uusia vivahteita, jos kysymystä lajien kotoperäisyydestä tarkastellaan todella pitkin aikajäntein.

Keski-Euroopan nykyiset metsät ovat seurausta pari vuosisataa harjoitetusta havupuiden viljelystä. Ennen viljelymetsätalouden aikaa metsät oli monin paikoin hävitetty tuottoisempien elinkeinojen, kuten vuoriteollisuuden ja maatalouden, tieltä. Syrjäsimpiä ja karuimpia, viljan viljelyyn kelpaamattomia metsiä hävitettiin etelämpänä puuhiilen valmistuksessa, Pohjois-Euroopassa puolestaan tervanpoltossa ja kaskeamisessa. Puuhiiltä tarvittiin suuria määriä lasin valmistuksessa ja metallien sulatuksessa.



Kuva 2. Euroopan metsävarojen kehitys 1950–1990 (Kuusela 1994):

- puuston suhteellinen runkotilavuus (1980 = 100);
- puuston kasvu (ilmaston perusteella laskettu kasvupotentiaali = 5.44 m³/ha/v)

Syynä havupuiden, erityisesti kuusen viljelyyn oli niiden suuri tuotoskyky lehtipuihin verrattuna. Tälle vuosisadalle tultaessa kuusen viljely kiihtyi entisestään. Toteutetun metsänhoidon tuloksena Euroopan metsävarat ovat lisääntyneet 1970-luvulta 25 prosenttia ja puuston kasvu 30 prosenttia (Kauppi ym. 1992).

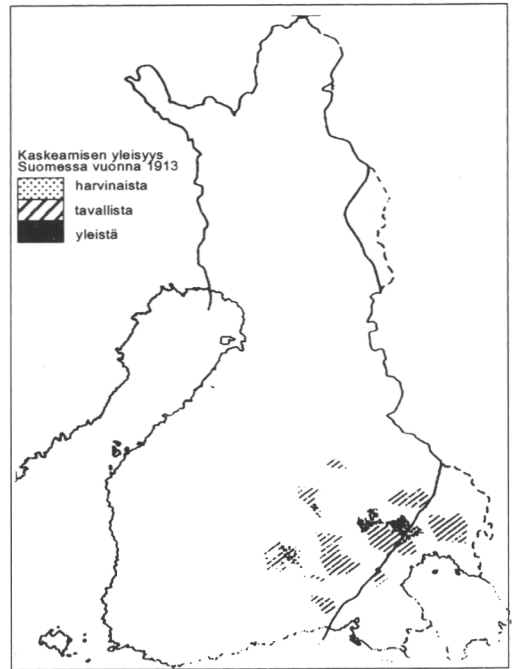
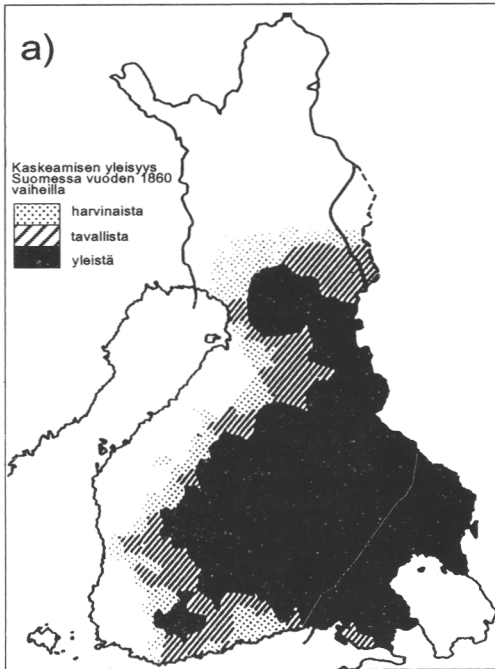
Havupuiden varomaton istuttaminen kauas luontaisen levinneisyysalueensa ulkopuolelle ei ole onnistunut ongelmitta. Esimerkiksi Unkarin Pustalta Tsekinmaan vuorille

siirretty kuusi on kärsinyt pahoja tuhoja ilmansaasteiden ja ankan ilmaston seurauksena. On todennäköistä, että osa joskus epämääräisenä vellovasta metsätuhokeskustelusta perustuu ongelmiin, joiden aiheuttajana on puulajien ja puualkuperien kokeilu- luonteinen siirtely ympäri Keski-Eurooppaa. Tällä hetkellä metsänhoidon suuntaus kaikkialla Euroopassa kulkee takaisin kohti kotoperäisiä puulajeja, paikallisia puualkuperiä ja sekametsiä.

13. Suomen metsäkuvan muuttaminen

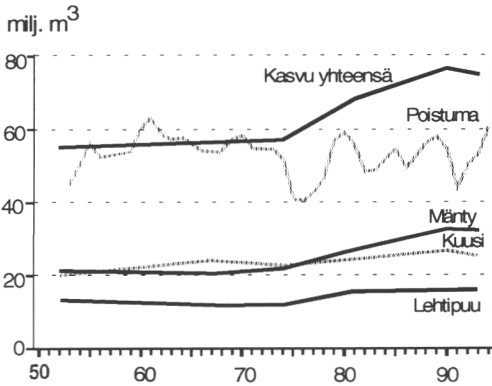
Jääkauden väistyessä Fennoskandiasta ensimmäisenä paljaan maan valloitti pioneeri-puulajina tunnettu koivu, männyn tullessa noin tuhat vuotta myöhemmin. Lappiin mänty ehti atlanttisen kauden alussa 8000–7500 vuotta sitten. Ilmasto lämpeni pikkujääkauden jälkeä runsaan parin tuhannen vuoden ajan, minkä jälkeen mäntymetsät saavuttivat laajimman levinneisyytensä Lapissa. Tämän todistavat maakerroksiin hautautuneen siitepölyn lisäksi nykyisen metsänrajan pohjoispuolelta järivistä löytyvät vanhat, järeät puunrungot.

Suomen metsien kehitys viimeisten satojen vuosien aikana ei ole suoraviivainen polku luonnon ikimetsistä melko intensiivisesti hoidettuihin nykymetsiin. Tämän vuosisadan alussa huomattava osa Itä-Suomen metsistä oli todellisuudessa vuosisatoja harjoitetun kaskenpolton jäljiltä lähes puutonta. Pohjoisempana metsävaroja olivat kuluttaneet tervanpoltto ja 1800-luvulla alkanut parhaiden tukkipuiden harsinta sahateollisuuden tarpeisiin. Tervan myyjänä Suomi oli 1700-luvulla Euroopan ykkönen.



Kuva 3. Vuosisatoja harjoitettu kaskitalous hävitti metsiä erityisesti Itä-Suomessa (Heikinheimo 1915). Ensimmäisenä maailmassa 1920-luvulla tehty valtakunnan metsien inventointi paljasti Suomesta löytyvän sekä koskemattomia takamaita että puuttomiksi poltettuja alueita asutuksen ympärillä. Kaskeamisesta ja salamasta irtipäässeen tulen merkit, ns. palokorot, ovat edelleen huomattavan yleisiä yli 100-vuotiaissa männiköissä.

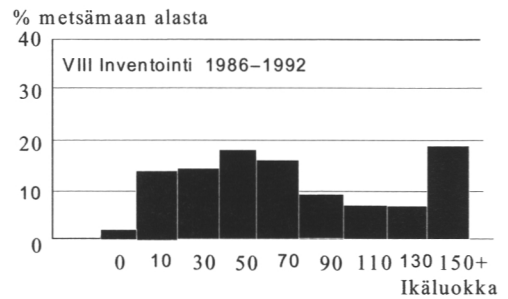
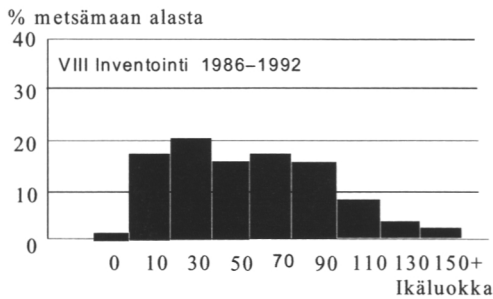
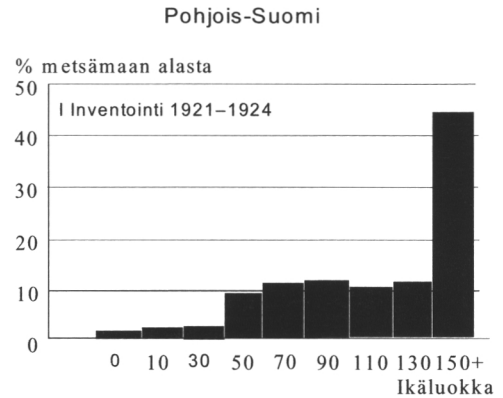
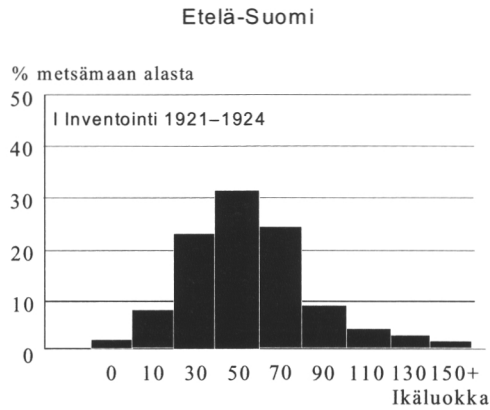
Itsenäistyneen Suomen ensimmäisiä tehtäviä oli talouden elvyttäminen metsän avulla. Professori, sittemmin akateemikko Yrjö Ilvessalon johdolla tehty maailman ensimmäinen valtakunnallinen metsien inventointi avasi jo 1920-luvulla tien kohti puuntuotannollisesti kestävästä metsien käytöstä. Toisen maailmansodan jälkeen raskaat sotakorvaukset ja heikkotuottoiset harsintametsät synnyttivät tarpeen lisätä puuntuotosta metsänhoitoa tehostamalla.



Kuva 4. Suomen metsien kasvu on kohonnut 1950-luvulta nykypäivään noin 40 prosenttia. Pääsyy kasvun nousuun on sotien jälkeen tehostunut metsänhoito. Eniten ovat vaikuttaneet soiden ojitus, vajaatuottoisten metsien uudistaminen ja metsien tiheneminen. Polttopuun käytön romahdus, puun tarkempi hyödyntäminen teollisuudessa ja kuitupuun tuonnin kasvu ovat merkinneet hakkuiden säilymisen metsien kasvuun verrattuna alhaisella tasolla (Tomppo ja Henttonen 1996).

Vajaatuottoisia metsiä uudistettiin, taimikoita hoidettiin ja varttuneempia metsiä harvennettiin. Soita alettiin ojittaa ja metsiä lannoittaa. Tehostettu metsänhoito oli aktiivisinta ja laajaperäisintä 1970-luvulla. Toiminnan tuloksena Suomen metsien vuotuinen kokonaiskasvu nousi 1950-luvun noin 55 miljoonasta kuutiometristä 75–80 miljoonaan kuutiometriin 1990-luvulle tultaessa. Suurin yksittäinen kasvua lisännyt toimenpide on ollut runsaan viiden miljoonan suohehtaarin (noin puolet Suomen soista) ojittaminen; sen osuudeksi vuotuisesta kasvunlisäyksestä on arvioitu noin 10 miljoonaa kuutiometriä.

Metsäteollisuuden viime vuosikymmeninä kasvanut puutarve ja tehostunut metsänhoito eivät ole tehneet Suomen metsistä nuoria yhden puulajin puupeltoja. Maan eteläosassa sekä nuorten että vanhojen metsien määrä on lisääntynyt keski-ikäisten metsien kustannuksella. Havupuita suosineesta metsänhoidosta huolimatta lehtipuiden, pääasiassa koivun, osuus puuston määrästä on säilynyt 15–20 prosentin tasolla. Pohjois-Suomessa sotakorvaushakkuut ja maan talouden jälleenrakentaminen alensivat 1950- ja 1960-luvuilla puuston määrää ja lisäsivät nuorten metsien osuutta. Laajaperäisistä hakkuista huolimatta noin 30 prosenttia Pohjois-Suomen metsistä on edelleen yli 100- ja lähes 20 prosenttia yli 140-vuotiaita.



Kuva 5. Metsien selväpiirteinen uudistaminen näkyy Suomen metsien ikärakenteen tasoittumisena itsenäisyytemme aikana. Etelä-Suomessa on sekä nuoria että vanhoja metsiä aiempaa enemmän. Pohjois-Suomessa yli 100-vuotiaiden metsien määrä on vähentynyt (Metsätilastollinen vuosikirja 1996).

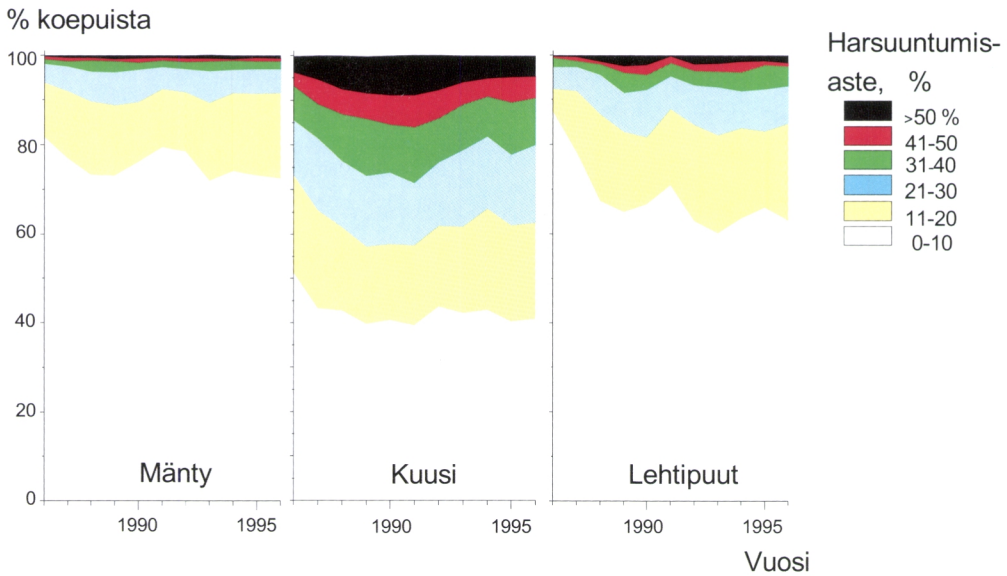
14. Metsien terveydentilan arviointi

Puiden ja metsien kasvun vaihtelu ja pitkän ajan kehitys alkoivat kiinnostaa suomalaisia 1980-luvun alussa, jolloin ristiriitaiset tiedot Euroopan metsien terveydentilasta nousivat tiedotusvälineiden otsikoihin. Epätietoisuutta metsien tulevaisuudesta lisäsi se, että metsien terveyttä ryhdyttiin arvioimaan silmävaraisesti ns. harsuuntumismenetelmällä, joka ei sovellu parhaalla mahdollisella tavalla puiden kunnon vertailuun.

Yksi neulaskadon eli harsuuntumisen silmävaraisen arvioinnin ongelmista on arvion ratkaiseva riippuvuus henkilöstä. Arviointia vaikeuttaa lisäksi se, että samankin puulajin yksilöiden ulkoasu on eri alueilla jo

luonnostaan erilainen. Harsuuntumistilastot eivät näin ollen sovellu käytettäviksi metsien kunnon mittarina maiden välisissä vertailuissa.

Pelkkä neulasmäärien seuranta ei sellaisenaan paljasta myöskään mahdollisen harsuuntumisen syitä. Tehtyjen analyysien mukaan neulaskato riippuu paikallisesti alueen vuoristoisuudesta, meren läheisyydestä, metsien tiheydestä ja ikärakenteesta, hyönteis- ja sienituhoista sekä säiden vuosien välisestä vaihtelusta. Kyseessä on näin ollen puiden yritys sopeutua kasvuympäristöönsä säätelemällä neulasiston määrää. Ilmansaasteiden on todettu aiheuttavan varmuudella puiden harsuuntumista ainoastaan suurten teollisuuslaitosten lähiympäristössä.



Kuva 6. Puiden harsuuntumisen vaihtelu Suomessa vuosina 1986–1996 (Lindgren ja Salemaa 1997). Kuusen neulaskadon voimistuminen 1990-luvun alkupuolelle saakka sopii hyvin yhteen kasvun heikentymisen kanssa (ks. kuva 21, s. 30).

Kasvu on yksi parhaita vaikkakaan ei yksinään riittävä puun terveydentilan mittari. Myös kasvun perusteella tehdyt arviot metsien kunnosta ovat olleet ristiriitaisia. Ongelmat ovat aiheutuneet osittain siitä, että keskustelussa on sekoitettu yksittäisen puun paksuus- tai pituuskasvun millit ja sentit suurten metsäalueiden kuutiometreinä ilmaistuun tilavuuskasvuun (Taulukko 1).

Metsäalueen hehtaarikohtainen tilavuuskasvu riippuu yksittäisten puiden kasvusta sekä kasvavan puuston määrästä ja ikärakenteesta. Harvennushakkuut nopeuttavat yksittäisten puiden kasvua, mutta alentavat koko metsikön tilavuuskasvua. Niinpä nuoret ja tiheät nykymetsät voivat tuottaa enemmän puuta kuin entisajan vähäpuustoiset harsintametsät, vaikka yksittäisten puiden kasvuolosuhteet olisivat heikentyneet esimerkiksi ilmansaasteiden vaikutuksesta.

Taulukko 1. Puun ja metsikön kasvuun vaikuttavat tekijät.

	Vaikutus kasvuun	
	Puun paksuuskasvu, mm	Metsikön kasvu, m ³ /ha
Ikääntyminen	-	-(+)
Puuston tiheys	-	+
Puun harsuuntuminen	-	?
Ojitus, lannoitus	+	+
Harvennus	+	-(0)
Typpilaskeuma, hiilidioksidi	+	+
Rikkidioksidi (suuret pitoisuudet)	-	-
Hapan sade	? (0)	? (0)

Harvennushakkuita lukuunottamatta metsänparannustoimet lisäävät sekä puun että metsikön kasvua. Samoin ilmansaasteiden kasvuvaikutukset ovat samansuuntaiset sekä puu- että metsikkötasolla.

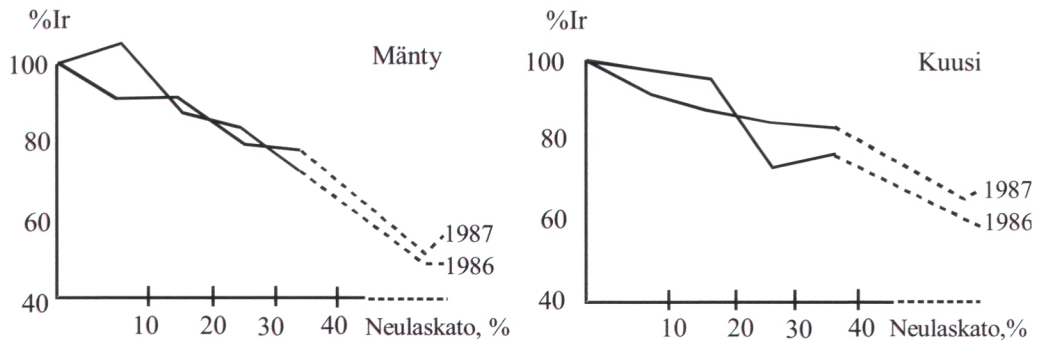
Harsuuntumisen ja puun paksuuskasvun välillä on selvä riippuvuus (Nöjd 1989), oli pa harsuuntumisen syy mikä tahansa. Valtakunnan metsien inventoinnin mittausten mukaan 40 prosentin neulaskato alentaa puun kasvua noin 20 prosentilla. Myös Pretzsch (1996) on tullut Saksassa samantyyppiseen tulokseen. Samalla hän on kuitenkin havainnut tuuheiden ja lievästi harsuuntuneiden puiden kasvavan paremmin kuin ennen.

Yksittäisten puiden harsuuntuminen ei vaikuta koko metsikön tilavuuskasvuun yksiselitteisesti. Metsikön elinkelpoiset tuheet puut hyötyvät sairauksien, saasteiden tai metsikön puiden välisen kilpailun heikentämien puiden vähenevästä kilpailukyvästä ja

korvaavat ainakin osittain niiden aiheuttamaa kasvutappiota.

Kasvuanalyysissä häiritsevä ongelma on myös tarkastelujänteen pituus. Muutaman vuoden mitatun kasvun perusteella ei voida päätellä metsien tulevaa kasvukehitystä. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan puiden ja jossakin määrin myös metsien kasvua aikajäntein, jotka vaihtelevat tunneista vuosisatoihin ja jopa vuosituhsansiin:

- Kasvukauden aikainen tunnintarkka seuranta lisää tietoa siitä, miten puun kasvu todella muodostuu.
- Vuosien välinen kasvun vaihtelu on tehokas mittari tutkittaessa säiden ja ilmansaasteiden osuutta puiden kasvun vaihtelussa.
- Tarkastelukulmista pisin eli vuosikymmenten ja vuosisatojen välinen vertailu antaa vertailukohdan viime aikoina havaittujen kasvumuutosten ainutlaatuisuuden arvioinnille.

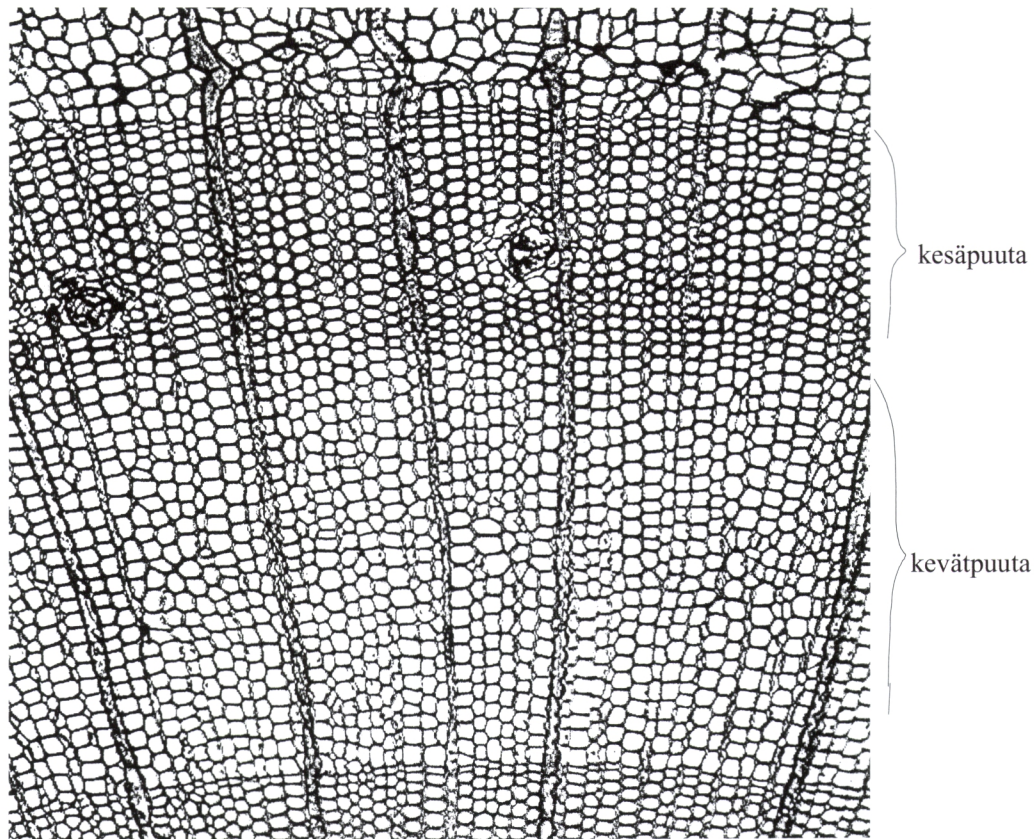


Kuva 7. Neulasiaan menettäneet harsuuntuneet puut kasvavat tuuheita puita heikommin. Noin 40 prosentin neulaskato alentaa puun sädekasvua keskimäärin viidenneksellä. Valtakunnan metsien inventoinnissa mitatut tuhannet kasvukoepuut eivät kuitenkaan kerro harsuuntumisen syistä tai sen vaihtelusta (Nöjd 1990).

Puun paksuuskasvu muodostuu uusista solukerroksista ja jo syntyneiden putkisolujen seinämien paksunemisesta. Viimeksi mainittu jatkuu vielä uusien solujen muodostumisen päätyttyä aina pakkasten tulon saakka.

Puun kuori. Kuoren tehtävänä on suojata puuta ja erityisesti sen elintoimintojen kan-

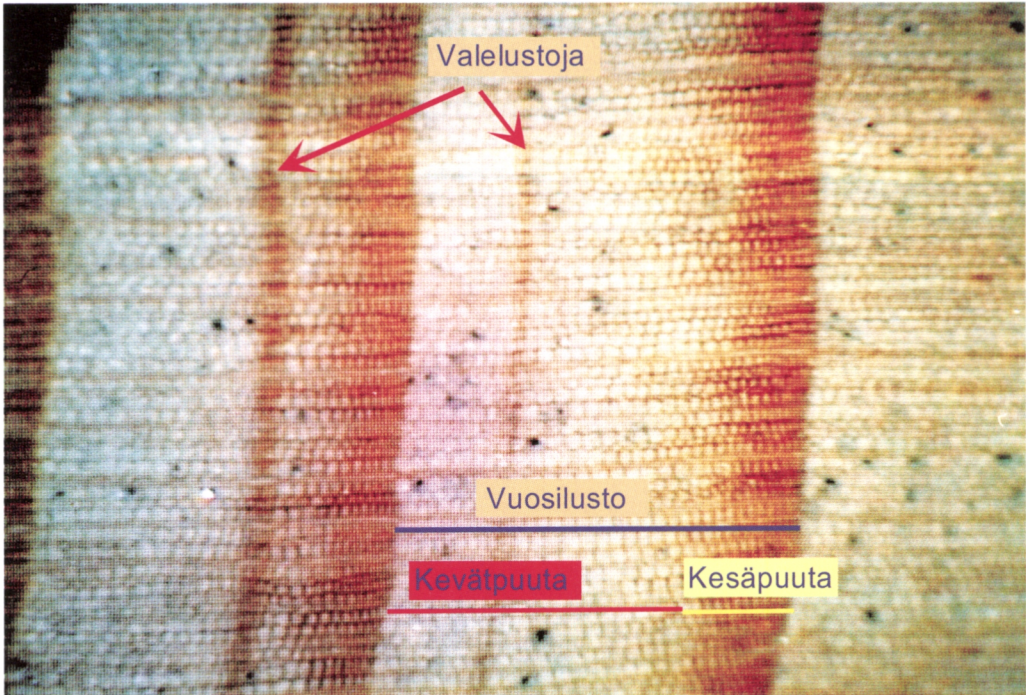
nalta tärkeää nilakerrosta. Paksuin kuori on yleensä puilla, jotka kasvavat paloherkillä kuivilla kankailla. Niinpä mänty kestää kotimaisista puulajeista parhaiten tulta. Satoja vuosia vanhoista kilpikaarnaisista männyistä löytyy joskus merkkejä useista metsäpaloista. Puun kuori ei kasva yhtä säännömukaisesti kuin vuosilustot, minkä vuoksi sen vuotuisen kasvun mittaaminen on vaikeata.



Kuva 9. Putkisolut muodostavat vuosirenkaaseen kennomaisen rakenteen. Putkisolujen muoto vaihtelee. Poikkileikkaukseltaan ne ovat monikulmioita. Vuosirenkaiden tunnistamista helpottavat paksuseinäiset kesäpuusolut erottuvat selvästi vaaleammasta kevätpuusta. Kuva: P. Saranpää.

Valelusto. Kasvukaudella pitkään jatkunut kuivuus tai sään kylmeneminen voivat saada aikaan kevätpuusolujen ennenaikaisen pienenemisen siten, että ne alkavat muistuttaa kesäpuusoluja. Näin syntyvä valelusto (Kuva 10) saatetaan joskus tulkita virheelli-

sesti kahden kasvukauden tuotokseksi. Valeluston erottaa aidosta vuosirenkaasta kaapeuden ja kesäpuuta huonommin erottuvan rajan perusteella. Valelustot ovat harvinaisia männyllä, mutta Etelä-Suomen kuusissa niitä saattaa esiintyä.



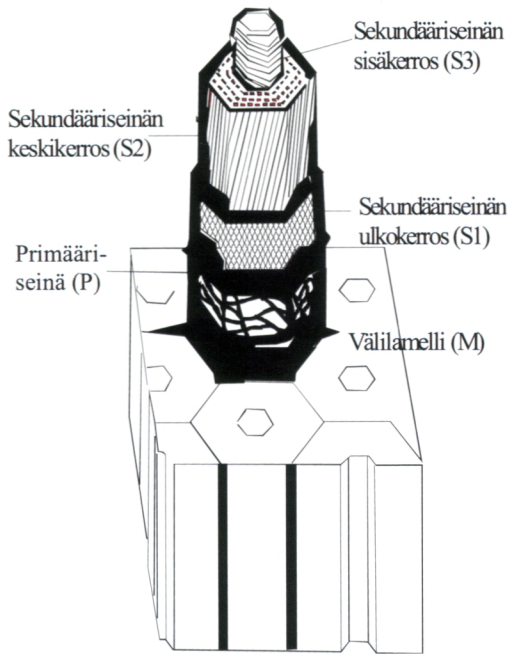
Kuva 10. Valelusto syntyy kylmyyden tai kuivuuden yllättäessä kesken kasvukauden. Sään palautuessa normaaliksi uudet kevätpuusolut kasvavat jälleen suuremmiksi. Kuvassa iän ja kasvun määritystä vaikeuttavia valelustoja douglaskuudessa. Kuva: M. Timonen.

Puun solurakenne. Puuaines joutuu luonnossa kestämään puun massasta johtuvaa suurta pystysuunnassa vaikuttavaa puristusta, tuulesta aiheutuvaa vaakasuoraa vääntöä sekä suuria lämpötilan muutoksia. Putkisolujen seinämien rakenne ja solujen järjestäytyminen puuaineessa mahdollistavat puiden mukautumisen ankariin ulkoisiin olosuhteisiin. Putkisolujen seinämät koostuvat pääasiassa selluloosa-, ligniini-, proteiini- ja pektiinimolekyyleistä. Proteiinit ja ligniini lujittavat soluseinän rakennetta. Pektini toimii liima-aineena, joka kiinnittää putkisolujen vaipat toisiinsa.

Puusolun seinämä on rakentunut neljästä erilaisesta kerroksesta, joilla kullakin on ominainen kuormituksen sietokykynsä (Kuva 11). Pituussuunnassa selluloosaketju on erittäin lujaa, puristuslujuus on samaa suuruusluokkaa kuin teräksellä. Muihin suuntiin lujuus on vain kymmenesosa tästä.

Putkisolut ovat kiinnittyneet toisiinsa puun pituussuuntaisesti kennostoksi, joka on rakenteena mekaanisesti erittäin luja. Samantyyppistä rakennetta käytetään esimerkiksi suurta lujuutta vaativissa linkkimastoissa ja ontelolaatoissa.

Puut kykenevät mukautumaan vaihteleviin ulkoisiin olosuhteisiin. Aukealla paikalla kasvavat männyt vahvistavat runkooaan kestämään tuulen rasituksia. Kuivilla kasvupaikoilla puut kehittävät juuristoaan muiden osien kustannuksella pystyäkseen tyydyttämään veden ja ravinteiden tarpeensa. Lämpiminä vuosina puut varastoivat yhteyttämistuotteitaan lehti- tai neulasmasaansa, mikä on tärkeää puiden välisessä kilpailussa kasvutilasta.



Kuva 11. Puusolujen seinämät rakentuvat soluontelon puoleisesta sekundaärikerroksesta ja sitä ympäröivästä primäärikerroksesta. Solut kiinnittyvät toisiinsa uloimpana olevasta välilamellikerroksesta. Sekundaärikerros koostuu selluloosasta, jota on yleensä kolme kerrosta (S1, S2 ja S3). Selluloosateollisuus käyttää nämä kerrokset mahdollisimman tarkasti hyväkseen.

212. Puun vanheneminen ja kuolema

Puulajien elinikä vaihtelee huomattavasti. Pitkäikäisimmät puut ovat yleensä suhteellisen pienikokoisia ja kasvavat kuivissa olosuhteissa. Tunnettu esimerkki pitkäikäisestä lajista on Yhdysvaltojen lounaisosissa kasvava vihnamänty (*Pinus aristata*), jonka vanhimmasta tutkitusta yksilöstä, Metusalemännystä, on löytynyt noin 4950 vuosirengasta. Se merkitsee, että Metusalem oli jo yli 300-vuotias puuvanhus, kun Egyptissä alettiin rakentaa Kheopsin pyramidia. Yhdysvaltojen länsiosissa hyvin suppealla alueella kasvavat kookkaat mammuttipetäjät (*Sequoia gigantea* (Lindl.)) voivat myös

ylittää 4000 vuoden iän. Keski-Euroopan vanhimmat tammet ovat eläneet noin 2000-vuotiaiksi.

Suomessa esiintyvistä havupuulajeista pitkäikäisimpiä ovat kataja ja mänty. Professori Gustaf Sirén on raportoinut löytäneensä pohjoiselta metsänrajalta Lapista yli 1000-vuotiaan katajan ja 810-vuotiaan männyn. Etelä-Suomen vanhimmat männyn ovat olleet noin 600 vuoden ikäisiä. Metsätaloudellisesti arvokkain lehtipuulajimme rauduskoivu saavuttaa parhaimmillaankin vain noin parin sadan vuoden iän.

Vaikka elävän puun kasvu saattaa olla tilapäisesti useita vuosia olematon, merkitsee paksuuskasvun loppuminen yleensä kuolemaa. Kuolevan puun paksuuskasvu ei pääty rungon eri osissa samanaikaisesti. Lapin vähitellen keloutuvat männyn voivat kasvaa paksuutta latvuksen korkeudella vuosikymmeniä sen jälkeen, kun kasvu rungon alaosissa on kokonaan päättynyt. Keloutuneen männyn kuolinvuoden arvioon saattaa näin tulla huomattava virhe, jos mittaus perustuu tyven vuosirengaskäisiin. Toisaalta myös aivan tyvessä lustonmuodostus voi jatkua kauemmin kuin oksattomassa osassa, mikä saattaa liittyä juuristoyhteyksiin puuyksilöiden välillä. Tavallisesti männyn latva keloutuu, minkä jälkeen kasvu voi jatkua pitkään alemmissa rungon osissa.

22. Paksuuskasvun päivittäinen seuranta

221. Mittavälineiden kehitys

Puun päivittäistä paksuuskasvua seurataan mittaamalla tarkoilla mittalaitteilla rungon läpimitan tai ympärysmitan muutoksia. Nuoren kuusen ympärysmitan kasvu on nopeimmillaankin vain 0,2 mm vuorokaudessa, minkä vuoksi kerran tunnissa sädekasvua mittaavan laitteen on oltava huomattavan tarkka. Tarkkuusvaatimus kasvaa yli kuusinkertaiseksi, mikäli halutaan mitata rungon säteensuuntaista kasvua ympärysmitan kasvun sijasta.

Puun rungon ympärysmitan vuotuista muuttumista seurattiin 1700-luvulla Saksassa. Havaintovälineenä käytettiin tiittävästi aluksi rungon ympäri sidottua nahkanauhaa, joka kiristyi puun ympärysmitan kasvaessa. Itävaltalainen Josef Friedrich kehitti 1800-luvun lopussa automaattisen kasvupannan, joka tulosti puun rungon ympärysmitan muutokset graafisesti paperille. Pannan heikkouksia olivat suuri koko, metallin lämpölaajeneminen sekä kiinnitys runkoon puuta vahingoittavilla nauloilla.

Friedrichin jälkeen tutkijat ovat tehneet kasvupantamittauksia eri puolilla maailmaa pääasiassa itse kehittämillään laitteilla. Kasvun mittaukseen on pantojen ohella käytetty myös yksinkertaisempia laitteita kuten runkoon rinnakkain iskettyjä ohuita nauloja. Jos naulat ulottuvat vain elävään mantopuuhun, niiden keskinäisen vaakasetäisyyden muutos on suhteessa rungon ympärysmitan kasvuun. Naulojen välimatka voidaan mitata muutaman päivän välein työntömitalla. Menetelmän ongelmia ovat mittaustulosten tarkka kytkentä todelliseen kehämitan kasvuun, puun kasvavan solukon vahingoittuminen ja epävarmat käsivaraiset mittaukset.

Suomessa kasvupantamenetelmää ovat käyttäneet muun muassa Huikari ja Paar-

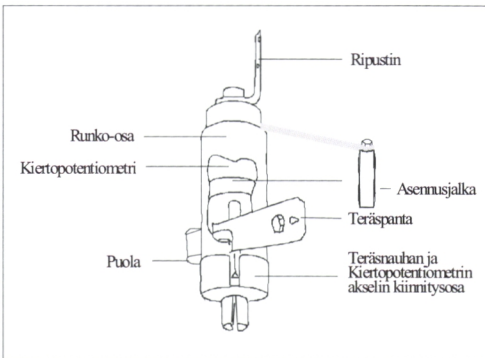
lahti (1967) sekä Leikola (1969). Näistä ensiksimmäiset tutkivat männyn, kuusen ja koivun pituus- ja paksuuskasvua Vilppulassa ja Rovaniemellä. Heidän mittaustensa mukaan puiden paksuuskasvu alkoi Vilppulassa keväällä keskimäärin viikkoa aiemmin kuin Lapissa. Männyn paksuuskasvu alkoi keskimäärin kaksi viikkoa myöhemmin kuin pituuskasvu.

Leikola tutki väitöskirjassaan männyn, kuusen ja koivun ympärysmitan muutoksia pannoilla ja sädekasvua suoraan havainnoivilla auksanometreillä. Paksuuskasvun alkamisajankohta voitiin arvioida Orivedellä tehdyn tutkimuksen mukaan muutaman päivän tarkkuudella (Kuva 14, s. 21). Kasvun loppumisajankohdan määrittäminen oli huomattavasti vaikeampaa.

Leikola tutki pannoilla myös sitä, miten lämpötilan muuttuminen vaikuttaa kasvun alkamiseen. Tulokset osoittivat, ettei rungon lämpötilan kohottaminen ulkoilman lämpötilaa korkeammaksi vaikuttanut paksuuskasvun alkamiseen. Edellä mainitut, noin 30 vuotta sitten tehdyt kokeelliset tutkimukset toimivat edelleen vertailukohtana arvioitaessa uusien menetelmien soveltuvuutta puiden paksuuskasvun päivittäiseen seurantaan.

222. Metlan uusi kasvupanta

Ensimmäiset kokeilut puiden kasvun valtakunnallisesta vuotuisesta seurannasta alkoivat Metlassa 1980-luvun alussa. Tavoitteena oli perustaa maanlaajuinen koealaverkosto, jonka avulla pystyttäisiin joka syksy mittaamaan kuluneen kesän kasvun taso eli eräänlainen metsien vuotuinen satoluku. Kokeita perustettiin yli 70 männikköön ja kuusikkoon etelärannikolta Inariin saakka. Muutaman vuoden ajan mitattiin joka syksy teräsmittanauhalla lähes 9000 koepuun ympärysmitat. Tulokset osoittivat, että kerran vuodessa tehtävän mittauksen tulos riippui liikaa mittaussajankohdan säästä. Mittaus-



Kuva 12. Puun ympärösmittan muutoksia tunnin välein rekisteröivä kasvupanta työssään. Mittaustieto muutetaan pannassa sähkövastukseksi ja siirretään automaattisesti tiedonkeruulaitteeseen. Pienikokoinen kasvupanta (30 mm x 70 mm, alle 300 g) kätkeytyy hyvin puiden sekaan eikä se sisällä tavoittelemisen arvoisia kalliita osia. Kuva ja piirros: E. Pesonen.

tarkkuuden parantaminen esimerkiksi toistomittauksin olisi tullut liian kalliiksi, joten menetelmästä päätettiin luopua. Ainoana mahdollisuutena pidettiin tämän jälkeen kasvun jatkuva mittausta.

Kasvun jatkuvaan mittaukseen soveltuvan uuden pantamallin tuli soveltua ympärivuotiseen käyttöön. Sen tuli olla pienikokoinen ja edullinen sekä hankkia että käyttää. Pannan tarkkuuden tuli riittää puun ympärösmittan tunnintarkkaan mittaamiseen ja se piti voida liittää myös automaattiseen maastotallentimeen. Ensimmäinen vaatimukset täyttävä panta, tuotenimeltään ELPA-93, valmistui vuonna 1994 FL Erkki Pesosen ja

Oulun yliopiston konetekniikan osaston DI Väinö Vuodon yhteistyönä. (Kuva 12).

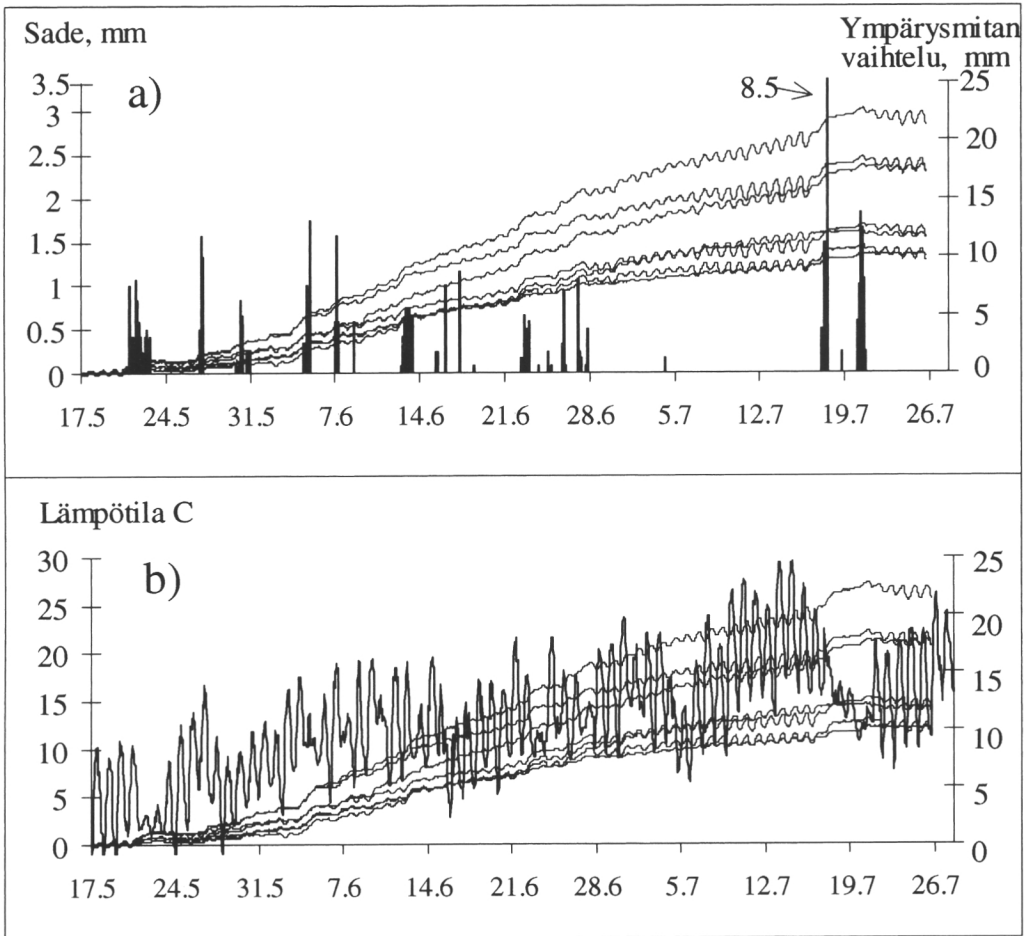
Uusi kasvupanta on rakennettu ruostumattomista materiaaleista korroosion vähentämiseksi. Sen runko-osa on valmistettu alumiiniputkesta (30 mm x 70 mm), jonka sisään on kiinnitetty kiertopotentiometri. Runko-osaan on työstetty aukot, joista teräsnauha pääsee vapaasti kulkemaan puun rungon ympärösmittan muuttuessa. Teräsnauhan ja kiertopotentiometrin akselin kiinnitysosan toiminta perustuu kolmeen laakeriin, jotka erityinen jousitettu osa puristaa potentiometrin akselia vasten. Laakerien ja akselin välissä liikkuvan teräsnauhan liike muuttuu potentiometrin kiertyessä vastuslukemaksi, joka voidaan tallentaa sähköisesti tiedonkeruulaitteen muistiin. Pannan tekninen mittaustarkkuus on 0,1 millimetriä, mikä vastaa noin 0,03 millimetrin erotuskykyä puun läpimitassa.

Pannan häiriöttömän toiminnan takaamiseksi on ensiarvoisen tärkeää, että teräsnauha liikkuu herkästi takertumatta puuhun tai itse mittalaitteeseen. Jotta panta kykenisi seuraamaan yhtä hyvin puun ympärösmittan suurenemista kuin kutistumista, on nauha kiinnitetty kasvupannan runko-osaan toisesta päästään jousella. Jousikuorma on mitoitettu niin, ettei se haittaa puun kasvua, mutta pitää kuitenkin teräsnauhan tukevasti kiinni puun rungossa.

23. Esimerkkejä paksuuskasvumittauksista

231. Puun ympärösmittan muutokset kasvukauden aikana

Metlan kasvupannoilla on tehty mittauksia maan eri osissa vuodesta 1994 lähtien. Esimerkkinä esitellään punkaharjulaisessa harvennuskuusikossa seurattujen seitsemän puun ympärösmittan vaihtelua touko-heinäkuussa 1994 (Kuva 13).

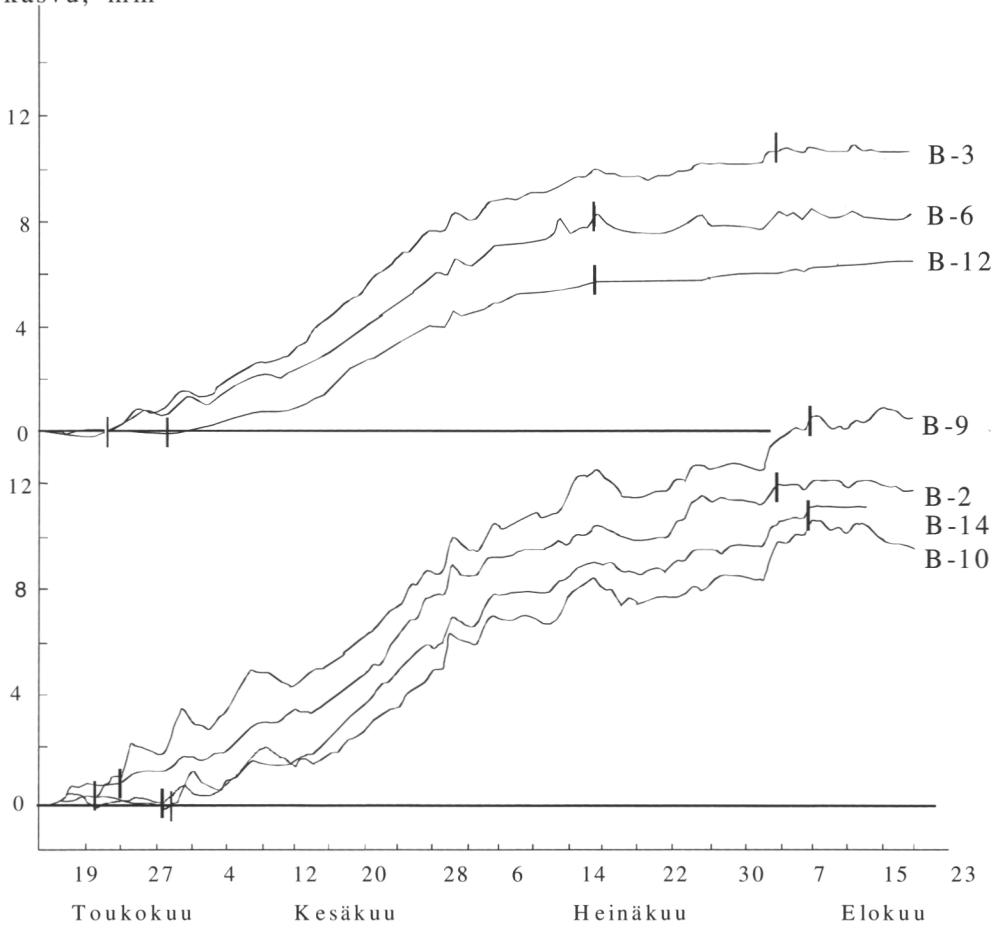


Kuva 13. Tutkimusmetsikön kuusten ympärysmittan ja säätekijöiden vaihtelu Punkaharjulla 17.5.–26.7. 1994. Mittaustiedot on tallennettu automaattisesti tunnin välein koko kasvukauden ajan.
 a) Kasvu ja sademäärä. Pystyviivat osoittavat sateen alkuhetken.
 b) Kasvu ja ilman lämpötila. Lämpö vaikuttaa puun kasvun alkamiseen, päättymiseen ja puun haihduttamiseen. Korkea lämpö alentaa ilman suhteellista kosteutta ja nopeuttaa haihtumista.

Mittauksissa ilmeni, että toukokuun 20. päivän jälkeen koealan kaikkien puiden ympärysmittat kasvoivat hyppäksenomaisesti. Näin äkillinen muutos ei voine selittyä pelkästään uusien solujen muodostumisella kasvukauden ollessa vielä alkuvaiheessa. Selityksenä ilmiölle on vesi, joka pääsi imeytymään juurten kautta runkoon roudan sulamisen ja samaan aikaan sattuneen useamman päivän sadejakson ansiosta. Veden varastoitumista runkoon auttoivat haihtumista vähentänyt viileä sää ja ilman suuri suhteellinen kosteus.

Päivälämpötilan kohotessa ja ilman suhteellisen kosteuden vähentyessä alkoivat myös rungon vuorokautinen turpoilu ja kutistuminen näkyä tuloksissa. Yön ja päivän välinen vaihtelu oli erityisen voimakasta kahtena hellekautena (1.–20.7. sekä heinä-elokuun vaihteessa), jolloin veden haihtuminen oli päiväsaikaan runsasta. Osaan pantapaista oli kiinnitetty sadesuojus kuoren kastumisen ja turpoamisen estämiseksi. Suojuksella ei ollut vaikutusta tuloksiin, mikä osoittaa, että ainakin kuusikossa pääosa rungon turpoilusta tapahtuu puuaineessa eikä kuoressa.

Ympärysmitan
kasvu, mm



Kuva 14. Kuusen (yläkuva) ja männyn (alakuva) ympärysmitan kasvu vuonna 1966 Oriveden Huikossa Leikolan (1969) kasvupantamittausten mukaan. Kasvukauden arvioitu alkaminen ja päättyminen on merkitty kuvaan pystyviivoin.

Äkilliset säämuutokset näkyvät pantamittauksissa. Pitkän kuivan ja lämpimän kauden jälkeinen voimakas sade ja sitä seuraava viilehkö ajanjakso heinäkuun 20. päivän jälkeen vaikuttivat selvästi puiden ympärysmittaan. Ennen sateita puut haihduttivat runsaasti vettä, minkä vuoksi niiden veden tarve oli suurimmillaan. Sateiden alettua rungot turposivat voimakkaasti samalla, kun puiden päiväaikainen kutistuminen jäi pieneksi. Sadejakson päätyttyä rungon paksuuden vaihtelun vuorokausirytmä alkoi jälleen näkyä mittauksissa (Kuva 13).

Kasvupannan soveltuminen kasvukauden alkamishetken arviointiin riippuu määrittelystä: vaihtoehtoina ovat 1) hetki, jolloin nesteet alkavat virrata puun rungossa, 2) hetki, jolloin neulasissa alkaa muodostua yhteyttämistuotteita tai 3) hetki, jolloin uuden uuden vuosiluston ensimmäinen solukerros muodostuu, 4) eräät kasvututkijat tulkitsevat kasvukauden alkavan silloin, kun puu paksuuntuu palautumattomasti. Metlan kasvupanta toimii hyvin erityisesti viimeksi mainitussa tapauksessa. Puun ympärysmittaan vaikuttavien turpoilun ja

uuden puuaineksen osuuksia ei voida selvittää pelkillä pantamittauksilla. Sama koskee myös fotosynteesin mittaamista.

Punkaharjun kuusikon koepuut alkoivat vuoden 1994 paksuuskasvunsa noin 21. toukokuuta pari päivää kestäneen sadekauden aikana. Tulos on sopusoinnussa Leikolan vuonna 1966 Orivedellä tekemien mitausten kanssa (Kuva 14).

Paksuuskasvun päättymisen määrittäminen on ongelmallisempaa kuin alkamisen. Syyskesää kohti mentäessä puun paksuuskasvu hidastuu selvästi. Kasvukauden loppupuolella muodostuvat kesäpuusolut ovat pieniä ja paksuseinäisiä. Kesäsolujen seinämät kasvavat paksuutta vielä senkin jälkeen, kun uusien solukerrosten muodostuminen on päättynyt. Kasvupanta ei sovellu kasvukauden loppuvaiheiden soluntarkkaan mittaamiseen.

Punkaharjun kuusien ympärysmittat vakiintuivat elokuun alkupuoliskolla. Leikolan tutkimuksessa paksuuskasvu päättyi Juupajoella vuonna 1964 elokuun 25. päivän tienoilla, mutta muina vuosina jo ennen elokuun kymmenettä päivää.

232. Kasvun taso ja kasvurytmi peräkkäisinä vuosina

Vuodet eivät ole sääoloiltaan samanlaisia, mikä näkyy myös puiden kasvun tasossa ja kasvurytmissä. Metlan Muhoksen tutkimusasemalla vuosina 1993–1996 tehtyjen pantamittausten mukaan mäntyjen ympärysmittat alkoivat mittausvuosina venyä toukokuun loppupuolella tai kesäkuun alussa lämpösumman ylitettyä 100 dd-yksikön rajan (Kuva 15). Kesä tuli aikaisin vuonna 1993. Puiden paksuuskasvun alkamiseen näyttää vaikuttaneen kaikkina vuosina ensimmäinen yli viiden millimetrin vuorokautinen sademäärä.

Kasvukauden alkamishetken perusteella ei voida ennustaa luotettavasti lopullista vuo-

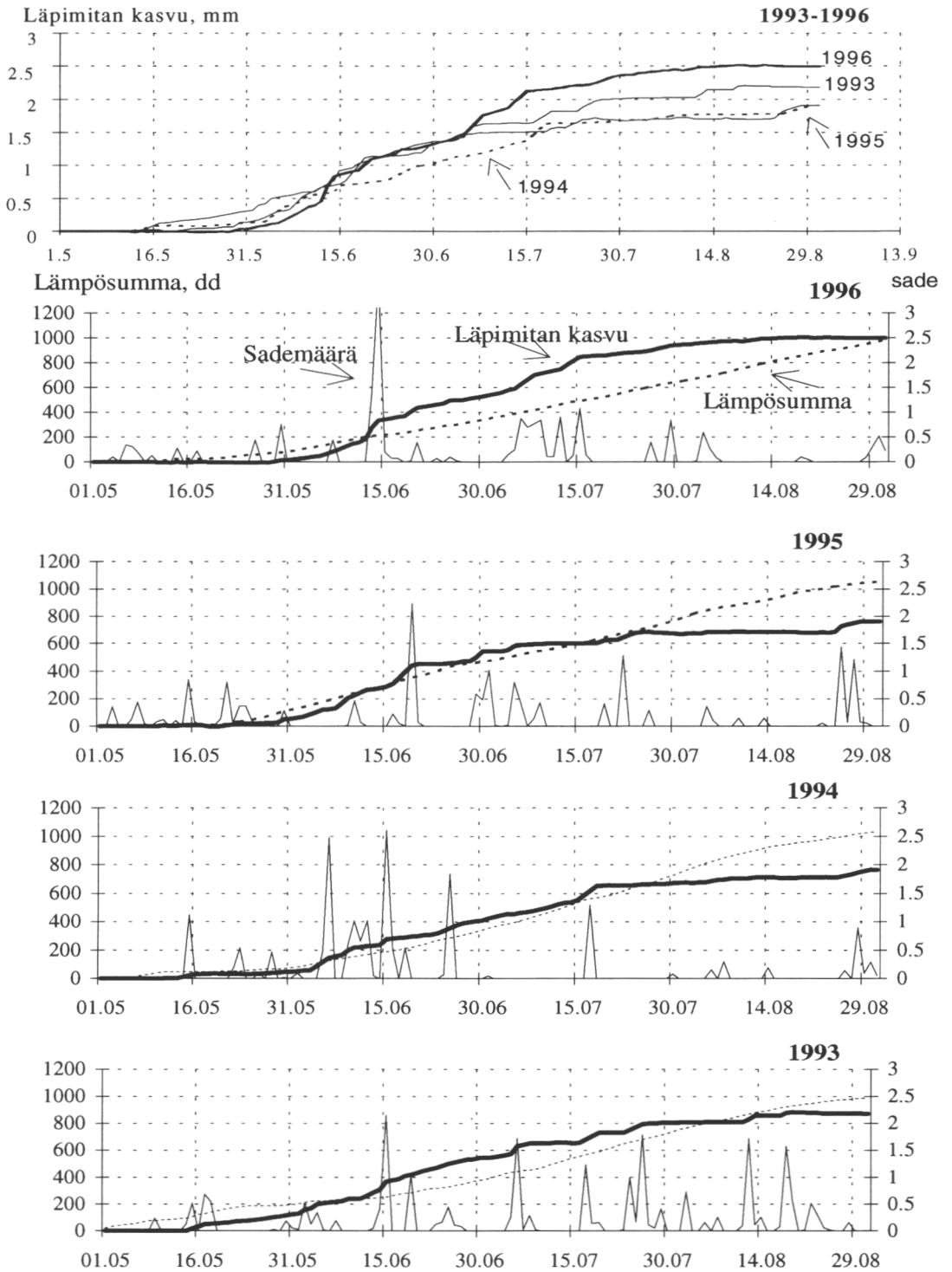
tuisen kasvun tasoa. Vuosina 1993 ja varsinkin 1996 männyt kasvoivat Muhoksen koemetsikössä 25–30 prosenttia enemmän kuin lämpimämpinä kesinä 1994 ja 1995. Tulos on yllättävä, sillä paksuuskasvu näyttää tämän perusteella riippuvan pikemminkin kasvukauden sademäärästä kuin lämpösummasta. Tulos poikkeaa yleisestä käsityksestä, jonka mukaan kasvukauden lämpötila määrää puiden kasvun tason erityisesti Pohjois-Suomessa.

Valtaosa mäntyjen paksuuskasvusta muodostui Muhoksella heinäkuun loppuun mennessä. Pitkän poutajakson jälkeinen sade aiheutti kuitenkin selvän läpimitan nousun vielä elokuussakin. Ilman lisämittauksia on vaikea arvioida, aiheuttiko sade uusien solukerrosten muodostumista, vai oliko kyseessä ainoastaan jo syntyneiden solujen turpoaminen. Joka tapauksessa sadeiden jälkeinen puiden paksuneminen jäi Muhoksen koepuissa pysyväksi.

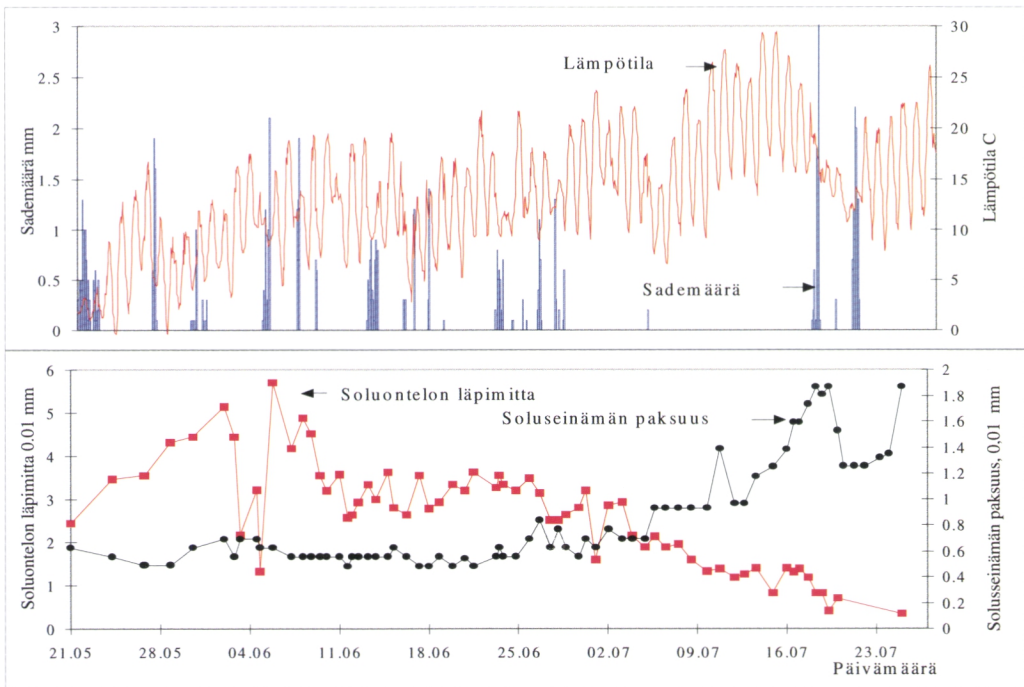
233. Solutason kasvumittaukset

Puun paksuuskasvu tapahtuu samanaikaisesti useissa päällekkäisissä solukerroksissa. Tämä vaikeuttaa solukerrosten syntyhetken ajoittamista. Pyrittäessä päivántarkkaan ajoitukseen kuhunkin ajankohtaan mennessä syntyneet solut voidaan merkitä päivittäin pistämällä terävällä piikillä puuhun keskeneräisen vuosiluston lävistävän merkin. Merkit mahdollistavat solukerrosten syntyajankohtien selvittämisen laboratorio-mittauksin kasvukauden jälkeen.

Vuoden 1994 vuosilustoista mitattiin putki-solujen soluonteloiden ja seinämien läpimitat. Yksittäisten solujen muodostumisajankohta arvioitiin karkeasti solu- ja kasvupantamittausten perusteella. Ajoitusta ei varmennettu pistomenetelmällä, minkä vuoksi solujen synty aika ei ole päivántarkka. Loppukesällä muodostuvan viimeisen solukeroksen ajankohtaa on myös vaikea arvioida viikkoa tarkemmin. Kuvassa 16 verrataan



Kuva 15. Männyn paksuuskasvu, lämpösomma ja sademäärä Muhoksella vuosina 1993–1996. Rinnankorkeudelta mitattu ympärysmitan kasvu on kuuden puun kasvujen keskiarvo (Niemi, julkaisematon tieto 1996).



Kuva 16. Kesällä 1994 syntyneiden solujen koon riippuvuus niiden arvioidusta muodostumisajankohdasta. Toukokuun lopun kylmyys näkyy soluonteloiden pienenemisellä. Kasvukauden lopulla sateet saivat solut turpoamaan täyteen mittaansa.

syntyneiden solujen kokoja vastaavan ajan-
kohdan säätietoihin.

Paksuskasvu alkoi Punkaharjulla vuonna 1994 toukokuun 20. päivän vaiheilla ja päättyi heinä-elokuun vaihteessa (Kuva 13). Kasvukauden alussa lämmintä jaksoa seurannut kylmyys näkyy solujen koon selvänä pienenemisellä. Kasvukauden loppupuolella solut turposivat kahden voimakkaan sadejakson yhteydessä (Kuva 16). Selityksenä tähän voisi olla, että loppukesän hellekautena muodostuneet puusolut olivat kutistuneet veden puutteen vuoksi. Sateiden alettua solut imivät nopeasti vettä ja kasvoivat täyteen kokoonsa pysyvästi. Havainto on sopusoinnissa Niemistön Muhoksella tekemien havaintojen kanssa (ks. kappale 232).

24. Kasvun lyhyen ajan seurannan sovellukset

Uusi automaattinen kasvupanta on aiempiin laitteisiin verrattuna yksinkertainen. Sen edullinen hankintahinta ja pienet käyttökustannukset mahdollistavat valtakunnallisen kasvunseurantajärjestelmän perustamisen. Tällä hetkellä Metlalla on tutkimuskäytössä yli 200 pantaa. Valmistuttuaan järjestelmä käsittää kymmeniä sijainniltaan, kasvupaikaltaan, puulajisuhteiltaan ja iältään vaihtelevia metsiköitä, joissa kussakin seurataan 5–10 puun ympäröimän muutoksia ympärivuotisesti. Tulokset voidaan siirtää radiopuhelimella automaattisesti suoraan metsästä tutkijan tietokoneelle, mikä mahdollistaa kasvupantojen toiminnan jatkuvan tarkkailun.

Kasvun monivuotisesta seurannasta kertyy vähitellen aineistoa kasvuun ja ympäristö-

kijöiden välisten yhteyksien tutkimiseen. Tarkka solujen muodostumisajankohdan ajoitusmenetelmä mahdollistaisi myös muinaisen ilmaston kasvukaudenaikaisen tarkastelun. Väite perustuu ajatukseen, että vuosituhsia sitten sattuneet hallat, helteet ja sateet ovat jättäneet sormenjälkensä lampien pohjamutiin uponneiden mäntyjen yksittäisiin solukerroksiin. Tulkitsemalla solurakenteita, solujen keskinäisiä suhteita ja kasvukaudenaikaista yleistä kasvutrendiä päästään täten ilmastoon liittyviin päätelmiin. Solukerrosten päivántarkka ajoitus elävistä puista edellyttää pantamittausten lisäksi toistuvia kesänaikaisten solunäytteiden kairauksia tai solujen merkintää pistomenetelmällä.

Kasvupantoja testattiin Euroopan Unionin rahoittamassa tutkimuksessa vuonna 1996. Sen jälkeen pantoja on Suomessa asennettu

automaattisten sääasemien yhteydessä sijaitseville metsien terveydentilan seuranta-koealoille. Pantoja kokeillaan myös tutkitessa tekopohjaveden valmistuksen vaikutusta puiden kasvuun. Useiden vesilaitosten yhteisessä hankkeessa vettä johdetaan sadetuslaittein hiekkaharjuihin, joiden läpi vesi suodattuu useita metrejä alempana kulkevaan pohjaveteen. Ympärivuotinen sadetus on monisatakertainen luonnon sateisiin verrattuna.

Professori Olli Heikinheimon 70 vuotta sitten istuttamiin koemetsiköihin asennettiin vuonna 1997 pantoja, joilla tutkitaan eri puualkuperien kasvun alkamista ja päättymistä sekä myös niiden reagoimista kasvukauden aikaisiin säävaihteluihin. Tutkimuksella saadaan tietoa paitsi siemenen siirrosta myös ilmaston mahdollisen lämpenemisen vaikutuksista puihin.



Kuva 17. Keuruulainen Veikko Kutinlahti käyttää kehittämäänsä yksinkertaista kasvupantaa metsätalouden operatiivisessa suunnittelussa. Jokasyksyisten kasvumittausten jälkeen hän pystyy päättämään sekä kasvukauden suotuisuuden että myös kunkin metsikön hoitotarpeen. Valokuvat: Antti Isomäki.

Pannat soveltuvat myös talousmetsien kasvun seurantaan tilatasolla. Metsätalouden suunnittelussa tarpeellisin vuotuinen tieto on kasvun muutos aiempiin vuosiin verrattuna. Useita vuosia jatkuva kasvun aleneminen saattaa olla merkki metsikön liiasta tihentämisestä eli harvennustarpeesta. Lannoitetussa metsikössä alaspäin kääntyvä kasvu voi osoittaa lannoitusvaikutuksen päättymistä. Myös metsiköiden uudistuskypsyyttä on mahdollista arvioida kasvupannoilla puita vahingoittamatta.

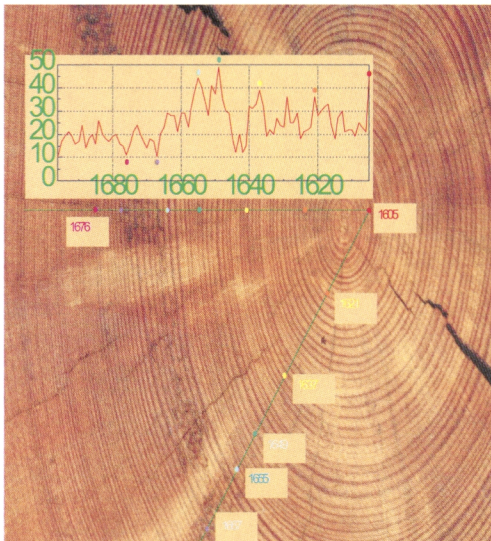
Automaattinen kasvupanta on edullisuudesta huolimatta liian kallis laite metsänomistajan päätöksentekoon. Keuruulainen

metsänomistaja Veikko Kutinlahti on toteuttanut metsissään huomattavasti yksinkertaisemman kasvupantaidean. Hän seuraa tilansa jokaisessa metsikössä viiden puun kasvua kehittämällään kasvupannalla (Kuva 17). Joka syksy luettavat, muovisesta sidenauhasta tehdyt pannat ovat lähes ilmaisia ja riittävän tarkkoja peräkkäisten vuosien kasvujen vertailuun. Kunkin mittauksen yhteydessä puun ympärille kiristettävän nauhan reunaan leikataan pieni pykälä seuraavaa mittausta tai myöhempää tarkistusta ajatellen. Menetelmän kehittäjä on laatinut myös tietokoneohjelman, jolla hän voi tarkastella metsiensä kasvua ja arvokasvua.

3. KASVUN VUOSIEN VÄLINEN VAIHTELU

31. Miten kasvun vuosien välistä vaihtelua tutkitaan

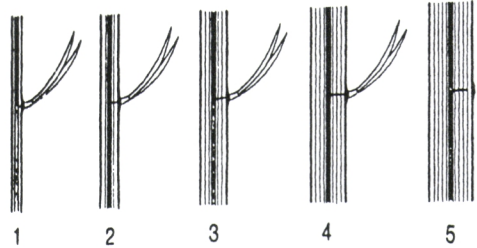
Eri vuosina puihin syntyvien latvakasvain-ten pituus ja vuosirenkaiden leveys riippu-
vat kasvukauden aikaisista ja myös edeltä-
vien vuosien säätekijöistä, joiden vaikutus-
ten tutkimisen mahdollistavat yli sata vuot-
ta kerätyt säätilastot. Dokumentteja tätä
varhemmista poikkeuksellisista säistä löy-
tyy jossakin määrin myös kirkonkirjoista.



Kuva 18. Vanhasta Lapin männystä sahattu kiekko, johon on merkitty joitakin 1600-luvun poikkeuksellisia vuosia. Värilliset pisteet kuvaavat kasvun paikallisia minimi- ja maksimi-vuosia. Kuva: M. Timonen.

Yksi laajimpia muistiin merkittyjä säätuhoja on Lappia tämän vuosisadan alussa koetellut pakkanen. Koko Pohjoiskalotin alueella ilmennyt tuho alkoi syyskuussa 1902. Tuolloin ankara pakkanen vaurioitti pohjoisella metsänrajalla talveen valmistautumattomia mäntyjä. Poikkeuksellisen epäedulliset sääolosuhteet jatkuivat vielä myöhempi-

näkin vuosina. Vasta vuoden 1910 jälkeen ohi mennyt tuho ilmeni sekä vuosirenkaiden kapeutena (Mikola 1950, Lindholm ym. 1996, Nöjd ym. 1996) että neulasvuosikertojen vähäisyytenä (Jalkanen ja Kurkela 1990, kuva 19).



Kuva 19. MMT Risto Jalkanen kehittämällä menetelmällä saadaan jälkikäteen selville, miten harsuuntuneina puut ovat aikoinaan kasvanneet. Menetelmä perustuu arpiin, jotka jäävät näkyviin neulasten irrotessa vuosikasvaimesta (Jalkanen ja Kurkela 1990).

Myös vakavat hyönteistuhot jättävät jälkensä vuosirenkaisiin. Etelä-Suomessa 1800-luvun lopussa havaittu mänty-yökön massasiintymisen (Mikola 1950) ja Päijänteen ympäristössä 1980-luvun alkuvuosina toistuneet mäntypistiäistuhot ovat kirjautuneet neulasensa tuolloin menettäneisiin mäntyihin poikkeuksellisen kapeina vuosilustoina.

Ilmansaasteiden kasvuvaikutusten tutkiminen on osoittautunut vaikeaksi. Eräänä syynä on alueellisesti kattavien, pitkäaikaisten saastetilastojen puuttuminen. Epävarmuutta lisää samanaikaisesti eri suuntiin vaikuttavien kaasumaisten ja kiinteiden saasteiden ja säätekijöiden moninaisuus. Tutkimukset saasteiden vaikutuksista puiden kasvuun eivät ole tuottaneet päästölähteiden lähialueita lukuunottamatta mainittavaa tulosta.

Hyvänä kasvuanalyysin lähtökohtana voi pitää Cookin (1992) esittämää käsitemallia, jossa kasvutapahtuma jaetaan osiinsa seuraavasti:

- puun biologinen ikääntyminen,
- sää- ja ilmastotekijät,

- metsikön sisäiset tekijät,
- ulkoiset tekijät ja
- selittämättömät tekijät

Puun biologinen ikääntyminen näkyy selvästi kasvussa. Nuoruusvaiheessa puun paksuuskasvu aluksi kohoaa, mutta kääntyy viimeistään muutaman kymmenen vuoden iässä laskuun. Kasvun maksimin taso ja ajankohta riippuvat kasvupaikasta, maantieteellisestä alueesta, puulajista ja metsikön syntytavasta.

Säiden vaikutus näkyy sekä pituus- että paksuuskasvussa. Lämpötilaa pidetään tärkeimpänä kasvutekijänä pohjoisessa, sademäärää puolestaan etelässä. Kylmyys voi tyrehdyttää puun kasvun metsänrajalla joskus jopa niin tyystin, ettei vuosirengasta muodostu lainkaan. Tällaisia puuttuvan kasvun vuosia on esiintynyt Lapissa esimerkiksi 1830-luvulla ja kuluvan vuosikauden alussa.

Metsikön sisäisiin kasvutekijöihin luetaan muun muassa puuston tiheys ja siitä seuraava puiden välinen kilpailu kasvutilasta sekä siementuotanto. Ulkoisia tekijöitä ovat esimerkiksi hakkuut, metsäpalot, hyönteistuhot, taudit, saasteet, tuulet, tulvat ja myrskyt. Selittämätöntä kasvun vaihtelua aiheuttavat muun muassa kasvupaikan maaperäominaisuuksien vaihtelu, rinteiden kaltevuussuunta ja myös paljastumatta jäävät mittausvirheet.

32. Kasvun vaihtelun määrittäminen ja soveltaminen

321. Vuosilustoindeksit

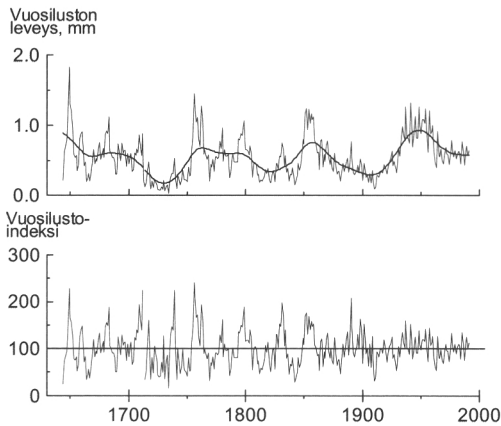
Puiden kasvun vaihtelun mittari on vuosilustoindeksi. Sillä voidaan muun muassa kuvata ilmaston vaikutus kunkin vuoden kasvuun. Vertailukohdaksi voidaan valita esimerkiksi 30 vuoden keskimääräinen kasvu, jota merkitään indeksillä 100. Kasvuolosuhteiltaan keskimääräistä suotuisampi-

en vuosien indeksi saa tällöin yli sadan ja vastaavasti epäsuotuisampien vuosien indeksi alle sadan suuruisia arvoja.

Indeksien vaihtelu on suurimmillaan yksittäisillä ja erityisesti metsänrajaseutujen puilla. Kuvan 20 vanha aihkimänty on tehnyt kylmimpinä kesinä 1730-luvulla vain muutaman sadasosamillin mutta lämpimimpinä 1940-luvun kesinä jopa yli millimetrin levyisiä vuosirenkaita. Vuosilustoindeksit vaihtelevat vastaavasti esimerkkikuvan tasoituksella kymmenestä yli kahtensataan. Metsikkö- ja aluetasolla vaihtelu on pienempää: Pohjois-Suomessa alueelliset vuosilustoindeksit vaihtelevat yleensä välillä 50–150 ja Etelä-Suomessa välillä 70–130.

Kasvun vaihtelu on laajoilla alueilla suhteellisen samanlaista, jos kyseessä on ilmastollisesti ja pinnanmuodoiltaan yhtenäinen alue. Esimerkiksi Kuusamon, Inarin ja Ruotsin Torniojärven mäntyjen vuosilustoista voidaan erottaa samat kylmät ja lämpimät kesät. Ilmaston samankaltaisuuteen vaikuttavat muun muassa alueen mereisyys-mantereisyys, lämpösumma ja korkeus merenpinnasta. Ilmastollisista eroista aiheutuen eteläsuomalaisen männyn indeksi poikkeaa selvästi pohjoissuomalaisesta.

Metsäntutkimuksessa on vuosilustoindeksit lähes poikkeuksetta kytketty ilmastovaihteluihin. Mikäli kasvutuloksia ei korjattaisi ilmastolliseen keskitasoon, saatettaisiin poikkeuksellisen suotuisina kesinä muodostuneet vuosirenkaat tulkita esimerkiksi hyvästä metsänhoidosta aiheutuviksi. Samaten on vaara erehtyä tulkitsemaan, että muutamia vuosia keskitason alapuolella pysyttelevä kasvu olisi merkki ilmaansaasteista tai jopa ilmastonmuutoksesta.



Kuva 20. Vanhan aihkimännyn sädekasvu on vaihdellut rajusti pohjoisella metsänrajalla Inarin Muotkanruoktussa (ylempi kuva). Kuluvan vuosisadan alussa tapahtuneen pakkastuhon jälkeen puun paksuuskasvu kymmenkertaistui 1930-luvulle mennessä. Vuodesta 1960-lähtien puun kasvu on vastannut pitkäaikaista keskiarvoa, noin 0,6 mm:ä vuodessa. Kuvaan on piirretty myös matemaattisesti määritetty (splini-menetelmä) kasvun keskimääräistä kulkua kuvaava tasoituskäyrä.

Vuosisilustoindeksit (alempi kuva) lasketaan vertaamalla sädekasvuja teoreettiseen kasvumalliin. Kasvumalliin pyritään sisällyttämään kaikki tarkasteltavaa ilmiötä häiritsevä vaihtelu. Ilmastosta aiheutuvia indeksejä määritettäessä häiritsevänä vaihteluna pidetään muun muassa puiden ikääntymistä, metsiköiden tihtentymistä ja hakkuita.

Vuosisilustoindeksien laskenta perustuu standardointiin, jolla tarkoitetaan eri olosuhteissa eläneiden puiden kasvujen saattamista keskenään vertailukelpoisiksi. Menetelmässä on keskeisellä sijalla puun sädekasvu kuvaavan kasvumallin laatiminen, jossa otetaan samanaikaisesti huomioon puun ikääntymisestä, kasvupaikasta, metsikkörakenteesta ja eräistä muista kasvutekijöistä aiheutuva kasvun muuttuminen.

Standardoinnin yksityiskohdat riippuvat tutkimusasetelmasta ja -aineistosta: esimerkiksi pelkkä ikääntymisen vaikutuksen

poistaminen kasvusta voi riittää, jos puut ovat kasvaneet vapaassa kasvutilassa ja muutenkin häiriöttömissä olosuhteissa. Vaikka käytettävissä on kehittyneitä mallitusmenetelmiä, voi kuvan 20 kaltaisessa tilanteessa olla vaikeaa erottaa tutkittavaa kasvun osatekijää muusta kasvunvaihtelusta. Oman ongelmansa muodostavat myös mahdolliset pidemmän ajan kasvutrendit. Tutkijan kokemus ja ammattitaito joutuvatkin tällaisissa tilanteissa koetukselle ja tulokset voivat olla hyvinkin vaihtelevia, joskus jopa harhaanjohtavia.

322. Indeksit ja kasvun osatekijät

Kasvunvaihtelututkimuksissa on usein tavoitteena selvittää kasvun jonkin yksittäisen osatekijän osuus (esimerkiksi lannoitus, harvennus, hyönteistuhot, saasteet) kokonaiskasvusta. Indeksimenetelmä soveltuu hieman muunnettuna (indeksimallitusmenetelmä) tähän tarkoitukseen hyvin.

Indeksimallitusmenetelmässä kasvutapah- tumaa pidetään kokonaisuutena, joka on jaettavissa osiinsa. Edellä esitetty Cookin käsitelmä antaa jaottelulle hyvän lähtökohdan. Tutkittavaa kasvun osatekijää kutsutaan signaaliksi (*signal*). Se ei useinkaan näy puiden kasvussa suoraan, sillä se on saattanut peittyä muiden kasvun osatekijöiden joukkoon. Näiden signaalien esiin saamista häiritsevien osatekijöiden vaihtelua kutsutaan kohinaksi (*noise*). Indeksimallitusmenetelmän ideana on vahvistaa signaalia poistamalla kasvusta mahdollisimman paljon kohinaa.

Tulosten laatu riippuu siitä, miten hyvin signaali ja kohina saadaan erotetuksi toisistaan. Kohinaa voidaan parhaiten vähentää jo aineiston keruuvaiheessa valitsemalla koepuita, joissa häiritsevien tekijöiden vaikutus jää mahdollisimman pieneksi. Puiden välisen kilpailun vaikutusta kasvuun poistetaan esimerkiksi valitsemalla näytteet koko ikänsä väljässä kasvutilassa kasvaneista puista.

Kairanlastuista on melko vaikeaa päätellä jälkikäteen, mitkä tekijät ovat vaikuttaneet puun kasvuun eri ikävaiheissa. Vuosilustoindeksien tulkinta edellyttää tietoa metsikön historiasta. Sen selvittäminen ei kuitenkaan ole aina mahdollista, minkä vuoksi indeksit sisältävät aina myös tuntematonta vaihtelua (kohinaa). Indeksit, joiden tarkoituksena on kuvata pelkästään säiden vaikutusta kasvuun, voivat siten sisältää esimerkiksi hakkuista tai metsätuhoista aiheutuvaa kasvun vaihtelua.

Metsikköhistorian tunteminenkaan ei välttämättä takaa menestystä ratkaistaessa tutkimusongelmaa indeksimallitusmenetelmällä. Lopputulokseen vaikuttavat myös tutkimuskohteiden valinta, vuosilustojen mittaus- ja tarkistustekniikka, käytetty laskentamenetelmä sekä tutkijan kokemus ja ammattitaito.

33. Kasvun vaihtelu Suomessa viime vuosikymmeninä

331. Männyn ja kuusen vuosilustoindeksit 1964–1993

Kuvassa 21 esitetään männyn ja kuusen kasvun vaihtelu Suomessa vuosina 1964–1993 (Mielikäinen ym. 1996). Indeksit kuvaavat puiden paksuuskasvua suhteessa 30-vuotisen jakson keskitasoon. Laskentamenetelmä ei paljasta mahdollista pitkän ajan kasvutrendiä, vaan pelkästään kasvun vuosien välisen vaihtelun kolmen vuosikymmenen ajalta.

Sekä männyn että kuusen vuotuiset indeksit ovat vaihdelleet välillä 65–125. Viimeisimmän viisivuotiskauden aikana (1989–1993) männyn kasvu on ollut lähellä keskitasoa. Kuusen kasvu on ollut vastaavan ajan noin 10 prosenttia keskitason alapuolella seuraavan asetelman mukaisesti:

	Pohjois-Suomi	Etelä-Suomi
Mänty	95	100
Kuusi	90	91

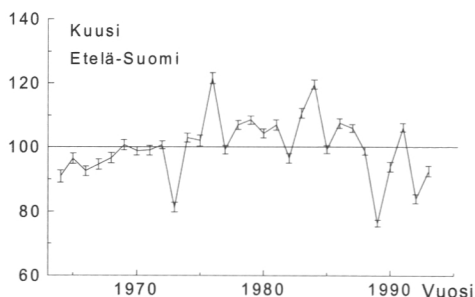
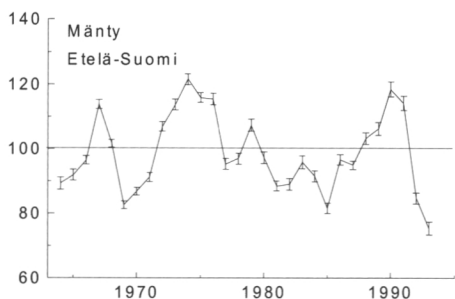
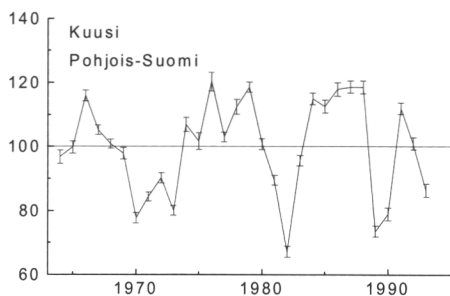
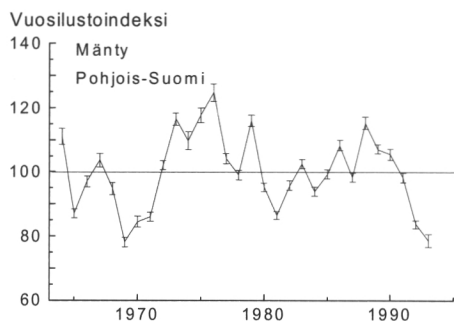
Vaikka indeksit kuvaavat lähinnä peräkkäisten vuosien välistä kasvun vaihtelua, on niissä havaittavissa useamman vuoden mitaisten suotuisien ja epäsuotuisien kasvujaksojen tietynlaisena vuorotteluna.

332. Piikkivuodet ja piikkivuosi-indeksit

Vuosilustoindeksit kuvaavat ensisijaisesti kasvun vuosien välistä vaihtelua, mikä mahdollistaa muun muassa eri ajankohtien kasvujen keskinäisen vertailun. Ne soveltuvat myös yksittäisten vuosien kasvujen tarkasteluun tapauksissa, joissa vertailukohtana pidetään keskimääräistä kasvukehitystä. Jos vuosilustoindeksiä pidetään jonkin ajanjakson kasvun vaihtelua kuvaavana yleismittarina, on olemassa myös ”erikoismittareita”, joilla arvioidaan yhden vuoden tai vuosijakson kasvua erilaisten vertailukohtien tai taustatekijöiden suhteen. Erästä tällaista mittaria kutsutaan dendrokronologiassa piikkivuosianalyysiksi (*pointer year analysis, event year analysis*).

Piikkivuosianalyysissä lustosarjasta etsitään etukäteen asetetuin ehdoin kasvultaan poikkeuksellisia vuosia eli *piikkivuosia* (*pointer year, event year*) tai useiden vuosien muodostamia poikkeuksellisia kasvujaksoja eli tapahtumia.

Piikkivuodet aiheutuvat ensisijaisesti säänvaihteluista; esimerkiksi tavanomaista kylmemmät tai lämpimämmät kesät näkyvät metsänrajamännnyissä normaalia kapeampina tai leveämpinä vuosirenkaina (kuva 22). Muita piikkivuosien syntyyn vaikuttavia tekijöitä voivat olla metsikön sisäiset tapahtumat kuten hyönteistuhot, siemenvuodet, tulvat jne. Ilmastosta aiheutuvat piikkivuodet erottaa muista piikkivuosista säännöllisen esiintymisensä perusteella: ne voivat



Kuva 21. Männy ja kuusen kasvunvaihtelu Etelä- ja Pohjois-Suomessa vuosina 1964–1993 (Mieliäinen ym. 1996).

tulla esiin lähes kaikissa ilmastollisesti yhtenäisen alueen puissa (esimerkiksi vuosi 1601 jopa 98-prosenttisesti metsänrajamänyissä), kun taas muuntyyppiset piikkivuodet ovat yleensä havaittavissa vain satunnaisesti suppean alueen yksittäisissä puissa tai puuryhmissä.

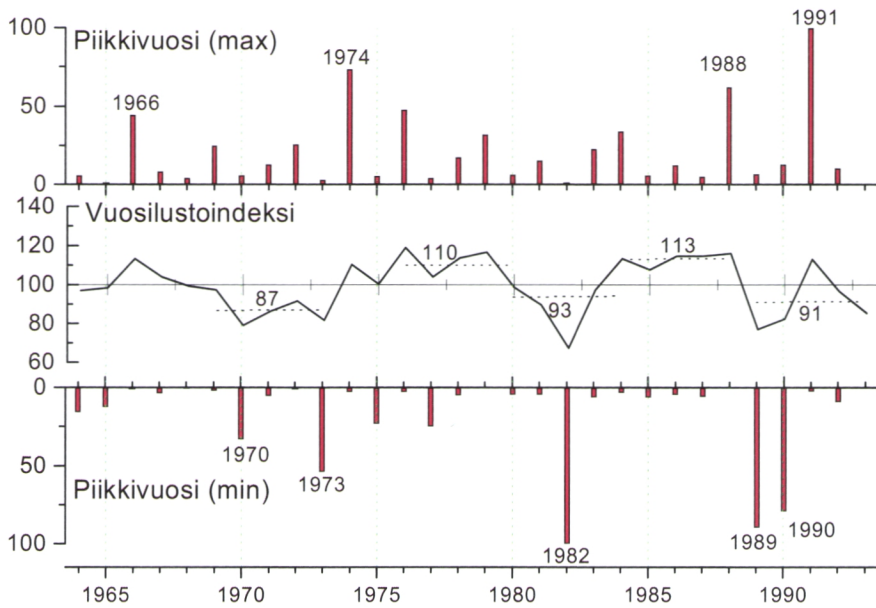
Piikkivuodet määriteltiin aina 1980-luvun alkuun saakka Douglassin luoman käytännön mukaisesti silmävaraisesti lyijykynää, viivoitinta, kumia ja millimetripaperia käyttäen (lähemmin, ks. luku 411). Piikkivuosien matemaattinen määrittäminen sai alkunsa vuonna 1979, jolloin amerikkalainen Cropper esitteli lustoleveyksien keskihajontaan perustuvan menetelmänsä tietokoneohjelmineen (Cropper 1979). Piikkivuositarkastelut ovat yleistyneet Euroopassa viimeisen 10–15 vuoden aikana erityisesti sveitsiläisen tohtori Schweingruberin tutkimusten ansiosta. Myös kotimaisessa kasvu-tutkimuksessa on piikkivuosia käytetty hyväksi vähintään puolen vuosisadan ajan esi-

merkiksi vuosilustoaineistoja tarkistettaessa ja vuosilustoindeksijä laadittaessa.

Tässä tutkimuksessa paneuduttiin melko perusteellisesti piikkivuosien analysointitekniikoihin. Tavoitteena oli kehittää laskentamenetelmiä, jotka vuosilustoindeksien laskemisen ohella seulovat esiin poikkeukselliset kasvuvuodet. Uudet menetelmät liitettiin Rovaniemen tutkimusaseman Dendrokronologian laboratoriossa kehitettyyn KINSYS-ohjelmistoon.

Piikkivuodet voi laskea KINSYSissä kolmella tavalla: edellä mainitun Cropper-menetelmän lisäksi voidaan valita *puittaisen ääri vaihtelun* tai *alueellisen kynnysvaihtelun* menetelmät.

Piikkivuosien määrittelyssä tarvittava tunnusluku, *piikkivuosi-indeksi*, lasketaan vertaamalla tarkasteltavan vuoden (jakson) keskiarvokasvua viereisten vuosien keskimääräiseen kasvuun ja kertomalla suhde



Kuva 22. Pohjoissuomalaiseen kuusiaineistoon perustuva esimerkki vuosilusto- ja piikkivuosi-indeksien keskinäisistä suhteista. Yläkuvan suurimpiin ja alakuvan pienimpiin sädekasvuihin perustuvat piikkivuodet osuvat keskikuvan vuosilustosarjan vastaaviin maksimi- ja minimikohtiin. Piikkivuotta kuvaava suhdeluku (0–100) ilmaisee piikkivuoden suhteellisen voimakkuuden. Keskikuvaa on merkitty myös eräitä vuotuisiin vuosilustoindeksihin perustuvia kasvun viisivuotistasoja.

100:lla. Piikkivuosi hyväksytään vain sellaiset vuodet, joihin kasvu ylittää tai alittaa etukäteen määritellyn kynnyksen.

Puittaisen ääri vaihtelun menetelmässä näytteen havainnoista valitaan tietty suhteellinen osuus piikkivuosi. Esimerkiksi 200-vuotiaasta puusta voidaan valita 10 % eli 20 vuotta piikkivuosi. Menetelmä seuloa tehokkaasti puukohtaisen ääri vaihtelun, mutta toisaalta jatkopäätelmien tekeminen vaikeutuu piikkivuosiin sisältyvän häiritsevän satunnaisvaihtelun vuoksi.

Alueellisen kynnysvaihtelun menetelmässä piikkivuosihavainnoksi hyväksyttävän luston on alitettava (minimikasvut) tai ylitettävä (maksimikasvut) valittu kasvun kynnyksenarvo. Kynnyksenarvo voi olla esimerkiksi 50 % (minimikasvut) tai 150 % (maksimikasvut) naapurilustojen keskiarvosta. Menetelmä paljastaa korkeita kynnyksenarvoja sovellettaessa todella poikkeukselliset vuodet. Tällöin voi käydä myös niin, että tasaisesti

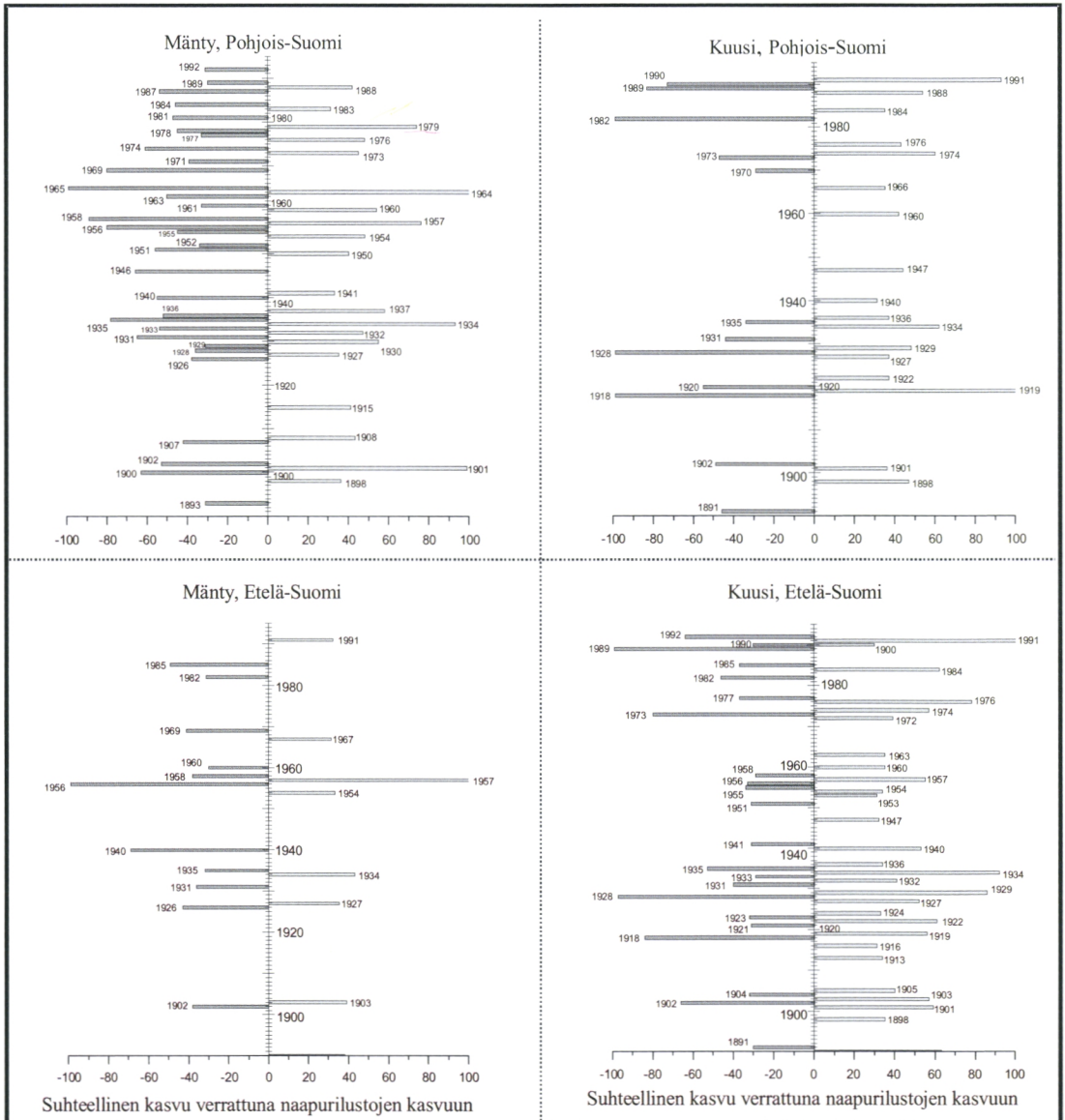
kasvaneista puista ei löydy lainkaan piikkivuosia. Kiinteä kynnyksenarvo mahdollistaa alueelliset vertailut, mikä antaa mahdollisuuden alueellisten "ääreveysindeksien" laskemiselle. Samaa lähestymistapaa voidaan soveltaa myös nyky- ja muinaispuiden kasvujen vertailuun, jolloin päästään vertaamaan nykyisen ilmaston vakautta menneeseen.

Tässä tutkimuksessa sovellettiin puittaisen ääri vaihtelun menetelmää: jokaisen näytteen lustoista valittiin etukäteen määritellyin ehdoin 10 % piikkivuosiksi. Tulokset vaihteluiden yleisyydestä ja voimakkuudesta perustuvat taulukoihin, jotka on saatu summaamalla kalenterivuositteittäin kaikkien puiden piikkivuosihavainnot yhteen.

Analyysi osoitti männyn piikkivuosien määrän kaksinkertaistuvan etelästä pohjoiseen siirryttäessä (Kuva 23). Erityisen vaihtelevia männyn kasvujaksoja oli 1930-, 1950- ja 1970-luvuilla. Kuusen osalta tulos

oli päinvastainen: piikkivuosia on Etelä-Suomessa selvästi enemmän kuin pohjoisessa. Kuusen ”piikkivuosisikymmeniä” olivat 1920-, 1930- ja 1970-luvut sekä viimei-

set 10 vuotta. Myös Pohjois-Suomen kuusten kasvussa on esiintynyt viimeisten 10 vuoden aikana samantyyppistä rajua vaihtelua kuin 1920-luvulla.

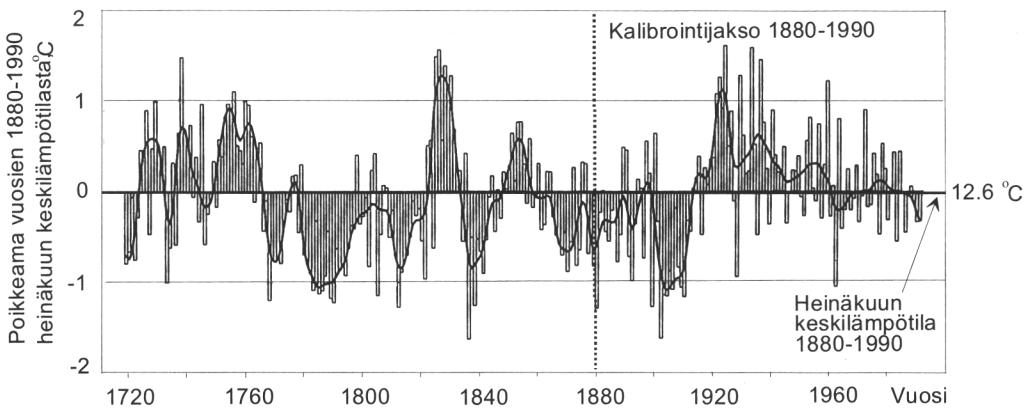


Kuva 23. Männyn ja kuusen suotuisat ja epäsuotuisat kasvuvuodet Etelä- ja Pohjois-Suomessa vuosina 1890–1993. Vaihtelua kuvataan vertaamalla puun vuotuista paksuuskasvua viereisten vuosien kasvuun. Heikot kasvuvuodet ovat pystyakselin vasemmalla ja hyvät oikealla puolella. Tiheässä olevat pylväät osoittavat vuosien välisen vaihtelun olevan runsasta (kuusi etelässä ja mänty pohjoisessa). Harvassa olevista pylväistä voidaan päätellä kasvun olevan vuodesta toiseen tasaisempaa.

34. Kasvun vuotuisen vaihtelun syyt

Puun kasvun minimitekijä Suomessa on Mikolan mukaan kasvukauden lämpötila. Tämä pitää paikkansa erityisesti Pohjois-Suomessa, jossa lyhenevä kasvukausi johtaa viimein puurajan syntymiseen. Pohjoisen metsänrajan muodostaa meillä poikkeuksellisesti mänty, muualla pohjoisimmaksi työntyä yleensä kuusi tai lehtikuusi.

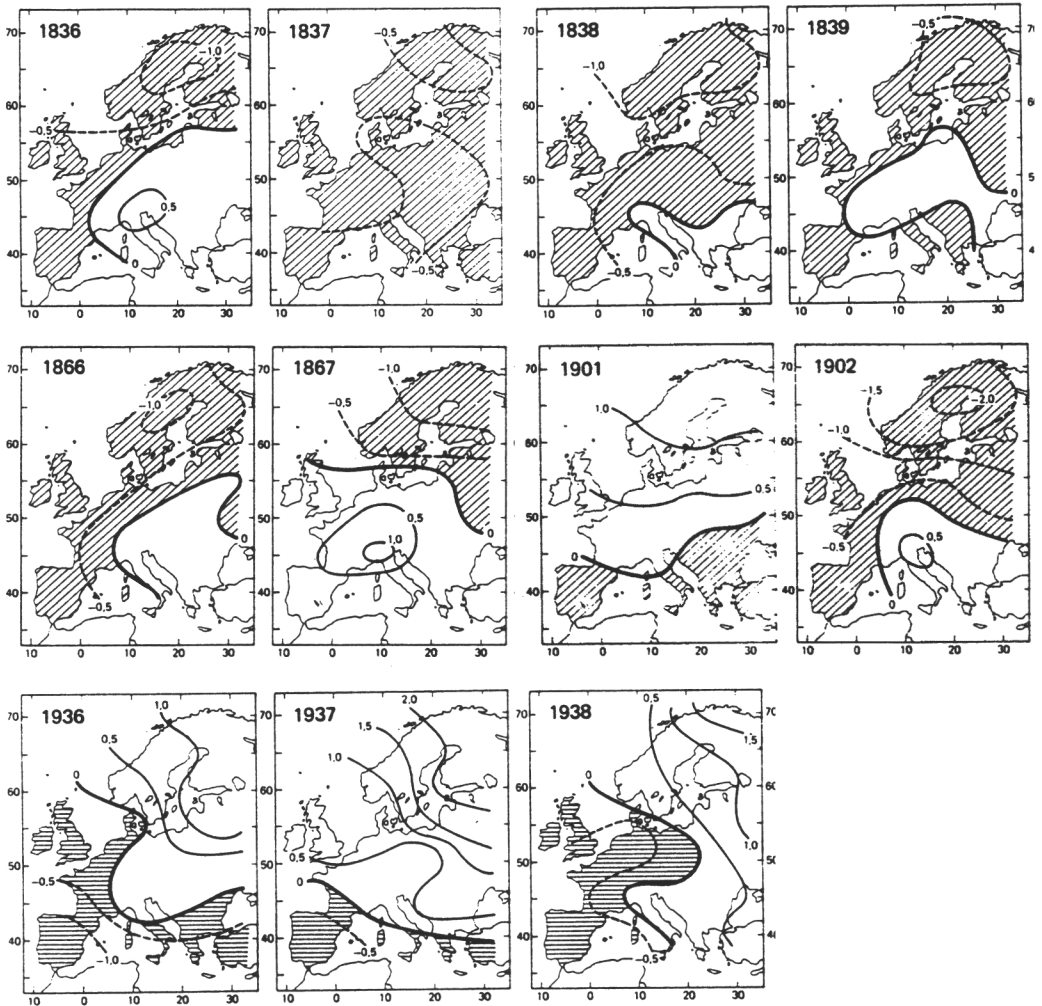
Kesän lämpötilan ja kasvun välinen tilastollinen riippuvuus on Lapissa niin voimakas, että sen perusteella on laadittu muinaista ilmastoa kuvaavia matemaattisia malleja. Kuvassa 24 on esitetty tällaisella mallilla arvioitu heinäkuun keskilämpö Lapissa 1700-luvulta nykypäivään (Lindholm 1996). Kuvassa näkyvät selvästi 1700-luvun loppupuolen, 1830-luvun sekä 1900-luvun alun kylmät kesät. Lämmintä Lapissa on ollut 1750- ja 1820-luvuilla sekä erityisesti jaksolla 1920–1940.



Kuva 24. Heinäkuun lämpötila Lapissa 1720–1990 arvioituna männyn vuosilustojen leveydestä (Lindholm 1996). Huomaa poikkeuksellisen kylmät kesät 1830-luvun lopulla ja vuonna 1902.

Puuaineen tiheys on paksuuskasvuakin parempi säiden selittäjä. Kylminä kesinä puut muodostavat tiheämpää puuainetta kuin lämpiminä. Sveitsiläinen tohtori Schwein-

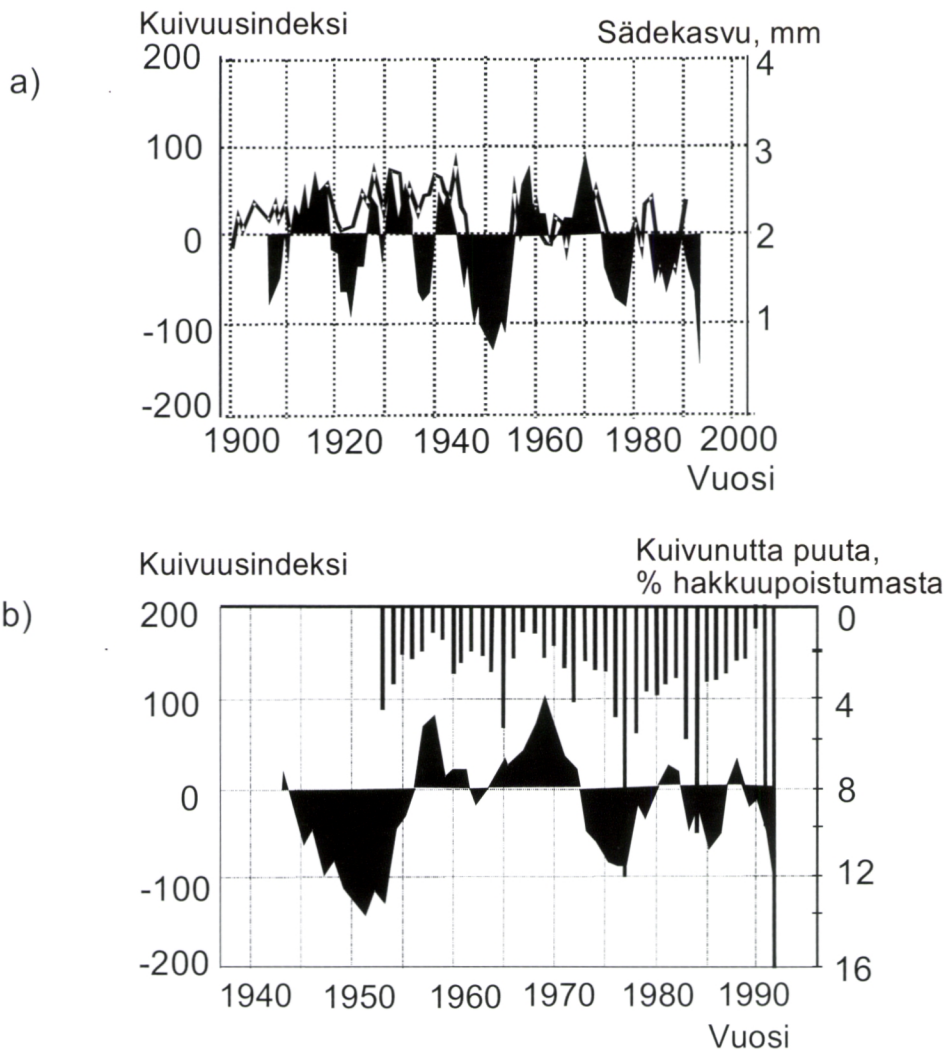
gruber on arvioinut vanhoista puista tekemiensä tiheysmittausten perusteella koko Euroopan ilmastohistoriaa vuodesta 1750 lähtien (Kuva 25).



Kuva 25. Esimerkkejä huhti-syyskuun lämpötilavaihteluista Euroopassa arvioituna puuaineen tiheydellä (Schweingruber ym. 1991). Käyrät kuvaavat poikkeamia keskilämpötilasta. Vuodesta 1750 nykypäivään ulottuvat kartat osoittavat 1830-luvun lopun sekä nälkävuosien 1866–67 poikkeuksellisen kylmyyden Suomessa. Lämpötilamittauksin todennettu kesän 1901 lämpimyyttä ja vuoden 1902 kylmyyttä Lapissa, kuten myös viime sotia edeltäneet lämpimät kesät näkyvät puuaineen tiheydessä.

Keski- ja Etelä-Euroopassa puiden kasvu seuraa kiinteästi kasvukauden sateisuutta. Useampivuotiset kuivuuskaudet aiheuttavat puiden harsuuntumista ja kasvun alenemista. Tällä vuosisadalla kuivuus on koetellut Keski-Euroopan metsiä muun muassa 1920-luvun alussa, 1940-luvun lopulla, 1970-luvun puolivälin jälkeen, 1980-luvun

alkupuolella sekä viimeksi 1990-luvun alussa (Kuva 26). Näistä 1970-luvun kuivuuskausi sattui aikana, jolloin kuusten kurja ulkonäkö huolestutti myös suurta yleisöä. Monet tutkijatkin olivat tällöin valmiit ennustamaan laajojen, ilmansaasteista aiheutuvien metsätuhojen autoittavan laajoja metsäalueita ympäri Eurooppaa.



Kuva 26. Kuivuuden vaikutus kuusten kasvuun ja kuolleisuuteen Schwarzwaldin vuoristossa Etelä-Saksassa (Spiecker 1995). Sademäärän ja lämpötilan perusteella lasketusta kuivuusindeksistä (tummennettu alue) näkyvät selvästi Keski-Euroopan kuivat kaudet. Kuusten sädekasvu (kuva a) ja kuivien kuusten osuus alueella hakatusta puumäärästä (kuva b, pylväät) vaihtelevat kuivakausien tahdissa.

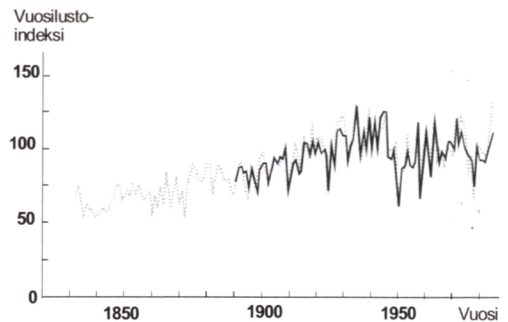
Myös pakkasen, tai oikeammin lämpötilan nopea vaihtelu aiheuttaa metsätuhoja erityisesti Keski-Euroopan vuoristoalueilla. Esimerkiksi Erzgebirgen vuoristossa silloisten Tšekkoslovakian ja Itä-Saksan rajalla vuodenvaihteessa 1978/79 (Kuva 27) noin 30 astetta yhdessä yössä alentunut lämpötila palellutti kerralla kymmeniä tuhansia heh-

taareita ilmansaasteiden heikentämää kuusikkoa. Osatekijänä tuhoihin oli se, että aikoinaan istutuksissa käytetty kuusialkuperä oli kotoisin alavilta mailta. Kyseinen uudenvuoden yö koetteli metsien kestävyyttä laajalti myös Tšekkoslovakian rajojen ulkopuolella.



Kuva 27. Kymmenien tuhansien hehtaarien laajuinen kuollut kuusikko Tsekinmaan Erzgebirgellä. Valtaosa ilmansaasteiden (ruskoihiivoimainen rikkidioksidi) runtelemasta puustosta kuoli uuden vuoden yön 1978/79 ankaran pakkasen seurauksena. Osasyynä Keski-Euroopan istutuskuusikoita kohdanneeseen tuhoon on ollut myös puulajien vapaamielinen siirtely kauas kotiseudultaan. (Kuva: K. Mielikäinen).

Puiden vuotuisen paksuuskasvun riippuvuutta säätekijöistä on mallitettu laajalti Keski-Euroopassa (Kuva 28). Tehtyjen tutkimusten mukaan kuusen kasvun vuotuinen ja useamman vuoden jaksoissa ilmenevä vaihtelu riippuu pääasiassa kesäkuukausien sademäärästä ja vähemmässä määrin lämpimyydestä. Sateiden vaikutus kasvuun on sitä lisäävä, lämpötilan (kuumuuden ja kuivuuden) sitä vähentävä. Analyysit osoittavat sään vaikutuksen ulottuvan usean vuoden päähän. Kasvun ennustamiseen tarvitaan kuluvan kasvukauden säätilastojen lisäksi näin ollen tiedot myös usean aiemman vuoden säistä.

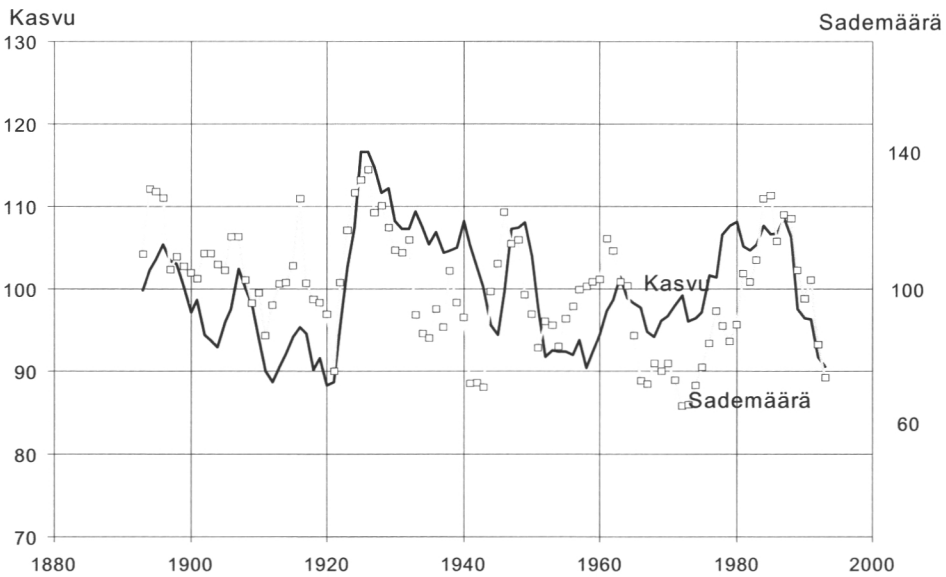


Kuva 28. Saksanpihdan suhteellinen paksuuskasvu (kasvuindeksi) Vogeisien vuoristossa Ranskassa (Becker 1989). Katkoviiva kuvaa mitattua kasvua, kokoviiva säätekijöillä ennustettua kasvua. Merkillepantavaa on säätekijöiden vaikutusten ulottuminen jopa kuuden vuoden päähän. Kasvun 150 vuotta jatkuneen kohoamisen mahdollisia syitä ovat ilmasto, ilmansaasteiden lannoittava vaikutus sekä metsänkäsittelymenetelmien muuttuminen (Vrt. kappale 5).

Tohtori Helena Henttonen totesi väitöskirjassaan (1990) Etelä-Suomen kuusten kasvun riippuvan lämpötilan ohella myös sateista. Erityisen selväksi kasvun ja sateiden riippuvuus tulee kuitenkin vasta sitten, kun tarkasteltaviksi otetaan samalla kertaa useamman vuoden säähavainnot.

Kuvassa 29 on esitetty kuusen kasvun ja touko-kesäkuun sademäärien vaihtelu viiden vuoden keskiarvoina (tarkasteluvuoden kesä ja neljä edellistä kesää). Kuusen kasvunvaihtelusarja on tehty yhdistämällä Mi-

kolan (1893–1947 Tammela), Tiihosen (1947–1962 Etelä-Suomi) ja Mielikäisen ym. (1963–1993 eteläisin Suomi) indeksisarjat. Sähavainnot ovat peräisin Ilmatieteen laitoksen Jokioisten säähavaintoasemalta. Yhdistettyjen indeksisarjojen erilainen alueellinen kattavuus ja erot laskentamenetelmissä aiheuttavat jossakin määrin epätarkkuutta kuvaan. Se ei kuitenkaan häiritse kuvan sanomaa, jonka mukaan Etelä-Suomen kuusten kasvu on vaihdellut viimeisten sadan vuoden ajan suurelta osin alkukesien sademäärien tahdissa.

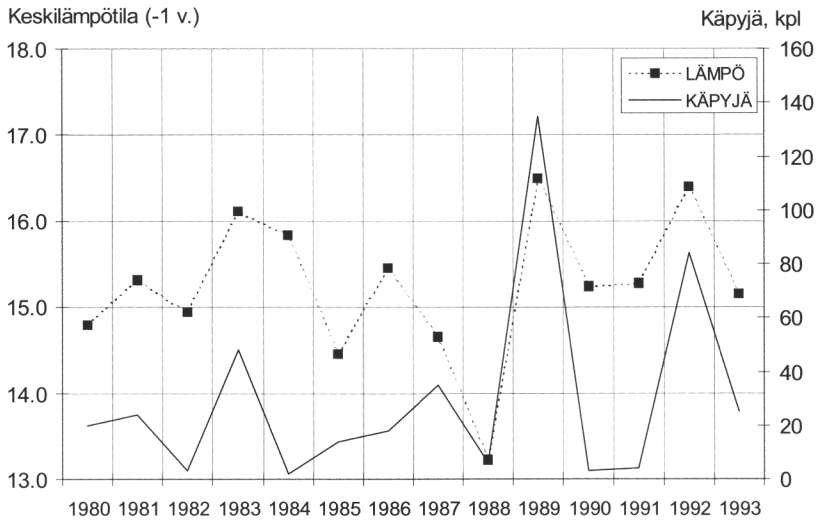


Kuva 29. Kuusen paksuuskasvun ja touko-kesäkuun sademäärien suhteellinen vaihtelu Jokioisilla 1893–1993 (Mielikäinen ym. 1996). Sekä kasvut että sademäärät ovat kuluneen 5-vuotiskauden liukuvia keskiarvoja. Kasvu on vaihdellut alkukesien sateiden tahtiin.

Viime vuosina runsaasti huomiota saanut Etelä-Suomen kuusten kasvun aleneminen 1980-luvun puolivälin jälkeen on säätilastojen valossa odotusten mukainen. Noin puoleen pudonnut alkukesän sateisuus, kolme vuosisadan lämpimintä ja kaksi erittäin kylmää talvea tekevät 1980-luvun puolivälissä alkavasta kahdeksan vuoden jaksosta erittäin poikkeavan.

Syyt Etelä-Suomen kuusten ajoittaiseen kurjistumiseen ja elpymiseen ovat arviomme mukaan seuraavat:

Kuusi on juuristoltaan pinnallinen rehevillä, usein vettä tiukasti pidättävillä hienojakoisilla mailla kasvava puulaji. Sateisina kesinä kuuset saavat runsaasti vettä ja ravinteita. Niiden turvin puut kasvattavat mahdollisimman paljon oksia ja neulasia



Kuva 30. Lämpimät loppukesät saavat kuusen kukkimaan. Heinä-elokuun keskilämmön ja seuraavan vuoden käpysadon vaihtelu ovat hyvin samankaltaiset. Metlan mittausten (Hokkanen 1996 suull. tieto) mukaan kesällä 1989 kuuset kukkivat runsaammin kuin koskaan vuosikymmeniä kestäneen käpysurannan aikana. Edeltävän vuoden 1988 loppukesä oli poikkeuksellisen lämmin. (Huomaa, että kunkin kalenterivuoden kohdalla on edellisen kesän lämpötila).

menestyäkseen kilpailussa kasvutilasta. Kuivien kausien yllättäessä kuuset vähentävät haihdutusta pudottamalla neulasiaan (harsuuntumalla) ja sijoittamalla energiaa juurten kasvattamiseen. Sopeutuminen muuttuneeseen tilanteeseen ilmenee sekä puiden kurjana ulkonäkönä että heikkona kasvuna. Sateiset vuodet korjaavat tilanteen, niinkuin ovat tehneet useita kertoja tällä vuosisadalla.

Pakkastalvien mahdollinen vaikutus näkyy kuvassa poikkeamana yleisestä sateisuuden tahdissa tapahtuvasta kasvun vaihtelusta. Kylmien sotatalvien 1940 ja 1942 jälkeen kuusen kasvu kääntyi sateiden lisääntyessä nousuun vasta parin vuoden viiveellä. Pakkastalvien 1985 ja 1987 aikaan maksimissaan ollut kasvu kääntyi sen sijaan alaspäin jo hieman ennen kuivakauden alkua.

Talvipakkasten vaikutus kuusen kasvuun ei johdu välttämättä juurten vaurioitumisesta, vaan todennäköisemmin maan routaantumisesta. Vähälumisia talvia seuraavina kuivina keväinä sammalkerroksen alla oleva

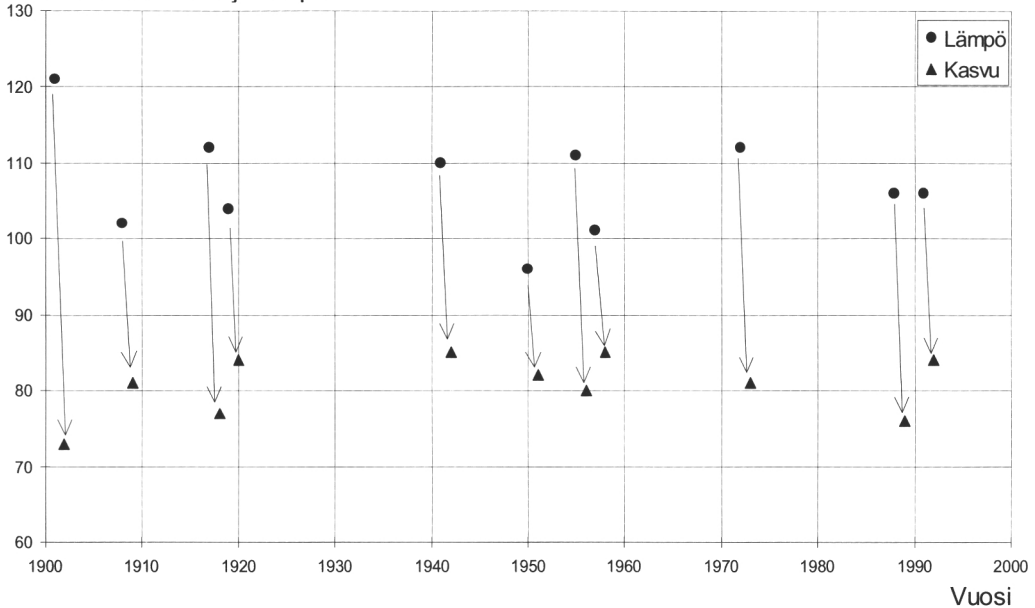
maa ei sula yhtä nopeasti kuin sateisina. Syvälle routaantunut maa estää kuusten vedenottoa nopeasti lämpenevinä keväinä.

Lämpiminä talvina kuuset hengittävät itsensä heikkoon kuntoon ennen seuraavaa kasvukautta, joka pitäisi pystyä aloittamaan edellisenä kesänä kerätyn vararavinnon turvin. Talviajan hengitystä pidetään myös Tanskan kuusikoiden viimeaikaisten terveysongelmien pääsyyinä (Barklund 1995). Huomattakoon, että Tanskan kaikki istutuskuusikot kasvavat kuusen luontaisen levineisyyssalueen ulkopuolella.

Siementuotanto kuluttaa paljon energiaa, mikä näkyy selvästi etenkin runsaita käpysatoja tuottavan kuusen kasvussa. Metsäntutkimuslaitos on mitannut puiden siemensatoa kestokokein vuosikymmenten ajan. Koko seuranta-ajan runsaimmat kuusen käpvyvuodet 1989 ja 1973 erottuvat aikasarjoissa poikkeuksellisen heikon kasvun vuosina.

Siementuotannon syistä on olemassa kaksi teoriaa. Toisen mukaan puut tekevät paljon

Suhteellinen kasvu ja lämpö

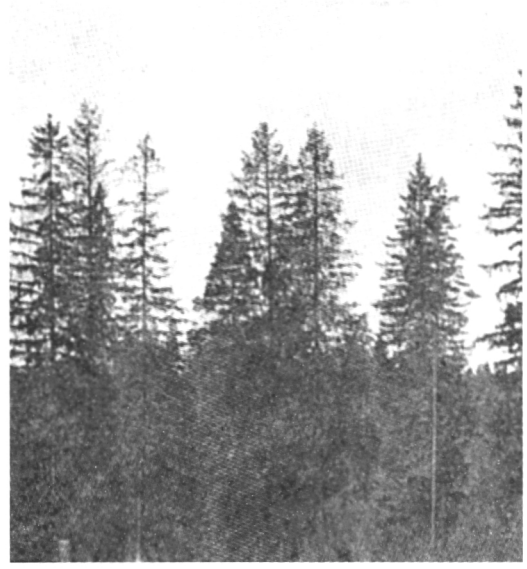


Kuva 31. Runsas käpyjen tuottaminen kuluttaa paljon energiaa ja saattaa alentaa kuusten kasvua jopa 30 prosenttia. Kuluvan vuosisadan heikoimpia kasvuvuosia edeltävät loppukesät ovat olleet lähes poikkeuksetta keskimääräistä lämpimämpiä, mikä viittaa kuusten runsaaseen kukkimiseen.

siemeniä silloin, kun ne ovat kuolemassa. Toisen käsityksen mukaan puut kukkivat runsaasti silloin kun olosuhteet ovat siihen erityisen suotuisat. Heikko kasvu ja joskus lisääntyvä kuolleisuus johtuvat tällöin runsaan kukkimisen aiheuttamasta ”uupumuksesta”. Kuvaan 30 on piirretty Metlan Etelä-Suomessa mittaama kuusen käpysato ja edellisen vuoden loppukesän keskilämpö. Vaihtelut ovat samansuuntaisia osoittaen lämpimien heinä-elokuiden saavan kuusen kukkimaan seuraavana kesänä.

Heinä-elokuun keskilämmön ja seuraavan kesän kasvun voimakas negatiivinen riippuvuus näkyy myös kuvassa 31. Kuvan perusteella arvioiden huomattava osa kuusen poikkeuksellisen heikoista kasvuvuosista tällä vuosisadalla (indeksi alle 85) on oletettavasti ollut lämmintä kesää seuranneita käpyvuosia.

Harsuuntuminen, kasvun aleneminen ja kuusten kuolema eivät ole uusia, aiemmin tuntemattomia ilmiöitä. Tohtori Esko Kangas aloitti kuusen kuivumistyyppejä käsittelevän tutkimuksen vuonna 1934 ”osittain eräitten kuusikoiden kuivumisesta Metsätieteelliselle tutkimuslaitokselle saapuneitten ilmoitusten aiheuttamina” (kuva 32). Tuolloin ”alkoi maassamme esiintyä kuusikoiden kuivumistapauksia tavallista runsaammin (Metsälehti 1937). Niihin kiinnitettiin tällöin yleistäkin huomiota, ja eräät kuivumistapaukset saivat sellaiset mittasuhteet, että oli välttämätöntä ryhtyä niitä tarkemmin selvittämään” (lainaukset Kangas 1946). Metsäkuolemaa edelsi samanlainen touko-kesäkuun sademäärien puolittuminen vuodesta 1928 alkaen kuin 1980-luvun puolivälissä.



Kuva 32. Voimakkaasti harvennettu, keski-ikäinen kuusikko Tuusulan Ruotsinkylässä vuonna 1929 ja sama kuusikko runsaasti neulasiaan menettäneenä (harsuuntuneena) yksitoista vuotta myöhemmin (Kangas 1946). Kuusten kurja kunto ja lisääntynyt kuolleisuus herätti 1930-luvulla suurta huomiota aivan kuten 1990-luvun alussa. Yhteistä aikakausille oli alkukesien sademäärien putoaminen puoleen noin viidessä vuodessa.

Käsitys, jonka mukaan kuivuus ei rajoita puiden kasvua Suomessa, ei saa tukea nyt esitetyistä tuloksista. Käsitys kasvun vaihtelun voimistumisesta pohjoista kohti riippuu siitä, mitä vaihtelulla tarkoitetaan. Parhaiden ja heikoimpien vuosien suhteellinen kasvueron on suurin Lapin perukoilla. Jos vaihtelulla tarkoitetaan hyvien ja huonojen vuosien vuorottelua, tilanne on toinen.

Kasvun vuotuisen vaihtelun voimakkuutta kuvaavien piikkivuosien määrä on männyllä enimmillään Pohjois-Suomessa, mutta kuusella Etelä-Suomessa. Tämä yllättävä tulos voi aiheutua Pohjois-Suomea koskevan kuusiaineiston suppeudesta. Jos havainto pitää paikkansa, voi tulosta tulkita myös puulajiominaisuuksilla.

Kuusi on pintajuurinen, mannerilmaston reiluja pakkastalvia ja kevätkesteyttä vaativa puulaji. Etelä-Suomessa kuusen kasvu kärsii usein kuivista keväistä, lauhoista talvista ja kuumia keskiä seuraavista runsaista käpysadoista. Pohjois-Suomessa kuusi hyötyy talven pakkasista ja paksusta lumikerroksesta, tasaisen viileistä kesistä sekä vähäisen haihdunnan vuoksi kosteasta maaperästä.

Mänty ei ole yhtä arka kuivuudelle kuin kuusi eivätkä kasvuvoimaa kuluttavat käpysadot ole yhtä suuria kuin kuusella. Sen sijaan mänty näyttää reagoivan kuusta herkemmin kasvukauden lämpötilalle, minkä vuoksi männyn kasvun vuotuinen vaihtelu on suurimmillaan Pohjois-Suomessa.

35. Päätelmiä

Suomen metsien kasvun vaihteluista on käyty viime vuosina vilkasta julkista keskustelua. Erityisesti useita vuosia jatkuvat alenevan kasvun kaudet ovat herättäneet huolestumista, sillä niiden on arveltu liittyvän ilmansaasteisiin. Viimeksi 1990-luvun alkupuoliskolla huomiota herätti Etelä-Suomen kuusten paikoittainen huonokuntoisuus, heikentynyt pituuskasvu ja siellä täällä myös ryhmittäinen pystyynkuivuminen. Kuolleet puut eivät useinkaan olleet pitkään riutuneita heikoimpia puita, vaan usein äkkikuolema on kohdannut metsikön elinvoimaisimpia, suuria puita.

Saasteiden vaikutusta puiden kasvuun ei voida poissulkea, sillä ne edustavat erästä kasvutekijää, joka saattaa aktivoitua tietyissä tilanteissa, kuten esimerkiksi vanhoissa elämänvoimaansa menettäneissä puissa. Kuitenkin, ennen kuin ryhdytään etsimään erityisyyttä kasvun heikkenemiseen, on selvitettävä säiden luontaisesta vaihtelusta aiheutuneet kasvun nousut ja laskut. Vuosikymmenien, vuosisatojen tai mieluiten vuosituhansien pituisista indeksisarjoista voidaan päätellä, millainen vaihtelu on luontaista ja millainen normaalista poikkeavaa.

Säiden vaikutus puiden normaaliin kasvuun näkyy voimakkaimmin kasvun minimiteki-

jän välityksellä. Lapissa kesän kylmyys voi ääritapauksissa estää vuosirenkaan muodostumisen kokonaan. Keski- ja Etelä-Euroopassa kasvua rajoittaa puiden käytettävissä oleva vesi. Lämpötila vaikuttaa etelässä päinvastaiseen suuntaan kuin pohjoisessa, koska kesien kuumuus ja kuivuus käyvät tavallisesti käsi kädessä.

Tulosten perusteella näyttää siltä, että alkukesien kuivuudella on aiemmin luultua suurempi vaikutus Etelä-Suomen kuusten kasvuun. Juuristotutkimusten mukaan jo muutamana viikon mittainen maan täydellinen kuivuminen voi tappaa pintajuurisen kuusen tai altistaa sen kaarnakuoriaistuhoille. Riski on suurin auringolle ja tuulelle altistuneilla puilla, joilla runsaasti haihduttavaa, tuuhea latvus yhdistyy suhteellisen pieneen ja pinnalliseen juuristoon.

Tulokset viittaavat siihen, että säättekijöiden jokseenkin harvoin ilmenevät yhteensattumat (alkukesien kuivuus, kylmät ja vähälumiset talvet, lämpimät talvet) ovat vaikeuttaneet Etelä-Suomen metsien kasvuolosuhteita 1980-luvun puolivälin jälkeen (Kuva 21). On ymmärrettävää, että jos jokin sääilmiö esiintyy kerran kymmenessä tai sadassa vuodessa, sen vaikutukset tulkitaan helposti aiheutuviksi joistain muista luontaisista tekijöistä.

4. PITKÄN AJAN KASVUN VAIHTELU

41. Lustokalenterit ilmasto-historian ilmentäjinä

411. Lustokalenterien laatiminen

Pitkän ajan kasvun vaihtelulla tarkoitetaan puiden kasvun vaihtelua satojen, tuhansien tai vieläkin pitempien aikajaksojen kuluessa. Vaihtelu aiheutuu kappaleessa 31 mainittujen, pääasiassa yhtä puusukupolvea koskevien tekijöiden lisäksi useita puusukupolvia käsittävistä pitkäaikaisvaikutuksista, joista mainittakoon ilmaston, kasvupaikan, pohjavesipinnan tai metsikkörakenteiden trendimäiset muutokset. Täten samallakin paikalla vuosituhansien kuluessa

kasvaneet peräkkäiset puusukupolvet ovat voineet elää eri aikakausina monin tavoin vaihtelevissa olosuhteissa (Kuva 33).

Suomen vanhimmat puut ovat eläneet 800–1100-vuotiaiksi. Täten vuosituhansien mittaisen puiden kasvun vaihtelun tutkiminen edellyttää elävien puiden maksimi-ikää pidempien lustosarjojen laatimista. Tutkimusaineistoksi soveltuvat vanhojen rakennusten hirret, pysty- ja maakelot, kantojuurakot sekä järivistä ja soista löytyvät muinais- eli subfossiilipuut (Kuva 34).

Vuosilustosarjojen laatiminen ja näytteiden ajoittaminen perustuvat Douglassin (1909, 1914) kehittämään ristiinajoitusmenetelmään (*cross-dating*), jossa käytetään hyväksi vuosirenkaissa näkyviä poikkeuksellisen



Kuva 33. Ilmaston vaihteluiden trendimäiset muutokset voivat näkyä maisemassa hyvinkin dramaattisina. Enontekiön Pöyrisjärven tien varressa sijaitsevan lammen rannoilta mäntymetsä on hävinnyt ilmaston viilenemisen vuoksi kokonaan. Vastarannalla kasvoi tuhansia vuosia sitten järeä mäntymetsä, jonka rantaa lähinnä olevat puuyksilöt ovat sortuneet juurineen veteen järven pinnan noustua yllättäen 1–2 metrillä. Yli puolen metrin paksuiset rungot lojuvat edelleenkin rantasyvän-teessä hyvin säilyneinä. Kuva: M. Timonen



Kuva 34. Tuhansia vuosia Käsivarren Vallijärven pohjamudassa maannut runko on edelleen puuainekseltaan lujaa. Oksien ja kuoren jäänteitä on säilynyt näihin päiviin saakka.
Kuva: M. Timonen

hyviä tai heikkoja kasvuvuosia eli piikki-vuosia (Kuvat 35 ja 36).

Ristiinajoitus tehdään nykyisin tilastotieteellisin keinoin tietokoneella. Toisinaan tulee vastaan myös sellaisia ajoitustehtäviä, joita parhaakaan tilastolliset tietokoneohjelmat eivät pysty ratkaisemaan. Tällöin on tukeuduttava silmävaraiseen tarkasteluun. Ajoittamista voi kokeilla kuvassa 36 esitetyllä tavalla, jossa tutkittavaa näytettä liikutellaan edestakaisin vertailusarjan suhteen ja yritetään hahmottaa niiden välinen yhtenevyys esimerkiksi piikkivuosiens perusteella.

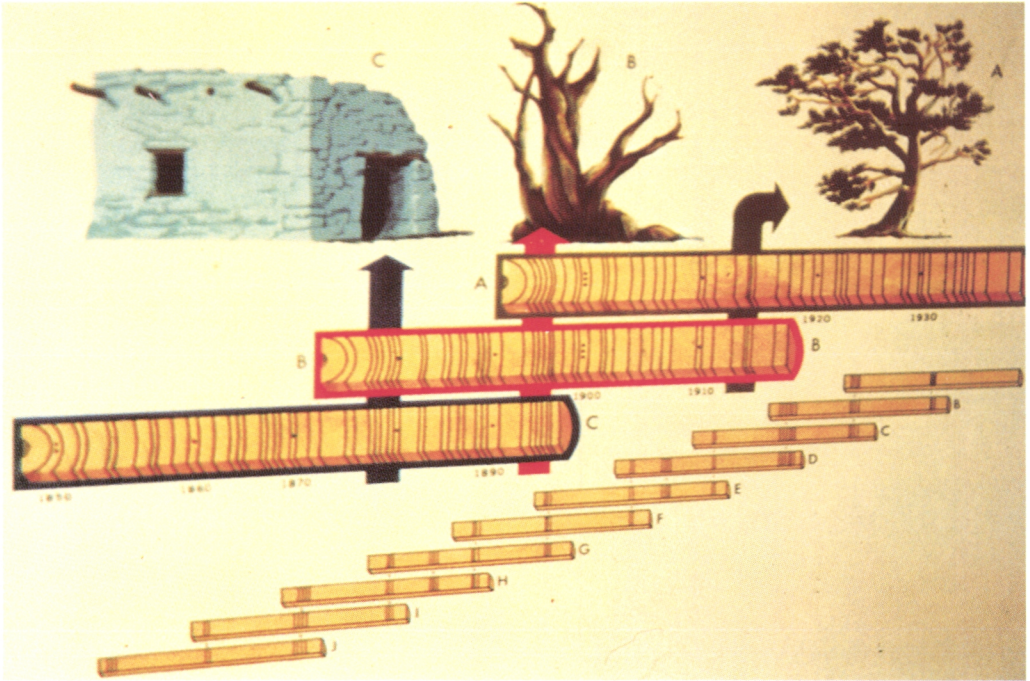
Tarkastelua voi tehostaa Douglassin (1939) kehittämällä *skeleton plot* -tekniikalla, jossa piikkivuodet merkitään vuosiakselille viivakoodia muistuttavilla pystypalkeilla:

Voimakkain piikkivuosi kuvataan pisimmällä palkilla ja muut piikkivuodet suhteutetaan siihen. Tarvittavat työvälineet ovat suurennuslasi, lyijykynä ja millimetri-paperi. Kuvattua käsivaraista tekniikkaa sovellettiin dendrokronologiassa yli 40 vuoden ajan aina 1980-luvun alkuun saakka ja edelleenkin se on käytössä koulutusmenetelmänä. Tämäkin tekniikka hoituu nykyisin tietokoneella (Kuva 37d).

Koivusta voisi periaatteessa rakentaa kaikkein pisimmät lustosarjat, sillä koivu saapui Lappiin ensimmäisenä puulajina viime jääkauden päättymisen jälkeen. Valitettavasti koivu lahoaa havupuita huomattavasti nopeammin sekä maalla että vedessä. Kuusi puolestaan levisi Lappiin vasta 3000 vuotta sitten, mikä asettaa rajat kuusen lustosarjojen pituudelle.

Mänty on ihanteellinen puulaji pitkän ajan kasvun vaihtelun tutkimiseen, sillä sen säilyvyys on pihkan, tervaisuuden ja muiden kemiallisten ominaisuuksien ansiosta omaa luokkaansa. Mänty kestää pystyvuuna tai maakelona lahoamatta satoja vuosia. Kylmissä, vähähappisissa järvissä ja soissa osittain mutaan hautautuneet rungot säilyvät mittauskelpoisina tuhansia vuosia. Vanhimmat Keski-Ruotsin tuntureilta löydetty muinaismännyn elivät yli 9000 vuotta sitten.

Lapin järvistä nostetut männyt osoittavat, että eri ajanjaksoja edustavat puusukupolvet ovat usein hautautuneet pohjamutaan kerroksittain. Samalla paikalla kasvaneiden peräkkäisten puusukupolvien kehityksen yksityiskohtainen selvittäminen lisää tietoa siitä, onko maaperän tuotoskyky pitkällä aikavälillä muuttunut. Asia on ajankohtainen tutkittaessa ilman epäpuhtauksista peräisin olevan typpilaskeuman ja mahdollisen ilmastonmuutoksen vaikutuksia nykyisten metsämaiden tuotoskykyyn.



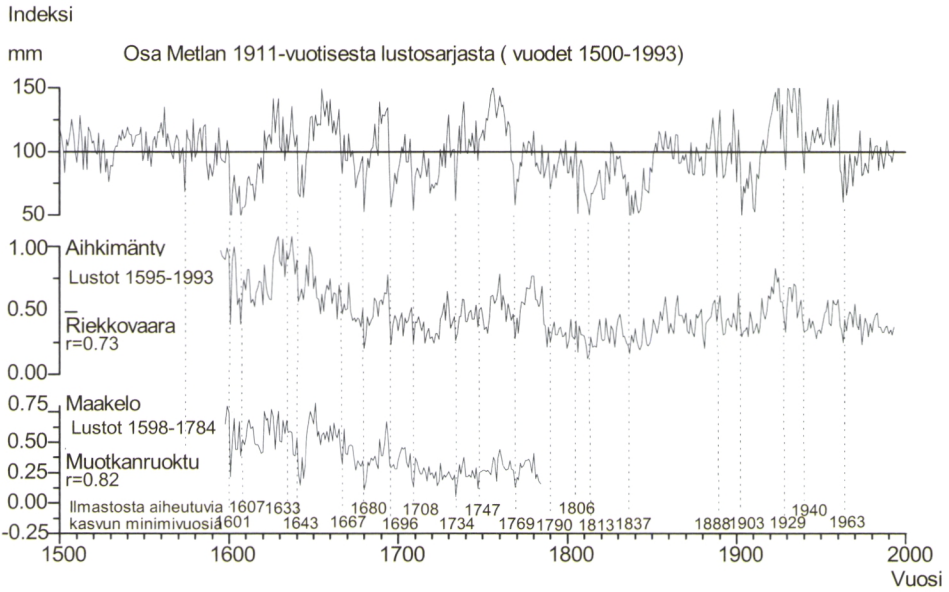
Kuva 35. Dendrokronologian keskeisimmän työvälineen, ristiinajoituksen, lähtökohtana on havainto, jonka mukaan saman kalenterivuoden säiden vaikutukset näkyvät eri puissa samankaltaisina laajoillakin alueilla (satojen kilometrien säteellä). Ristiinajoituksessa paikallistetaan puunäytteistä ilmastosiinaalit eli säätekijöistä aiheutuneet poikkeuksellisen kapeat tai leveät vuosilustot. Tämän jälkeen osittain eri aikakausilta olevat näytteet yhdistetään toisiinsa limittäen, jolloin saadaan alkuperäistä pitempi yhtenäinen lustosarja. Tekniikka mahdollistaa jopa vuosituhansien pituisten sarjojen luonnin. Kuvan alkuperä: Laboratory of Tree-Ring Research, Tucson, Arizona.

412. Metsänrajamännyn 1911-vuotinen sarja

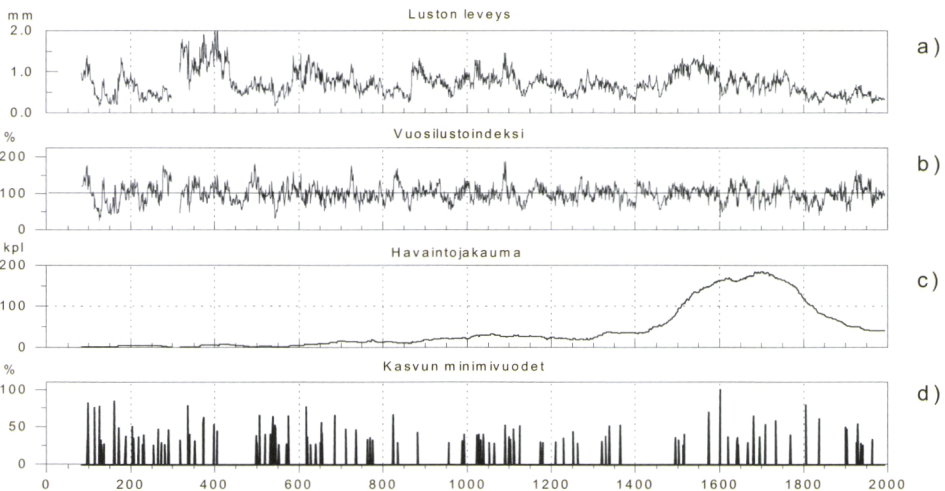
Lapin muinaismäntyjen kasvua koskevat tutkimukset aloitettiin Metlassa vuonna 1994, jolloin nykyisen mäntymetsänrajan läheisistä metsistä ja järvistä kerättiin yli 400 näytteen tutkimusaineisto. Aineiston vanhimmas elänyt puu oli 487-vuotias (1455–1941). Kauimmin vedessä viruneet muinaispuut nostettiin Käsivarren Vallijärvestä. Puiden syntyhetki ajoitettiin Zetterbergin radiohiiliajoitukseen (14C) perustavalla lustosarjalla noin 7500 vuoden taakse. Lustosarjan viimeisimmän tuhannen vuoden kasvut perustuvat professori Sirénin Saariselältä ja Inarin Muotkanruoktusta keräämään, noin 200 elävän männyn, mänty-

kelon ja kantojuurakon muodostamaan aineistoon.

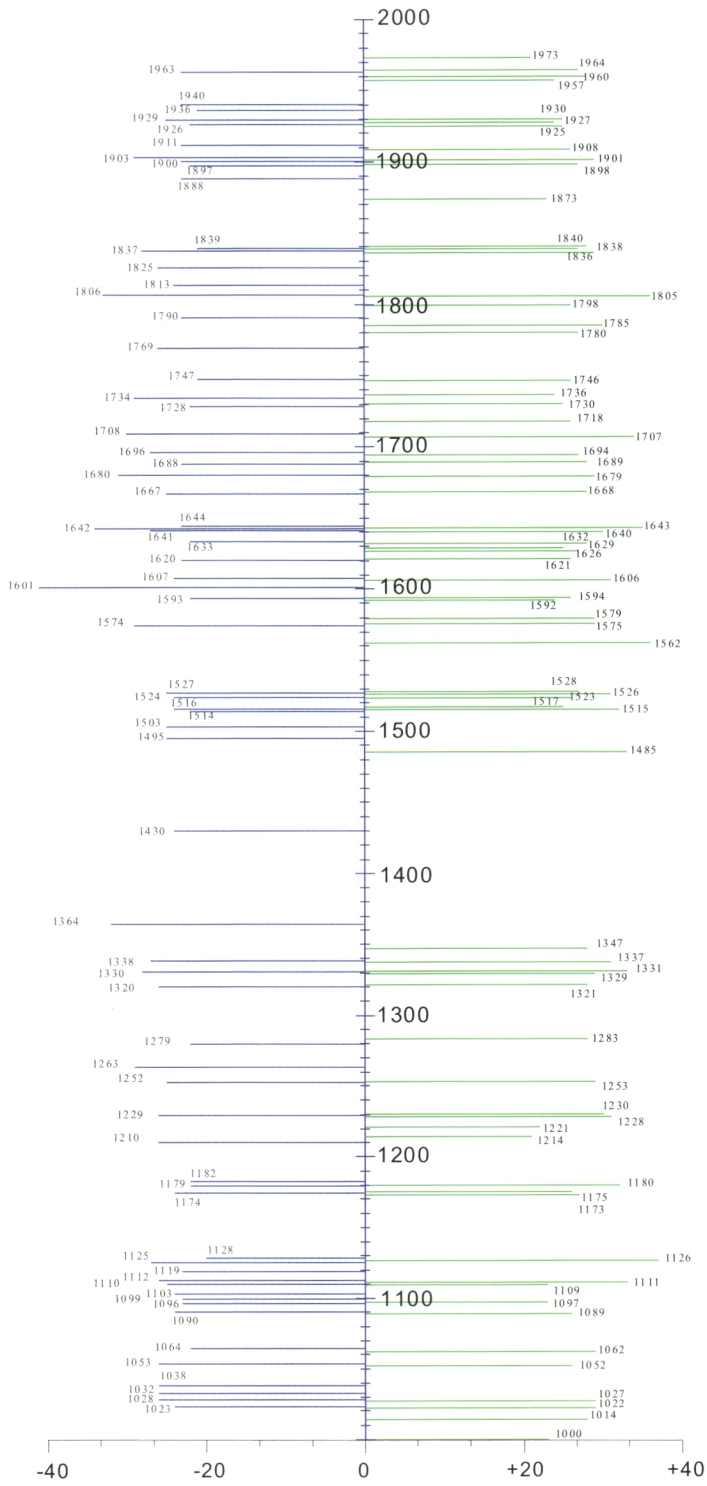
Näytteistä saatiin kootuksi pientä aukkoa lukuunottamatta vuodesta 83 jKr. vuoteen 1993 ulottuva sarja (Kuva 37). Lisäksi voitiin rakentaa 14C-ajoitukseen perustuvia ns. kelluvia sarjanosia aina noin vuoteen 5500 e.a.a. (ennen ajanlaskumme alkua) saakka. Viimeksi kasvunsa lopettanut kelo oli elänyt vuosina 1759–1986 ja varhaisin kelo vuosina 929–1122. Valtaosa tutkituista ke-loista oli kasvanut vuosien 1450 ja 1750 välisellä ajanjaksolla.



Kuva 36. Puunäytteet ajoitetaan vertaamalla tutkittavaa näytettä valmiiseen vertailusarjaan (yläkuva). Siirtelemällä ajoitettavaa sarjaa edestakaisin vertailusarjan suhteen löytyy kohta, jossa sarjat näyttävät vaihtelevan samaan tahtiin. Sarjojen välinen korrelaatio saavuttaa tällöin maksimiarvonsa. Tutkittava sarja voidaan osittaa esimerkiksi 50 vuoden jaksoihin ja tutkia jokaista jaksoa erikseen. Kuvan kaksi alinta sarjaa ovat ajoittuneet vuosille 1595–1993 ja 1598–1784. Kasvun minimivuosiensa kautta piirretyt katkoviivat helpottavat vertailua.



Kuva 37. Metlan Rovaniemen tutkimusaseman Dendrokronologian laboratoriossa vuonna 1996 laadittu 1911-vuotinen lustosarja (83–1993) perustuu eläviin puihin, keloihin ja vedenalaisiin järvi-puihin. *Osakuva a)* Alkuperäisaineistosta lasketut lustoleveyksien keskiarvot. *Osakuva b)* Standardoidussa lustosarjassa eli vuosilustoindeksissä on poistettu yksittäisten puiden kasvujen tasoerot ja ikääntymisen vaikutus. *Osakuva c)* Lustohavaintojen jakautuminen eri kalenterivuosille, mistä näkyy myös tutkimusaineiston painottuminen keloihin. *Osakuva d)* Esimerkki minimipiikkivuodet sisältävästä *skeleton plot* -kuvasta. Piikkivuosi on sitä voimakkaampi, mitä korkeampi on pylväs. Vuonna 1601 koettiin metsänrajaseuduilla vuosituhannen pahin männyn kasvun romahdus.



Suhteellinen kasvu verrattuna naapurilustojen kasvuun

Kuva 38. Saariselän ja Muotkanruoktun keloista lasketut piikkivuodet ajanjaksolta 1000–1991.

Kelosten piikkivuosisanalyysin selkeimmät kasvun minimivuodet olivat 1601, 1806, 1680, 1837, 1709, 1642 ja 1734 (Kuva 38). Kuluvalla vuosisadalla erottuvat vuoden 1903 lisäksi vuodet 1929 ja 1963. Kasvun maksimipiikkivuosia olivat vuodet 1805, 1707, 1643, 1562, 1485 ja 1126. Kuluvalla vuosisadalla ”hyviä” vuosia ovat olleet 1901, 1908, 1960, 1964 ja myös 1973. Viimeisen tuhatvuotisen vuoden puitteissa 1100-luku näyttää olleen poikkeuksellisten vaihteluiden aikaa. Ajanjaksolle 1350–1500 oli puolestaan ominaista tasaisuus: tältä jaksolta tutkimus paljasti vain neljä piikkivuotta. Käytetty tarkastelumenetelmä ei paljasta kahden tai useamman peräkkäisen vuoden kasvukuoppia tai -kukkuloita.

413. Muut sarjat

Toistaiseksi pisimmän, yli 7500 vuoden mittaisen mäntylustosarjan on Suomessa laatinut professori Matti Eronen tutkimusryhmineen (Zetterberg ym. 1996). Sarja kattaa lähes koko metsänrajamännyn jääkauden jälkeisen esiintymishistorian. Sen 2200-vuotinen yhtenäinen osa ylittää noin vuoteen 160 ennen ajanlaskun alkua, josta alkaen siinä on noin 200 vuoden pituinen aukko, jonka täyttäminen on osoittautunut toistaiseksi tuntemattomasta syystä ongelmalliseksi. Suunnilleen vuodesta 350 e.a.a. jatkuva sarjan kelluva osa ulottuu yhtenäisenä noin vuoteen 5500 e.a.a. Sisäisesti vuodentarkan sarjanosan ajoitus perustuu radiohiiliajoitukseen, mikä merkitsee kellovalle sarjanosalle noin ± 150 vuoden tarkkuutta.

Sarjat saattavat pidentyä ja tiedon aukot umpeutua, kunhan saadaan kerätyksi uusia aineistoja vuosina 1996–98 toteutettavassa

¹ Analysis of Dendrochronological Variability and Associated Natural Climates in Eurasia – the last 10 000 years.

² Holoseenikausi: viime jääkauden jälkeinen ajanjakso nykyhetki mukaan lukien.

yhteiseurooppalaisessa yhdeksän maan ADVANCE-10K¹-projektissa. Projektissa laaditaan kattava pohjois-boreaalista havumetsävyöhykettä käsittävä lustosarjojen verkosto. Niiden avulla tarkennetaan käsitystä holoseenikauden² ilmastosta ja mäntymetsien kehityshistoriasta.

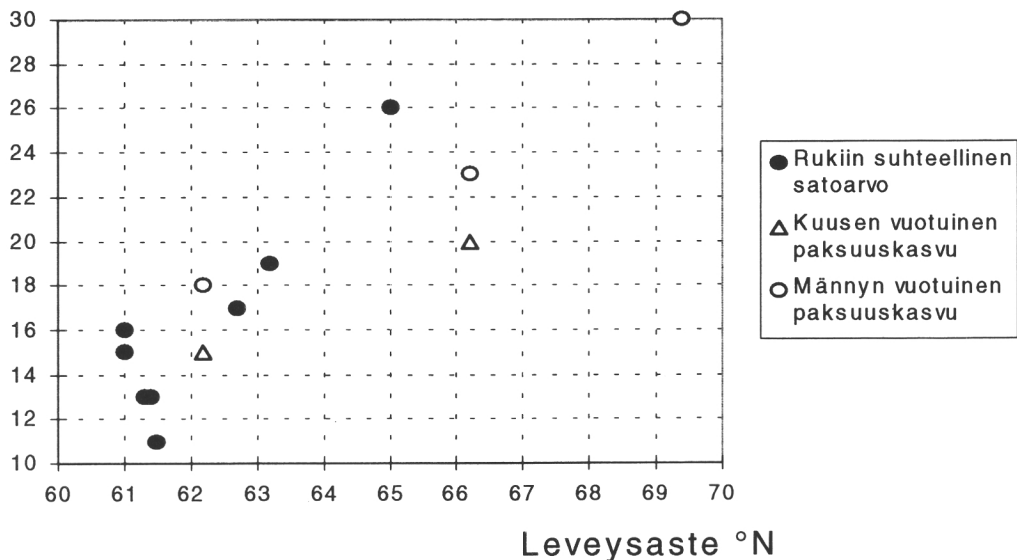
Keski-Euroopassa vastaavanlaisia ilmastosarjoja on laadittu tammen vuosilustoista. Tammi säilyy soissa ja järvien pohjamudissa vähintään yhtä hyvin kuin mänty. Tuoreimpien tietojen mukaan Saksassa, Hohenheimin yliopistossa, on kehitteillä jopa 16 000 vuoden mittainen tammisarja. USA:n Arizonassa muinaista ilmastoa tutkitaan tuhansien vuosien ikäisiksi elävien vihnemäntyjien vuosilustoista. Toistaiseksi pisin lustokalenteri on noin 8000 vuoden pituinen, mutta tavoitteena on venyttää se noin 13 000 vuoteen.

42. Ilmaston vaihtelut ja metsänuudistuminen

Pohjoisten metsien uudistumiseen vaikuttaa ratkaisevasti Hustichin (1948) määrittelemä ns. ilmastollinen hasarditekijä, jolla tarkoitetaan peräkkäisten vuosien keskilämpötilojen vaihtelun voimakkuutta (hasardi = uhkapeli). Pohtila (1978) havainnollisti hasarditekijää vaihtelun suuruutta kuvaavalla variaatiokertoimella: mitä pohjoisemmaksi siirrytään, sitä voimakkaampaa on vaihtelu (Kuva 39). Vaihtelun muuttuessa liian rajuksi metsän uudistumisen edellytykset katoavat kokonaan, eikä uutta metsää enää synny.

Grönlannin GRIP-jäätikkökairauksien perusteella on päätelty ilmaston vaihtelun olleen poikkeuksellisen voimakasta viime jääkaudella, jolloin peräkkäisten vuosien keskilämpötilat saattoivat poiketa toisistaan jopa yli 10 astetta (Broecker 1995). Nykyisin vuotuiset poikkeamat ovat suurimmitaan muutaman asteen luokkaa (Eronen 1981).

Variaatiokerroin



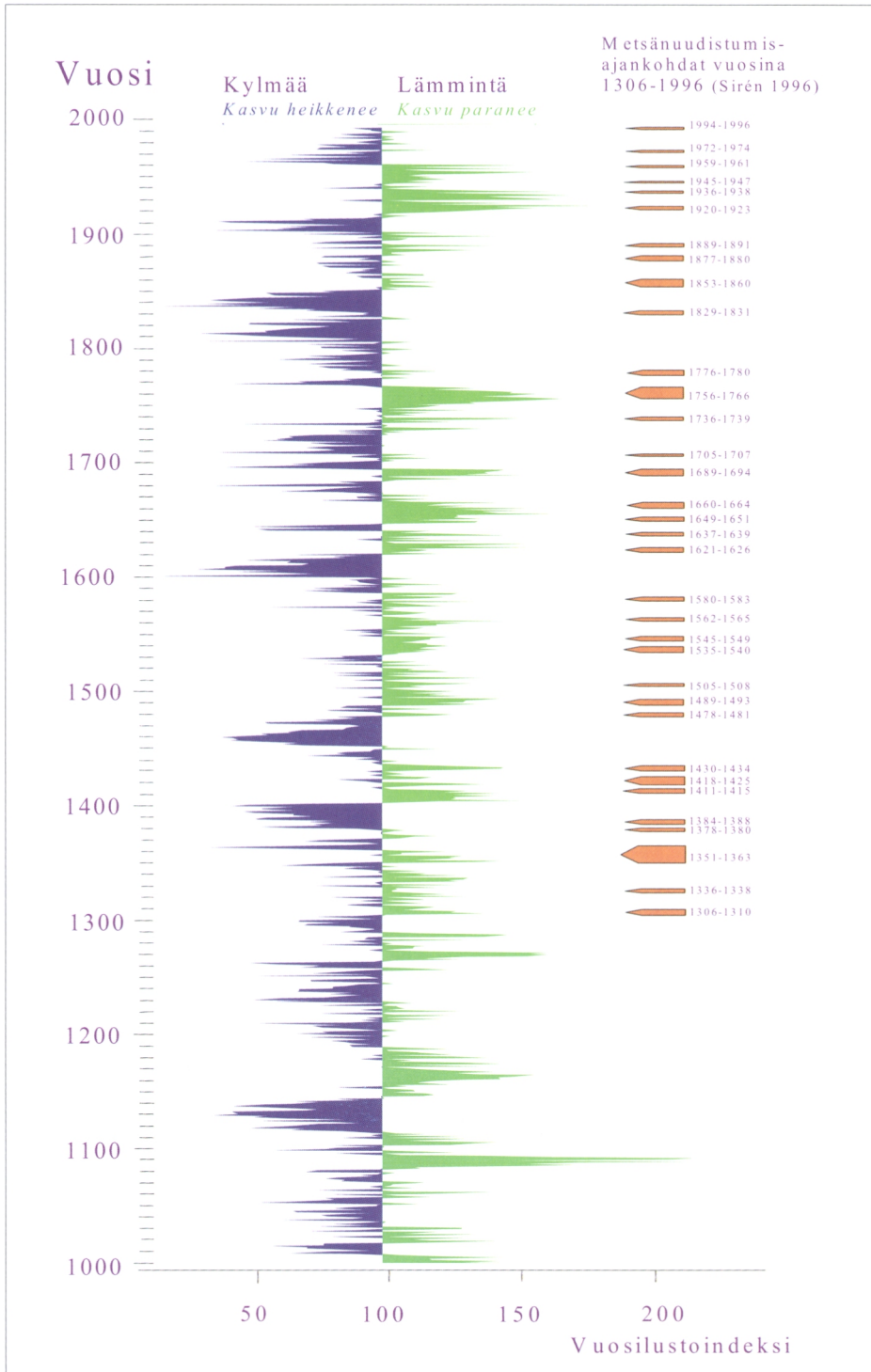
Kuva 39. Hustichin (1948) määrittelemän ns. hasarditekijän riippuvuus leveysasteesta Suomessa (Pohtila 1978). Niin maa- kuin metsätaloudenkin perusedellytyksiin vaikuttava hasarditekijä kuvaa ilmaston äärevyyttä. Kuvassa tutkittavina muuttujina ovat rukiin satoarvo sekä männyn ja kuusen vuotuinen paksuuskasvu.

Metsänrajamännyn lustokalenterin (Kuva 40) mukaan olosuhteet ovat vuodesta 1961 lähtien olleet Lapin mäntyjen kasvuille epäsuotuisat. Muutamat suotuisat vuodet (1973, 1979, 1982, 1983 ja 1989) lieventävät tilannetta kuitenkin sen verran, ettei jaksoa voi pitää erityisen ankarana koko vuosituhannen mittakaavassa. Jos viime vuosikymmenet ovat olleet kylmiä, sitä edeltävä liki puolivuosisatainen jakso (1915–1960) oli yksi vuosituhannen lämpimimmistä. Männyn kasvun perusteella arvioiden yhtä lämmintä on viimeksi ollut 1700-luvulla. Päätelmää 1930-luvun suotuisuudesta tukevat havainnot 40–70 vuotta sitten uudistuneista nuorista metsiköistä, jotka nykyisin muodostavat maantieteellisesti pohjoisimman (polaarisen) ja tuntureilla ylimmän (alpiinisen) metsänrajan.

Metsänrajaseutujen männiköt ovat tuottaneet itävää siementä harvakseltaan mutta kuitenkin melko säännöllisesti noin 3–4 kertaa vuosisadassa. Tämä on tapahtunut

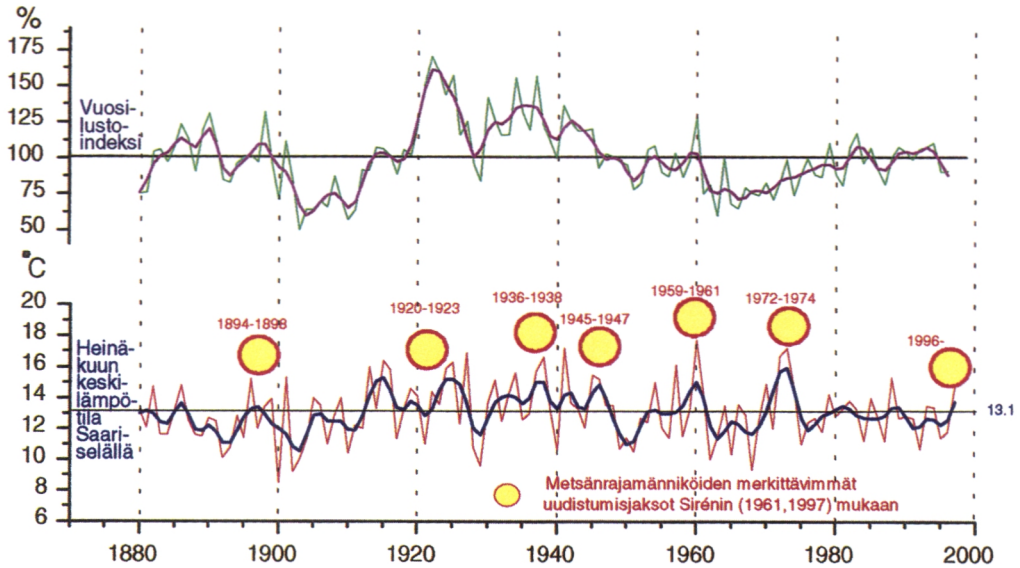
suotuisien kasvujaksojen aikana, mikä näkyy myös lustokalenteriin merkityistä männyn uudistumisvuosista jaksolla 1300–1996. Metsänrajamännyn kasvuolosuhteet lienevät olleet lyhytaikaisia poikkeuksia lukuunottamatta ankarimmillaan 1600- ja 1900-luvun välisenä ajanjaksona. Jakson kylmimmässä vaiheessa 1830-luvulla puiden paksuuskasvu tyrehtyi metsänrajalla lähes kokonaan useiksi vuosiksi, mikä ilmenee aihkimännystä puuttuvista vuosirenkaista. Pitkällä heikon kasvun jaksolla 1781–1850 metsät uudistuivat Sirénin tutkimusten mukaan metsänrajalla merkittävämminkin vain kerran.

Saariselän ja Muotkanruoktun keloaineistoihin perustuvien vuosilustoindeksien vertaaminen saman vuoden heinäkuun mitattuihin keskilämpötiloihin osoittaa ilmaston ja puun kasvun välisen selkeän yhteyden (Kuva 41). Hyvät siemenvuodet kehittyvät lämpimien jaksoiden aikana.



Kuva 40. Metsänrajamännyn kasvun vaihtelu ja uudistumisvuodet. Metlan 1911-vuotisen lustosarjan kasvunvaihteluiden vertailu uudistumisvuosiin (Sirén 1961, 1996) osoittaa, että Lapin metsänrajametsät uudistuvat vain suotuisten ilmastojaksojen aikana.

Heinäkuun keskilämpötilan vaikutus metsänrajamännyn kasvuun ja uudistumiseen



Kuva 41. Saariselän ja Muotkanruoktun keloihin perustuvien vuosilustoindeksien vertaaminen saman vuoden heinäkuun keskilämpötiloihin osoittaa, että ilmaston ja puun kasvun välillä on selkeä yhteys. Hyvät siemenvuodet aiheuttavat mäntyjen kasvussa notkahduksen, joka on otettava huomioon mallilaskelmissa.

43. Ilmaston vaihteluiden jaksollisuus

431. Jääkausien kertautuminen

Nykykäsityksen mukaan maapallon suurilmasto käyttäytyy pääsääntöisesti kaottisesti, mutta kaaoksen keskellä esiintyy myös rauhallisempia kausia, joiden aikaisia tapahtumia voidaan jopa ennustaa (Broecker 1995). Ilmastoa hitaasti muuttavia tekijöitä ovat maapallon sijainti kiertoradallaan, mannerten liikunnat ja jääkaudet; dramaattisia muutoksia voivat aiheuttaa tulivuoret ja meteoriitit.

Ensimmäiset suuret jäämassat kertyivät maapallolle runsaat kaksi miljardia vuotta sitten, jolloin Huron-jääkausi peitti valtaosan tuolloin yhtenäisestä mannerlaatasta. Tämän noin 200 miljoonaa vuotta kestäneen

maailman vanhimman jääkauden merkkejä on löytynyt myös Pohjois-Karjalasta, Kontiolahden Urkkavaarasta (Eronen 1991). Mantereiden hajoaminen ja sitä seurannut mannerten liikunta todennäköisesti lopettivat tämän jääkauden.

Jääkaudet ovat luonnollinen ja merkittävä osa maapallon ilmastovaihteluita. Geologit ovat löytäneet jäänteitä ainakin viidestä nykyisen Suomen maaperällä vallinneesta jääkaudesta. Viimeisin jääkausi alkoi noin 117 000 vuotta ja päättyi 10 000 vuotta sitten. Muutama kylmä kesä ei vielä aiheuta jääkautta, vaan siihen tarvitaan satojen tai tuhansien vuosien kylmä jakso. Esimerkiksi Suomen pari kilometriä paksun jääkerroksen muodostuminen ja sulaminen vaati yli 100 000 vuotta. Jääkausien välissä olevia lämpimämpiä jaksoja kutsutaan interglasiaalivaiheiksi, jollaista elämme myös paraikaa.

Suhteellisen pienetkin muutokset sääteki-
jöissä ovat toimineet laukaisevana tekijänä
suurilmaston muutoksille (Eronen 1991).
Jääkauden kehittyminen ja loppuminen voi-
vat siten perustua vain muutamien asteiden
pysyvään muutokseen vuotuisessa keski-
lämpötilassa. Ihmisen toiminnasta aiheutu-
va kasvihuoneilmiön voimistuminen ja sen
myötä muutamalla asteella nouseva keski-
lämpötila voivat parantaa Suomen metsien
tuotosta ennusteiden mukaan huomattavas-
ti. Yhtä hyvin ne saattavat aloittaa epäva-
kaan suurten ilmastovaihteluiden vaiheen ja
muuttaa koko Fennoskandian lumen ja jään
maaksi.

432. Proksitietojen kertomaa

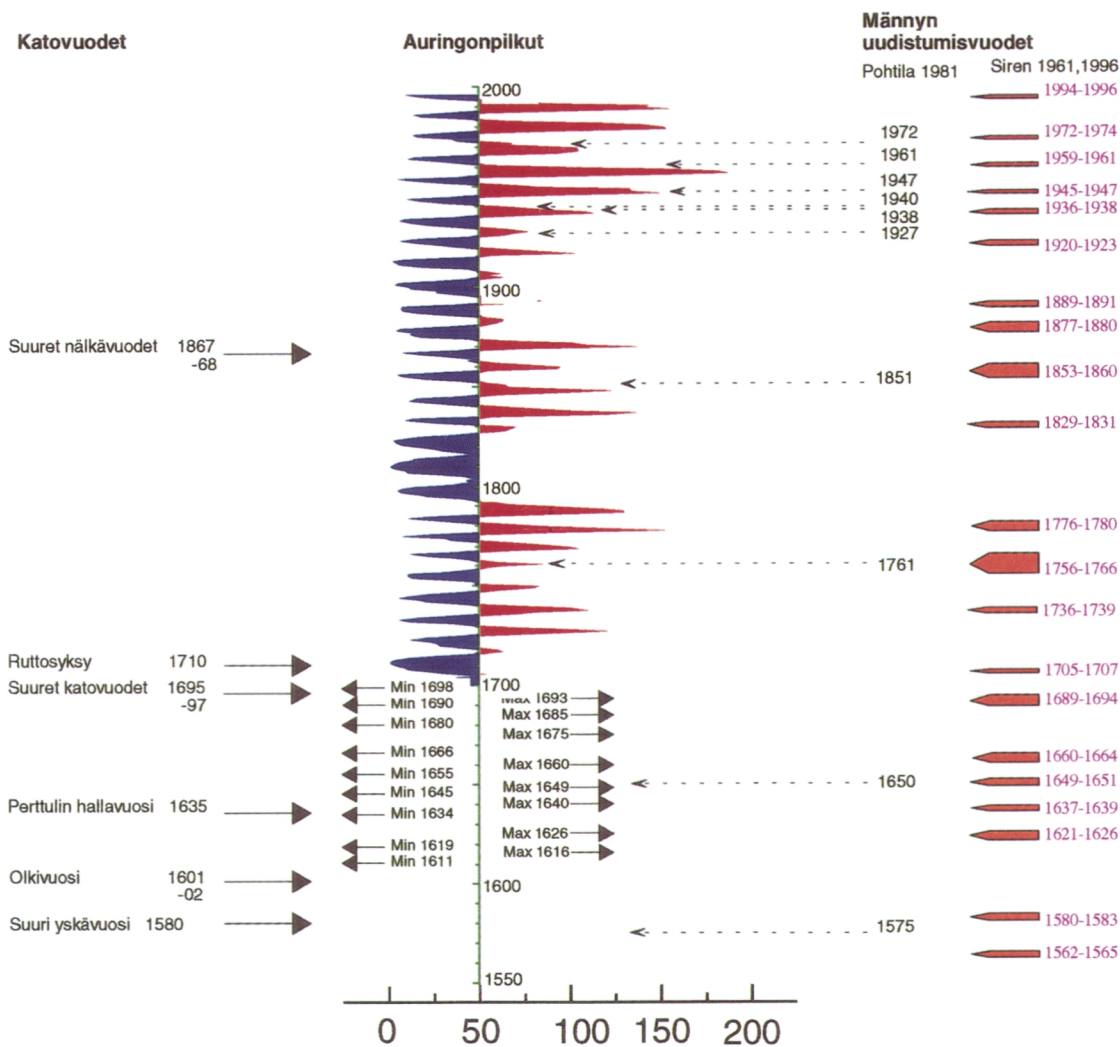
Puulustot, jääkerrostumat, merenpohjien
sedimenttikerrostumat ja muut ilmaston
vaihteluita kuvaavat ns. proksitiedot viittaa-
vat suotuisten ja epäsuotuisten ilmastojak-
sojen enemmän tai vähemmän säännönmu-
kaiseen vuorotteluun. Tämän on oletettu
johtuvan jostain jaksollisesta suurilmaston
taustatekijästä kuten auringon aktiivisuu-
desta, maan akselin heilahteluista tai kuun
vetovoimasta. Selityksiä on haettu myös tu-
livuorenpurkauksista, säärintamien liik-
keistä ja niin edelleen. Erityisesti venäläiset
tutkijat ovat selvittäneet vaihtelevin tuloksin
puiden kasvun jaksollisuutta.

Kasvun jaksollisuutta selitettäessä on luon-
nollista tarkastella ensiksi auringon säteily-
energian muutoksia ja niiden vaikutuksia.
Auringon aktiivisuuden tiedetään vaihtelevan
11,1 vuoden rytmissä.

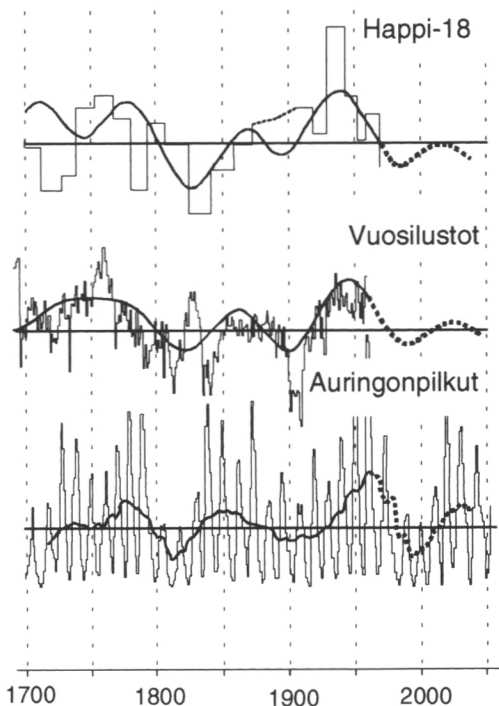
Rytmiikkaa on seurattu jo noin 300 vuotta.
Aktiivisuuden ollessa voimakkaimmillaan
maapallon ilmakehän magneettiset häiriöt
näkyvät radioliikenteen ongelmina ja re-
vontulien poikkeuksellisen komeana loimo-
tuksena.

Myös auringon aktiivisuuden yhteyttä il-
mastoon ja metsänkasvuun on selvitetty.
Pohtilan (1981) tutkimusten mukaan Lapin
metsänrajamännyn uudistumisvuodet sijoit-
tuivat aina auringonpilkumaksimin välit-
tömään läheisyyteen (Kuva 42). Katovuosi-
en edellytyksenä näytti puolestaan olevan
auringon aktiivisuuden minimi. Myös Sirénin
(1961) esittämät uudistumisjaksot ovat
yleensä sopusoinnussa auringon aktiivisuu-
den kanssa. Havaintoihinsa nojautuen Poh-
tila laati ennusteen Lapin ilmaston kehityk-
sestä vuoteen 2040 saakka (Kuva 43). Sen
mukaan ilmasto olisi 1900-luvun lopussa
noin sadan vuoden pituisen jakson kylmim-
mässä ja vuoden 2025 tienoilla lämpimim-
mässä vaiheessaan. On merkille pantavaa,
että myös muihin proksilähteisiin (vuosi-
luston leveys, happi-18-isotoopin määrä)
perustuvat ennusteet päätyvät hyvin saman-
kaltaisiin tuloksiin.

Eronen on tarkastellut ilmaston jaksollisuu-
den syitä auringonpilkkuja huomattavasti
pidemmissä ajanjaksoissa. Hän viittaa tähti-
tieteilijä Milankovichin teoriaan. Sen mu-
kaan Kuun vetovoiman vaihtelut aiheutta-
vat häiriöitä Maan pyörimisakselin asen-
toon, mikä saa Maan ”vaappumaan” hyrrän
lailla. Tätä kautta on mahdollista löytää se-
litys jääkausien toistumiselle noin 100 000
vuoden välein.



Kuva 42. Vuotuisen auringonpilkkuluvun vaihtelu (Lähde: National Geophysical Data Center), metsänrajamänniköiden tärkeimmät uudistumisvuodet Pohtilan (1981) ja Sirénin (1961 ja julkaisematon tieto 1996) mukaan sekä maatalouden suuret katovuodet Suomessa (Melander ja Melander 1924). Pohtilan (1981) mukaan uudistumisvuodet osuvat auringon aktiivisuuden huippuvuosiin ja katovuodet puolestaan sen minimivuosiin.



Kuva 43. Auringonpilkut (Cohen ja Lintz 1974), pohjoisten metsänrajamäntyjen vuosiluston paksuus (Sirén 1961) ja happi-18 määrä Grönlannin jäätiköissä (Johnsen ym. 1970) v. 1700–2040. Auringonpilkkuluku on tasoitettu 33 vuoden liukuvalla keskiarvolla. Lähde: Poh-tila 1978.

44 . Päätelmiä

Metsätalouden harjoittamisen edellytyksiin vaikuttavat paitsi ilmaston äärevyys, myös sen jaksollisuus tai rytmiikka. Pitkien kylmien ja lämpimien jaksojen vuorottelut ovat saaneet metsäammattilaiset uskomaan vuoronperään hyviin ja huonoihin aikoihin. Viime vuosisadan loppupuolen pitkä kylmä jakso vaikutti 1900-luvun alun metsäntutkijoihin niin perusteellisesti, että he myö-
vaikuttivat suojametsälain syntymiseen vuonna 1922. Lailla pyrittiin suojaamaan tundraa vastassa olevat metsänrajametsät, jotta metsänraja ei alenisi. Lain syntyvuon-

na ilmasto oli jo lämpenemässä kohti vuosi-
tuhannen lämpimintä jaksoa. Myös kylmän
1960-luvun laajat viljelytaimikkotuhot La-
pissa ovat esimerkki siitä, millaisia riskite-
kijöitä luontaiseen ilmastovaihteluun liit-
tyy.

Tuhansien vuosien pituiset lustosarjat ker-
tovat, miten muinaiset metsät ovat kasva-
neet, millaista niiden kasvunvaihtelu on ol-
lut ja millaisia trendejä on esiintynyt jää-
kauden jälkeisenä aikana. Tietojen perus-
teella pyritään arvioimaan muun muassa
sitä, sopiiko 1900-luvulla havaittu kehitys
normaaleihin pitkän ajan vaihtelun puittei-
siin, vai ollaanko kenties jo todistamassa
uuden ilmastovaiheen syntyä. Lisäksi voi-
daan esittää erilaisiin lähtöoletuksiin perus-
tuvia ennusteita puiden kasvun ja ilmaston
tulevasta kehityksestä.

Jaksoittaisuus vaikuttaa myös metsien uu-
distumiseen. Puusukupolvia tutkimalla on
voitu päätellä uudistumisen tapahtuvan pää-
asiassa lämpimien jaksoiden aikana. Männyn
siemenen tuleentumisen tarvitaan kolme
peräkkäistä lämmintä kesää, mikä on met-
sänrajalla mahdollista vain suotuisimpien
kasvujaksoiden aikana. Sarvaksen (1970)
mukaan männyn kukkimista edeltävän ke-
sän lämpösumman tulisi nousta 910
d.d.:een (lämpö-summayksikköä) ja siemen-
en tuleentumiskesän 845 d.d.:een, jotta itä-
vää siementä olisi keräystä ajatellen riittä-
västi. Tällaisen yhdistelmän todennäköi-
syy Lapissa on vain noin 6 prosenttia
(Pohtila 1978).

Männyn uudistumistodennäköisyys on käy-
tännössä selvästi parempi. Tuhatvuotinen
vuosilustokalenteri osoittaa puiden kasvun
vaihtelussa esiintyvän rytmiikkaa, jolla on
selkeä yhteys kesä-heinäkuun lämpötila-
vaihteluihin (Vrt. kuva 40). Ilmiö merkitsee
lämpimien vuosien ryhmittymistä, jolloin
myös uudistumisen todennäköisyys kasvaa
suuremmaksi.

5. ALUEELLISET KASVU- TRENDIT EUROOPASSA

51. Mitä tarkoittaa kasvutrendi?

Tilastotieteessä trendillä tarkoitetaan pitkäaikaista, samaan suuntaan jatkuvaa muutosta, joka voi olla säännöllisen jaksoittaista tai satunnaista. Olennaista on se, että muutos on pitkäaikaista ja suhteellisen tasaista. Pitkäaikaisuus on aina tulkinnanvaraista. Vuosisadan kestänyt ilmaston muutos voi olla ihmisen mittakaavassa pitkäaikaista. Geologiassa samainen trendi tulkitaan lyhytaikaiseksi jaksolliseksi vaihteluksi.

Puiden kasvuun sovellettuna trendin käsite muuttuu entistä sekavammaksi. Pitkäaikaisuus on hyvin erilaista metsänrajaseutujen hitaasti kasvavissa ikimetsissä ja parissa vuosikymmenessä täyteen mittaansa kasvavissa etelämaiden viljelymetsissä. Myös trendin käsitteeseen liittyvä jatkuva muutos on metsässä enemmänkin sääntö kuin poikkeus. Lukuisat metsien rakenteeseen, kasvupaikkaan ja ilmastoon liittyvät tekijät saavat aikaan eri suuntiin tapahtuvia kasvu- ja muutosmuutoksia samankin metsikön puissa.

Poikkeukselliset sääolot, kuten kuivuus, myrsky ja pakkanen aiheuttavat toisinaan tuhoja, joiden jälkeen metsikön eloonjääneet puut saattavat lisätä kasvuaan jopa usean vuosikymmenen ajan. Kasvun lisäys voi aiheutua sääolosuhteiden parantumisesta, puiden välisen kilpailun vähenemisestä sekä neulasiston ja juuriston uusiutumisesta. Nämä trendinomaisten muutosten aiheuttajat häviävät ajan myötä historian hämärään, mikä vaikeuttaa tulosten myöhempiä tulkintoja.

Tässä kirjassa metsien ja puiden kasvutrendillä tarkoitetaan pitkään jatkunutta puun tai metsäalueen kasvun poikkeamaa odotusarvostaan. Odotusarvo voi olla aiemmin mitattujen vastaavanikäisten ja -kokoisten puiden kasvu, vanhojen kas-

vu- ja tuotostaulukoiden taso, kasvumallit tai samalla paikalla aiemmin kasvaneen puusukupolven kasvu. Puiden kasvun luontainen vuotuinen tai vuosikymmenten välinen jaksoittainen vaihtelu merkitsee sitä, että poikkeaman tulee jatkua vähintään useita vuosikymmeniä ennenkuin voidaan puhua pitkän ajan kasvutrendistä (Vrt. kuva 20).

Seuraavassa esitetään Metlan ja saksalaisen Freiburgin yliopiston aloitteesta aloitetun, Euroopan metsäinstituutin (EFI) koordinoiman tutkimuksen tuloksia. Lähtökohtana tutkimukselle olivat metsätilastot, joiden mukaan Euroopan metsien kokonaiskasvu oli lisääntynyt 40 prosentilla vuoden 1950 jälkeen.

Kasvun todetun lisääntymisen luonnollisia syitä ovat metsäpinta-alan lisääntyminen ja sodan jälkeen istutettujen metsien ehtiminen suurimman kasvun ikävaiheeseen. Tehdyssä tutkimuksessa selvitettiin sitä, löytyykö Euroopasta pitkän ajan kasvutrendejä, jotka eivät selity metsänhoidolla tai metsien rakenteen muuttumisella. Kiinnostuksen kohteena oli nimenomaan se, ovatko ihmisen ilmaan päästämät kemialliset yhdisteet aiheuttaneet ilmakehään tai maahan sellaisia muutoksia, joiden vaikutukset näkyvät myös metsien kasvussa.

52. Trenditutkimuksen menetelmät

Kasvun luontainen pitkäaikaisvaihtelu asettaa erityisvaatimuksia tutkimusaineistoille ja analyysimenetelmille. Vaikeinta on löytää se kasvun perustaso, johon mahdollisesti muuttunutta kasvua verrataan. Vertailukohta voi olla joissakin tapauksissa maantieteellinen tausta-alue, jossa trendiä aiheuttava tekijä puuttuu. Näin on asia tutkittaessa suuren suurten saastelähteiden vaikutuspiirin laajuutta esimerkiksi Kuolan niemimaan nikkelisulattojen ympärillä.

Useimmiten trendin aiheuttava tekijä vaikuttaa kaikkialla. Tällöin kasvun vertailu-

kohta täytyy etsiä menneisyydestä. Menneeseen kasvuun vertaamisen ongelmat ovat metsikköhistorian puutteellinen tunteminen sekä tarkasteltavien metsien ikääntyminen ja tihentyminen, jotka jo sellaisinaan merkitsevät puiden vuosirenkaiden vähittäistä trendinomaista kapenemista. Kasvunvaihtelututkimuksissa ikääntymisen vaikutus puiden kasvuun poistetaan laskennallisesti. Taitamaton ikäkorjaus saattaa kuitenkin hävittää myös muista tekijöistä kuin puiden iästä aiheutuvan kasvutrendin.

Eurooppalaisen tutkimuksen aineistot koostuivat valtakunnan metsien inventointien kasvumittauksista, vuosikymmeniä tai jopa yli vuosisadan toistuvasti mitatuista kesto-koelohjoista sekä kaikenikäisistä metsistä kairatuista kasvunäytteistä.

Inventointiaineistojen etuna on tulosten hyvä alueellinen yleistettävyyden, ongelmana taas niiden tulkinta. Mahdollisesti löytyvän trendin syiden erittely on vaikeaa, koska talousmetsien aiempi tuho- ja käsittelyhistoria eivät useinkaan ole tiedossa. Tieto kauan sitten tehdyistä puiden kasvua elvyttäneistä hakkuista on tavallisesti hävinnyt, koska kannot ovat lahonneet olemattomiin.

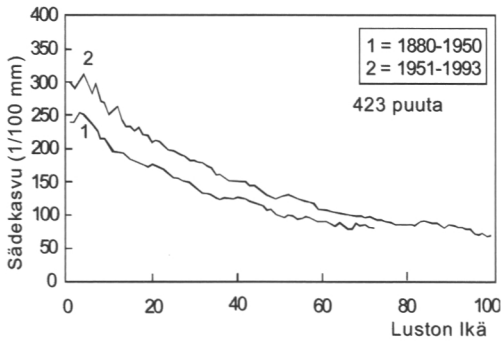
Yksinkertaisin tapa analysoida inventointituloksia on eri vuosikymmeninä tehtyjen toistuvien kasvumittausten suora vertailu kasvupaikoittain sekä ikä- ja tiheysluokittain. Vertailu on mahdollista myös laatimalla peräkkäisten inventointien mittausten pohjalta yleinen kasvumalli ja vertaamalla sillä laskettuja tuloksia mitattuihin kasvuihin kalenterivuositain. Pidemmän aikaa mallin keskitasosta kaiken aikaa erkaneva kasvu on merkki kasvutrendistä.

Vuosikymmeniä, joskus jopa koko metsikön elinajan seurattujen pysyvien koelohjojen vahvuutena on metsikön historian tarkka kirjaaminen. Kokeet, joissa puuston kehitystä on seurattu toistuvien mittausten samassa paikassa kahden puusukupolven ajan tarjoavat luotettavimman tavan selvittää

kasvupaikan puuntuotoskyvyn muutoksia. Valtapuiden pituuskehitys ei riipu mainittavasti metsänkäsittelystä, minkä vuoksi suurimpien puiden pituuden kehitystä käytetään yleisesti maan tuotoskyvyn mittarina. Puuston syntytyyppi, taimikkovaiheen alikasvosasema ja eri syistä sattuneet latvatuhot saattavat johtaa vääriin päätelmiin myös valtapituuteen perustuvassa tuotosvertailussa.

Harkinnanvaraisesti valittavista metsiköistä kerättävät kairanlastut muodostavat helposti hankittavan mutta vaikeasti tulkittavan aineiston trenditutkimuksille. Koekohteiden valinta, puutteellisesti tunnettu metsikköhistoria ja puiden ikääntymisen aiheuttama paksuuskasvun hidastuminen tekevät päätelmien teon trendin olemassaolosta vaikeaksi. Metsien käsittelyn vaikutusten eliminoinniseksi koepuut valitaan tavallisesti luonnonsuojelualueilta tai syrjäisten seutujen tietöistä erämaista. Tällä ei voida kuitenkaan välttää kauan sitten tapahtuneiden luonnontuhojen häiritsevää vaikutusta puiden kasvuun.

Luotettavin menetelmä koepuista kairattujen kasvunäytteiden analysointiin on ns. vakioikämenetelmä. Tavoitteena on verrata eri vuosikymmeninä muodostuneita, samanikäisiä vuosilustoja toisiinsa. Tarkastelu voidaan tehdä joko ikäluokittain kalenterivuoden suhteen tai vuosikymmenittäin iän suhteen. Tähän tarvitaan ainoastaan samalaisissa olosuhteissa kasvavien, kaikenikäisten koepuiden kasvun kairauksia. Menetelmää havainnollistaa kuva 44.



Kuva 44. Ennen vuotta 1950 (1) ja vuoden 1950 jälkeen (2) muodostuneiden kuusen vuosilustojen leveyden riippuvuus luston iästä Sveitsissä (Schneider ja Hartmann 1996). Vuoden 1950 jälkeen sekä nuorten että vanhojen puiden (vuosilustojen) kasvu on ollut selvästi korkeammalla tasolla kuin vastaavanikäisten puiden kasvu aiemmin.

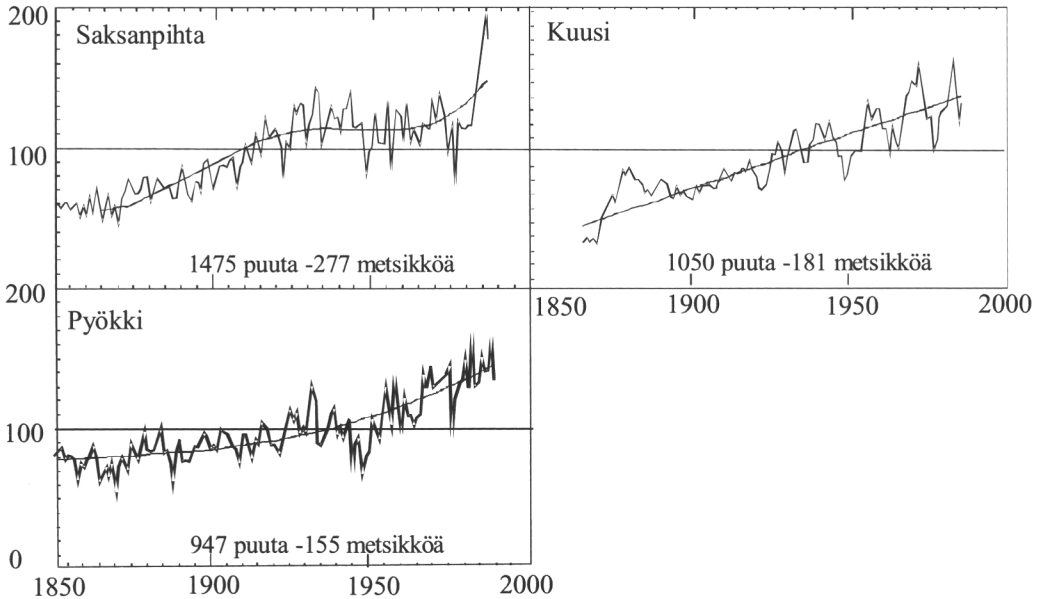
Vakioikämenetelmän heikkoutena on, kuten edellä mainittiin, puutteellinen tieto metsiköhistoriasta. Mahdollisesti havaittavan kasvunmuutoksen syy voi olla ilmastonmuutos tai ilmansaasteet, mutta yhtä hyvin myös metsänkäsittelytapojen muuttuminen. Vuosisadan alun nuoret puut ovat voineet kärsiä isompien puiden varjostuksesta, kun taas tämän päivän nuoret puut saavat useimmiten kasvaa alusta lähtien vapaina.

53. Keski-Euroopan kasvutrendit

Tutkimuksen tulokset osoittivat Keski-Euroopan metsien kasvun lisääntyneen tavalla, jota on mahdotonta selittää pelkällä metsänhoidolla, metsien ikärakenteella tai metsäpinta-alan lisääntymisellä. Yksiselitteisin todiste kasvupaikan tuotoskyvyn kohoamisesta löytyi Saksasta, jossa täsmälleen samassa paikassa kasvaneiden peräkkäisten puusukupolvien tuotosta on selvitetty kestokokein yli 40 koemetsikössä 1800-luvun alkupuolelta saakka. Näissä kokeissa nykypuustot ovat kehittyneet poikkeuksetta nopeammin kuin pääosin 1800-luvulla kasvanut edellinen puusukupolvi. Sveitsissä ja Etelä-Ruotsissa vastaavanlaisten kokeiden tulokset ovat samansuuntaisia.

Myös Ranskassa tehdyt vuosilustoanalyysit osoittavat puiden kasvavan tällä hetkellä jopa 50–160 prosenttia nopeammin kuin samanikäiset puut kasvoivat 1800-luvun puolivälissä. Tulos oli sama kuusella, pyökillä ja saksanpihdalla (Kuva 45). Osa kasvunlisäyksestä johtunee tässä tapauksessa metsänhoidon menetelmien muuttumisesta. Viime vuosisadan lopulla parhaisiin puihin kohdistuneet harsintahakkuut ja nuorten puiden kasvattaminen isomman puuston varjossa olivat yleisempiä kuin nykyään.

Sädekasvuindeksi (%)



Kuva 45. Saksanpihdan, kuusen ja pyökin suhteellinen paksuuskasvu Koillis-Ranskan Vogeesien vuoristossa vuodesta 1850 lähtien (Badeau ym. 1996). Tulokset, joista on poistettu puiden ikääntymisen vaikutus, osoittavat kaikkien puulajien paksuuskasvun lisääntyneet selvästi jo yli sata vuotta.

Ainoat negatiiviset kasvutrendit Keski- ja Etelä-Euroopassa löytyivät Portugalista ja rajoitetuilta alueilta Saksan ja Tsekinmaan vuoristoista. Portugalissa havupuiden kasvu on ollut keskitason alapuolella lähes pari vuosikymmentä jatkuneen kuivuuden vuoksi. Vuoristoissa kasvun aleneminen ja ajoittain suoranaiset metsätuhot aiheutuvat nykäsityksen mukaan ongelmavyyhdestä, jonka olennaiset osatekijät ovat väärä puulaji ja rodullinen alkuperä, ankara ilmasto ja ilmansaasteet. Tunnetuimmat tuhoalueet sijaitsevat Erzgebirgen vuoristossa Tsekinmaan ja Saksan rajalla. Siellä kylmät talvet ovat aiheuttaneet suurtuhoja esimerkiksi talvikausina 1978/79 ja 1995/96. Tuhot ilmenevät neulasten varisemisena silloin, kun kosteaa ja lämmintä säätä seuraa nopea ja voimakas lämpötilan aleneminen (Vrt. kuva 27).

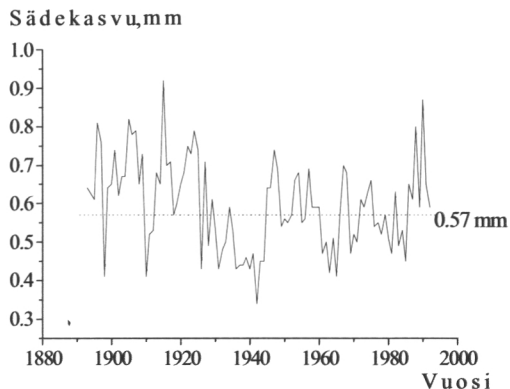
54. Pohjois-Euroopan kasvutrendit

Pohjois-Euroopassa kasvutrendit eivät ole yhtä selviä ja yksiselitteisiä kuin etelämpänä. Kuitenkin myös Tanskassa, Etelä-Ruotsissa ja Pietarin alueella useat tutkimukset osoittivat puiden kasvun lisääntyneen viime vuosikymmeninä. Kasvun lisääntyminen oli paikoitellen niin selvää, että voidaan puhua suorastaan puiden kasvutavan muutoksesta. Pietarin metsäakatemian kestokokeilla vanhojen, ikänsä puolesta laskevan kasvun vaiheessa olevien puustojen kasvu on kääntynyt muutamia vuosikymmeniä sitten uudelleen nousuun. Tämä on vastoin aiempaa käsitystä, jonka mukaan ikääntyminen alentaa puuston hehtaarikohtaista kasvua noin 40–50 vuoden iällä saavutettavan kasvumaksimin jälkeen.

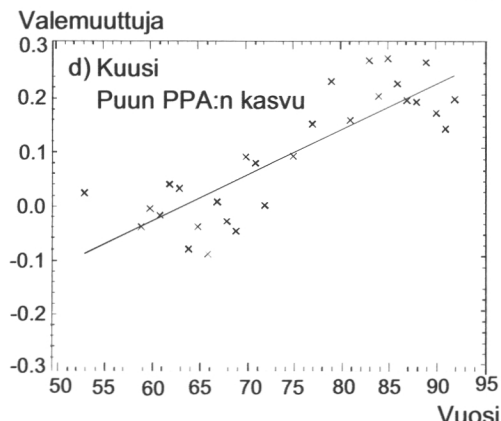
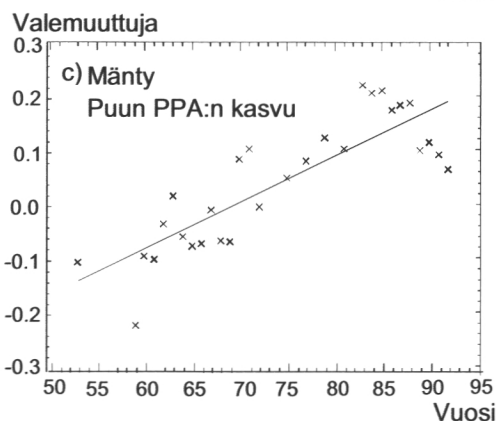
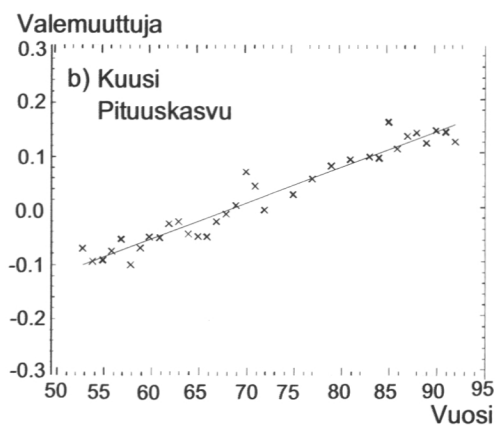
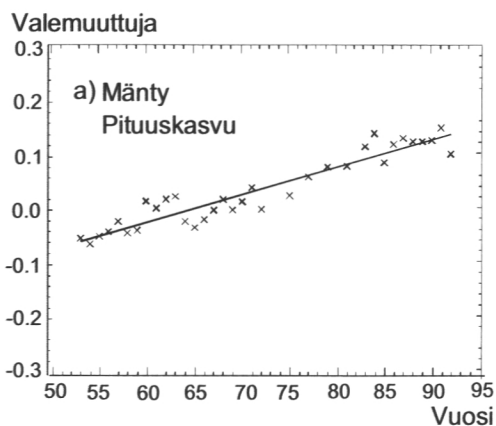
Suomessa, Venäjän Karjalan Kostamuksessa ja Vodlajärvellä ja osittain myös Ruotsin ja Norjan keskiosissa tutkimukset eivät osoittaneet minkään suuntaista kasvumuutosta. Itä-Suomen luonnonsuojelualueilla ja Metlan toistuvasti harvennetuilla koealoilla männyt kasvavat edelleen samalla tavoin kuin samanikäiset edeltäjänsä vuosisadan alussa. Myöskään Lapin järvien pohjamutiin uponneiden subfossiilipuiden vuosilustoista ei löytynyt todisteita siitä, että mäntyjen kasvu poikkeaisi tällä vuosisadalla jollakin tavoin viimeisten 2000 vuoden aikana havaitusta kasvusta.

Puiden kasvussa nähtävää vuosikymmenten välistä vaihtelua on toisinaan tulkittu merkiksi kasvihuoneilmaston voimistumisen tai ilmansaasteiden aiheuttamasta kasvun muutoksesta. Kuva 46 osoittaa, että tulkinnat ovat olleet lyhytnäköisiä ja ennenaikaisia.

Edellä esitetty kasvun muuttumattomuus koskee metsiä, joiden kasvuun ei ole vaikuttettu metsänhoidon keinoin. Hoidettujen taolousmetsien kasvu sen sijaan on lisääntynyt voimakkaasti kaikissa Pohjoismaissa. Esimerkin tästä tarjoaa Ruotsin valtakunnan metsien inventoinnin mittauksiin perustuva tutkimus (Kuva 47). Tutkimuksen aineistona oli noin 100 000 koepuuta, jotka oli kerätty useista peräkkäisistä inventoinneista vuosien 1950 ja 1990 välillä. Koko aineiston perusteella laadittuun kasvumalliin ns. valemuuttujaksi otettu kalenterivuosi osoitti kuusten ja mäntyjen pituus- ja paksuuskasvun lisääntyneen 40 vuodessa 20–30 prosenttia iältään ja tiheydeltään samanlaisissa metsiköissä.



Kuva 46. Männyin sädekasvun vaihtelu Etelä- ja Itä-Suomen luonnonsuojelualueilla. Iältään 90–120 vuotiaiden vuosilustojen leveydet eivät osoita pitkän ajan muutosta mihinkään suuntaan. Vuosien ja vuosikymmenten välinen vaihtelu keskiarvon 0,57 mm suhteen on sen sijaan erittäin voimakasta (Mielikäinen ja Timonen 1996).



Kuva 47. Männyn ja kuusen paksuus- ja pituuskasvun muutos Ruotsissa 1953–1992 valtakunnan metsien inventointien mukaan (Elfving ja Tegnhammar 1996). Kuva osoittaa mäntyjen pituuskasvun lisääntyneen 40 vuodessa 20 % ja kuusten 27 %. Molempien puulajien paksuuskasvu on lisääntynyt vastaavana aikana yli 30 %. Tuloksista on poistettu puiden iän, puuston tiheyden sekä maaston korkeuden ja maantieteellisen sijainnin vaikutukset.

Kasvun lisääntymisen pääsyyksi ruotsalaiset tutkijat arvelivat metsien hoidon muutoksia. Heidän mukaansa 1950-luvulla harshintametsien nuoret puut olivat kituvia alikasvoksia ja varttuneemmat parhaiten puiden poiminnan jälkeen kasvamaan jääneitä, geneettisesti hidaskasvuista yksilöitä. Nykymetsien nuoret puut ovat kasvaneet vapaina varjostuksesta. Varttuneemmissa, alaharvennetuissa metsissä jäljellä olevat puut ovat puolestaan metsikön parhaiten kasvaneita puita. Tutkijat pitivät kuitenkin mahdollisena, että osa kasvun noususta saattaa olla ilmakehän lisääntyneen typpilaskeuman (25 kg/ha vuodessa) aiheuttamaa.

55. Kasvutrendit päästölähteiden lähialueilla

Keski-Euroopassa viime vuosikymmeninä havaitut paikalliset metsätuhot ovat herättäneet laajaa keskustelua. Ilmiö vaikutti osaltaan kansainvälisiin sopimuksiin rikki- ja typpipäästörajoitusten toteuttamisesta. Metsätuhokeskustelun pääosassa ovat olleet ilmakehän epäpuhtauksista aiheutuva maaperän happamoituminen ja metsien yleinen terveydentila, ei niinkään puiden kasvu.

Ilman epäpuhtaudet vaikuttavat puiden aineenvaihduntaan suoraan neulasten tai leh-

tien kautta. Lisäksi ne voivat häiritä puun ravinteiden saannin kannalta tärkeitä maaprosesseja. Se tosiasia, että ilman epäpuhtaudet saattavat vaikuttaa sekä kasvua kiihdyttävästi että sitä hidastaen, vaikeuttaa suuresti yksittäisten yhdisteiden kasvuvaiikutusten erittelyä.

Vaikka Euroopan metsien kasvu yleisesti ottaen onkin kohonnut, suuret pistemäiset päästölähteet ovat alentaneet puiden kasvua lähiympäristössään. Haitallisten aineiden vaikutukset on todennettu myös laboratorikokein, joissa metsäpuita – yleensä pieni-kokoisia taimia – on altistettu erilaisille kemiallisille yhdisteille tarkoin kontrolloiduissa oloissa.

Teollisuuden päästöjen kasvuvaiikutuksia tutkittiin Saksassa jo viime vuosisadalla. Kansainvälisesti tunnetuimmat kasvututkimukset on kuitenkin tehty Sudburyn metallisulaton ympäristössä Kanadassa 1950-luvulta lähtien. Suomalaisille siirtolaisille tutun Sudburyn nikkelisulaton vuotuiset rikkidioksidipäästöt (SO₂) olivat vielä 1970-luvulla yli kaksi miljoonaa tonnia eli noin kymmenkertaiset koko Suomen nykyisiin kokonaispäästöihin verrattuna.

Paikallisen mäntylajin kasvun todettiin heikentyneen yli 40 kilometrin etäisyydellä sulatosta; kasvumittaukset tehtiin vallitsevan tuulen suuntaisesti sijoitetulla koealalinjalla. Noin 15 vuotta sitten päästöt pystyttiin pudottamaan 1,3 miljoonan tonnin vuositasolle. Samaan aikaan pystytetty lähes 400-metrinen savupiippu levittää saasteet ”tasaisesti” satojen kilometrien päähän sulatosta.

Tunnetuin vastaavanlainen tutkimus Skandinavian oloissa tehtiin Rönnskärsverkenin metallisulaton ympäristössä Pohjois-Ruotsin Skellefteåssa (Mielikäinen 1990). Myös Skellefteån sulaton rikki- ja raskasmetallipäästöt vastasivat 1930-luvulla tasoltaan koko Suomen kokonaispäästöjä Tutkimuksen mukaan männyn kasvu heikentyi ajan

mittaan noin 10 kilometrin säteellä teollisuuslaitoksista. Kuusen kasvun taantumaa todettiin jonkin verran laajemmalla alueella. Sulaton päästöjen alentaminen on kääntänyt alueen puiden kasvun uuteen nousuun jo vuosikymmeniä sitten.

Suomessakin on tutkittu paikallisten päästölähteiden vaikutuksia puuston kasvuun, esimerkiksi Neste Oy:n Porvoon tuotantolaitosten ympäristössä. Tutkimustulokset ovat osoittaneet kasvumuutoksia vain hyvin suppeilla alueilla. Porvoon rikkipäästöt ovat olleet suurimmillaan 1970-luvulla vajaa neljännes Rönnskärsverkenin määrästä.

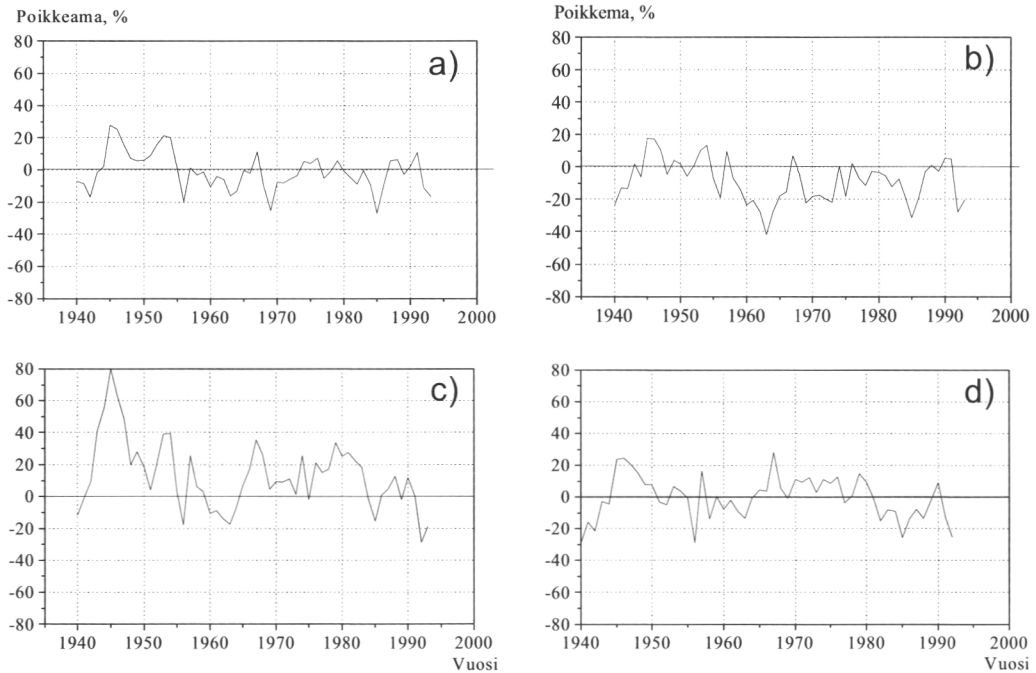
Suomen teollisuuden päästöt ovat 1980-luvun alun jälkeen vähentyneet noin 70 prosentilla. Merkittävä osa metsiimme kohdistuvista laskeumista on nykyisin peräisin maamme rajojen ulkopuolelta. Tämä on heijastunut myös kasvututkimusten kohdentamiseen. Suomen lähialueilla on tehty viime vuosina useita tutkimuksia, joilla on pyritty selvittämään suurten paikallisten saastelähteiden mahdollisia vaikutuksia metsien kasvuun. Tavallisin menetelmä on kerätä lustonäytteitä tarkoin rajatusta otoksesta, vaikkapa vanhoista hakkaamattomista mäntymetsistä, ja vertailla puiden kasvua eri etäisyyksillä päästölähteestä.

551. Kasvunvaihtelu Karjalan kannaksella

Pietarin talousalueella on runsaasti eri alojen teollisuutta. Vanhanaikaisen puhdistustekniikan ansiosta useiden metsille haitallisten aineiden laskeumat ovat Karjalan kannaksella merkittävästi korkeampia kuin Etelä-Suomessa. Laskeumien vaikutuksia mäntymetsien kasvuun tutkittiin tutkimuslinjalla joka ulottui Karjalan kannaksen kaakkoisosista Etelä-Suomeen. Kuvassa 48 on esitetty puiden kasvuindeksejä neljältä alueelta Karjalan kannakselta ja Kaakkois-Suomesta.

Kasvuindeksien vaihtelu on ollut eri alueilla varsin yhtenevää. Päähavainto on ollut se, ettei männyn kasvu ole heikentynyt trendinomaisesti millään alueella 1940-luvulta nykypäivään. Normaali ilmastollinen vaihtelu on samansuuntaista eri osa-alueilla. Esimerkiksi 1940-luvun puolivälissä säät olivat puille suotuisia; 1960-luvun alussa kasvu sen sijaan oli keskimääräistä alempana. Merkittävimmät erot alueiden välillä löytyvät 1970-luvun alkupuolelta. Etelä-

Suomessa kasvu oli tuolloin poikkeuksellisen nopeaa, muilla alueilla lähellä tarkastelujakson keskiarvoa. Viimeiset pari vuosikymmentä männyn ovat kasvaneet Etelä-Suomessa hyvin samaan tapaan kuin Karjalan kannaksella. Kuluvan vuosikymmenen alkuvuodet ovat olleet epäsuotuisaa aikaa kaikilla osa-alueilla. Sama havainto on tehty valtakunnan metsien inventoinnin kasvuaineistojen perusteella.



Kuva 48. Männyn vuosilustoindeksit vuosille 1940–1993 a) Karjalan kannaksen itäosissa b) Karjalan kannaksen länsiosissa c) Kaakkois-Suomessa (Lumme ym. 1997) ja d) Etelä-Suomessa (Mielikäinen ym. 1996).

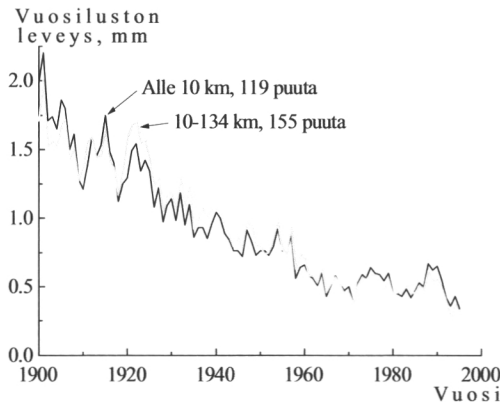
Männyn kasvun vaihtelu on ollut tehdyin selvityksen perusteella hyvin samankaltaista Pietarin lähialueilta Etelä-Suomeen. Tutkimus ei anna viitteitä siitä että ilmansaasteet olisivat heikentäneet puiden kasvua Karjalan kannaksella verraten korkeista laskeumista huolimatta.

552. Kostamuksen kaivoskombinaatin vaikutus männyn kasvuun.

Samaan tapaan kuin Karjalan kannaksella männyn sädekasvua tutkittiin Kostamuksen kaivoskombinaatista länteen suuntautuvalla linjalla. Tavoitteena oli selvittää tausta-

vot moninkertaisesti ylittävien rikki- ja kalsiumlaskeumien vaikutuksia alueen metsien kasvuun. Kasvukoealat sijoitettiin mahdollisimman koskemattomiin vanhoihin männikköihin. Noin puolet koealaloista sijaitsi alle 10 kilometrin etäisyydellä kombinaatista, etäisin koeala oli 134 kilometrin päässä.

Koska osa-alueet ovat hyvin samanikäisiä (keski-iat 113 ja 115 vuotta), niitä on perusteltua vertailla toisiinsa sellaisenaan. Mäntyjen sädekasvu on ollut kaivoksen lähellä hyvin samantyyppistä kuin kauempana siitä. Kuvassa 49 näkyy selvästi puiden sädekasvun iänmukainen hidastuminen, joka on ollut viimeisten kahden vuosikymmenen aikana vähäistä. Tämä on tosin osin näennäistä johtuen siitä että 1960-luku on ollut ilmastollisesti vähemmän suotuisa männyn kasvuille. Myös tämän vuosikymmenen alkuvuosina kasvu on heikentynyt sekä kombinaatin läheisyydessä että kauempana siitä. Ilmiö on todettu yleisemminkin Pohjois-Suomessa (Tomppo ja Henttonen 1996).

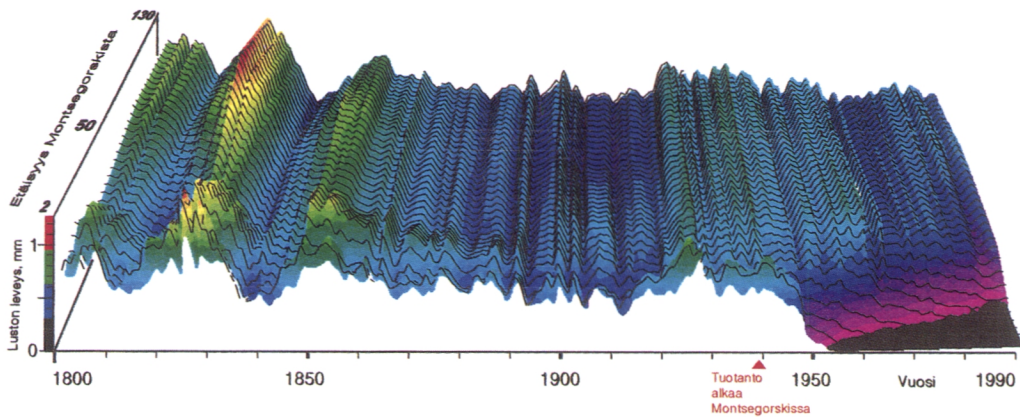


Kuva 49. Mäntyjen keskimääräinen sädekasvu alle 10 km:n etäisyydellä (tummempi viiva) ja 10–134 kilometrin etäisyydellä (vaaleampi viiva) Venäjän Karjalassa sijaitsevasta Kostamuksen kaivoskombinaatista (Niemistö, julkaisematon tieto 1996).

553. Kuolan niemimaan metsävauriot

Suomen lähialueiden merkittävimmät yksittäiset päästölähteet sijaitsevat Kuolan niemimaalla. Alueella on kaksi nikkelisulattaa Montsegorskin ja Nikelin kaupungeissa. Suurista tuotantomääristä, mutta erityisesti vanhanaikaisesta tuotantotekniikasta johtuen molemmat lukeutuvat koko Euroopan suurimpiin rikin päästölähteisiin. Sulattojen piipuista tupruaa noin kaksi kertaa niin paljon rikkidioksidia kuin koko Suomesta. Myös nikkeli- ja kuparipäästöt ovat olleet erittäin suuria. Päästöt ovat aiheuttaneet hyvin merkittäviä, satojen neliökilometrien suuruisia metsäkuolema-alueita kaupunkien ympäristöön (Tikkanen 1995).

Vuosilustoanalyysien perusteella metsävaurioiden on todettu alkaneen Montsegorskin alueella pian sulaton perustamisen jälkeen 1940-luvulla ja edenneen hitaasti yhä etäämmälle päästölähteestä. Kuvassa 50 on havainnollistettu kolmiulotteisesti männyn sädekasvua eri etäisyyksillä Montsegorskista. Kuvan oikeassa alalaidassa näkyy päästöjen aiheuttama kasvun hidastuminen ja päättyminen lähellä sulattoja. Metsät ovat tuhoutuneet lähes täydellisesti 7–10 kilometrin etäisyydelle kaupungista. Selviä merkkejä kasvun heikkenemisestä näkyy runsaan 30 kilometrin etäisyydellä. Koska kaupunki sijaitsee yli sadan kilometrin päässä Suomen rajalta, päästöjen vaikutukset eivät ulotu Suomen mäntyjen kasvuun.



Kuva 50. Kolmiulotteinen esitys männyn sädekasvusta (pysty akseli) jaksolla 1800–1990 (oikealta vasemmalle) suhteutettuna etäisyyteen Montsegorskista (etualalta taaksepäin) (Nöjd ym. 1996).

Toinen Kuolan sulatoista, Nikel, sijaitsee pohjoisimmassa Lapissa vain hieman yli 30 kilometrin etäisyydellä Suomen rajasta. Nikelin raskasmetallipäästöt ovat selvästi pienempiä kuin Montsegorskin, mikä ehkä selittää sen että vaikutukset metsäekosysteemiin ovat hieman vähäisempiä kuin Montsegorskissa. Nikelin päästöjen on todettu hidastaneen männyn kasvua, paitsi kaupungin ympäristössä, myös kapealla alueella Koillis-Norjassa. Suomen Lapin metsiin kasvuvaiikutukset eivät kuitenkaan ulotu.

56. Kasvutrendien mahdolliset syyt

56.1. Metsien käsittely ja luonnontuhot

Euroopan kasvutrenditutkimuksessa pyrittiin selvittämään kasvunmuutoksen mahdollista olemassaoloa ja syitä. Syyanalyseissä erityisen kiinnostavia olivat maaperän ja ilmakehän muutokset. Vaikka tutkimukset pyrittiinkin keskittämään luonnonmetsiin, ei ihmisen ja luonnon puustoon kohdistamien toimenpiteiden vaikutusta pystytty kokonaan eliminoimaan. Tämä koskee erityisesti alueellisesti kattavia inventointitutkimuksia sekä vanhoissa talousmetsissä tehtyjä tutkimuksia.

Eryityisesti 1970-luvulla tehdyt lentolannoitukset ovat saattaneet lisätä ainakin tilapäisesti Euroopan metsien kasvua. Valtakunnallisia metsäinventointeja tehtäessä lannoitukset eivät ole aina olleet tarkkaan tiedossa. Samoin metsänjalostuksen vaikutus uusien puusukupolvien tuotokseen on vaikeasti arvioitavissa. Sen sijaan lähimenneisyydessä tapahtuneet soiden ojitukset, vajaantuottoisten metsien uudistaminen, taimikoiden hoito ja harvennushakkuut ovat toimia, joiden jäljet pystytään inventoinneissa yleensä havaitsemaan ja ajoittamaan. Näidenkin toimenpiteiden kasvuvaiikutusten erittely ei kuitenkaan ole yksinkertaista.

Myös viimeisten sadan vuoden aikana tapahtuneilla maankäytön muutoksilla on ollut huomattava vaikutus metsämaan ravinteisuuteen ja tuotoskykyyn. Vielä sata vuotta sitten yleisen karikkeiden keruun loppuminen ja pitkään jatkuneen maatalouden köyhdyttämien niittyjen metsittyminen ovat lisänneet metsämaan ravinnevaroja erityisesti Keski-Euroopassa. Pohjoismaissa metsämaita köyhdytti vuosisatoja kestänyt kaskikulttuuri, jossa metsän poltto määrävälein toimi kuitenkin samalla maan happamuutta vähentävänä tuhkalannoituksena.

Metsänuudistamiseen liittyvällä maanmuokkauksella, vesakon- ja heinäntorjunnalla sekä varttuneempien metsiköiden harvennushakuilla on muutettu metsikön valo- ja lämpöilmastoa sekä ravinteiden kiertonopeutta. Myös soiden ojitus ja jokien rakennustyöt ovat vaikuttaneet pohjaveden pinnan muutosten kautta samaan suuntaan.

Metsänhoitotoimien ohella myös äkillisillä luonnontuhoilla saattaa olla pitkäaikainen, vaikeasti tulkittava vaikutus puiden kasvuun ja toipumiseen. Tuhoa seuraava kasvun aleneminen muuttuu normaalia nopeammaksi kasvun elpymiseksi tapauksissa, joissa osa puista kuolee vapauttaen kasvutilaa eloonjäävien puiden käyttöön. Tällaisia tuhoja aiheuttavat tuli, myrsky, lumi ja lumivyöryt sekä hyönteiset ja sienitaudit.

562. Ilmansaasteet ja ilmasto

Keski-Euroopan metsien selittämätön kasvun lisääntyminen erityisesti viime vuosikymmeninä viittaa johonkin ilmiöön tai yhdisteeseen, jota ei esiinny samassa määrin pohjoisempana. Tällainen aine on liikenteestä ja maataloudesta peräisin oleva typpi, jota on satanut Keski-Euroopassa vuosikymmenien ajan 15–40 kg hehtaarille vuodessa. ”Annostus” vastaa meikäläistä käytännön lannoitus-suositusta silloin, kun tavoitteena on puuntuotoksen lisääminen.

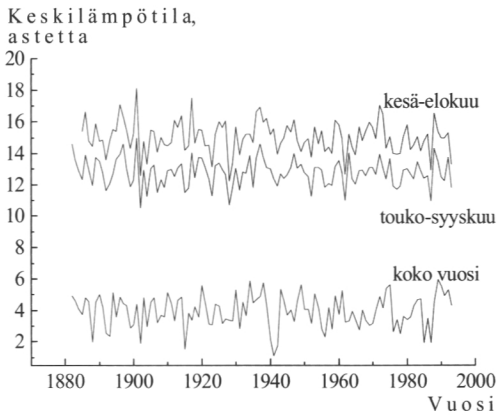
Ilmakehän hiilidioksidin lisääntyminen parantaa kasvien kasvua ja kuivuudensietokykyä. Hiilidioksidilannoitusta onkin tämän vuoksi jo pitkään käytetty kasvihuoneissa tuotettavien vihannesten sadon lisäämiseen. Arviot tällä vuosisadalla noin 20 prosentilla kohonneen hiilidioksidipitoisuuden mahdollisesta vaikutuksesta puiden kasvun lisääntymiseen ovat ristiriitaisia. Joidenkin käytännön kokeita tehneiden tutkijoiden mukaan kyseisen aineen vaikutus ei vielä näin pienillä pitoisuuden muutoksilla voi näkyä puiden vuosirenkaiden leveydessä.

Myös tämän tutkimuksen tulokset ovat hiilidioksidin osalta ristiriitaisia. Koska hiilidioksidin määrä on lisääntynyt maapallon laajuisesti, sen suorien vaikutusten pitäisi näkyä tai olla näkymättä samanlaisena kaikkialla. Ranskan Pyrenneitten vuoriston vähätyppisessä ilmastossa havaittiin selvä kasvun lisääntyminen, jonka mahdollisena syynä tutkijat pitivät hiilidioksidia. Suomen ja Venäjän Karjalan luonnonmetsissä koko kuluvan vuosisadan vakiona säilynyt kasvu ei tue ranskalaisia päätelmiä.

Edellä mainittujen, kasvua kiihdyttävien aineiden lisäksi metsätuhokeskusteluun on usein liitetty puiden terveyttä heikentävät rikkidioksidi ja otsoni. Näiden kaasumaisen aineiden tiedetään vahingoittavan suurina pitoisuuksina puiden neulasia ja lehtiä. Rikkiyhdisteet happamoittavat myös maata. Suurten päästölähteiden lähialueilla havaittuja kaasumaisen rikin aiheuttamia tuhoja lukuunottamatta rikin ja otsonin aiheuttamasta kasvun alenemisesta ei ole Euroopassa näyttöä. Tämä ei tarkoita sitä, etteivätkö kyseiset aineet voisi alentaa metsien kasvua. Nyt saatujen tulosten mukaan mahdollinen kasvun aleneminen peittyi ainakin toistaiseksi kasvua lisäävien aineiden vaikutusten alle.

Ilman epäpuhtauksien lisäksi säiden ja ilmaston pitkäaikaisvaihtelu ja mahdollinen muutos vaikuttavat puiden kasvuun. Vuosien tai korkeintaan vuosikymmenten välisen vaihtelun ohella ilmastossa on nähtävissä pidempiaikaisia muutoksia. Joidenkin keskieuropalaisten tutkimusten mukaan (Becker 1989) Ranskassa koko tämän vuosisadan lisääntynyt kasvu sopii yhteen suotuisammaksi muuttuneen ilmaston kanssa.

Myös Suomessa ilmastolla saattaa olla yhteyttä siihen, ettei puiden kasvu ole meillä lisääntynyt 5–10 kilon hehtaarikohtaisesta typpilaskeumasta huolimatta. Suomessa kesät ovat nimittäin olleet vuosina 1961–1990 keskimäärin viileämpiä kuin edellisellä 30-vuotiskaudella 1931–1960 (Kuva 51). Vii-



Kuva 51. Suomen ilmasto ei ole muuttunut tällä vuosisadalla trendinomaisesti. Vuosisadan lämpimimmän vuoden 1989 vastapainoksi vuodet 1985 ja 1987 kuuluvat Jokioisilta olevien tilastojen mukaan kaikkien aikojen kylmimpiin. Erityisen kylmiä ovat olleet kesät 1902, 1918, 1962 ja 1987; lämpimiä puolestaan kesät 1901, 1917 1937, 1972 ja 1988 (Vrt. kuvat 31 ja 32 kuusen kukkimisesta ja kasvusta).

leneminen on saattanut kumota typpilaskeuman kasvua lisäävän vaikutuksen.

57. Kasvun lisääntymisen vaikutus metsänhoitoon

Kasvupaikkojen tuotoskyvyn lisääntymisen monissa osissa Eurooppaa vaikuttaa jatkuessaan myös metsien hoitoon. Aluskasvillisuuden rehevöityminen ja metsien tiheneminen aiheuttavat vaikeuksia runsaasti valoa vaativille puulajeille. Taimikonhoitotöiden tarve tulee näin ollen lisääntymään metsänuudistamisessa.

Puulajien reagointi typpilannoitukseen ja typpilaskeumaan vaihtelee. Tämä tulee näkymään sekametsien luontaisessa kehityksessä puulajisuhteiden muutoksina. Nopeutuva kasvu edellyttää myös harvennushakuiden määrän ja voimakkuuden lisäämistä. Muussa tapauksessa tiheimmät, aiempaa pidemmiksi kasvavat metsät altistuvat myrsky- ja lumituhoille. Tämä on erityisen

todennäköistä Keski-Euroopassa, jossa puuta kasvaa hehtaarilla nykyisin yli kaksi kertaa niin paljon kuin Suomen metsissä.

Hyvä kasvu merkitsee yleensä myös nopeaa oksien kasvua. Entistä rehevämmin kasvavien puiden tekninen laatu saattaa jossakin määrin heiketä. On kuitenkin muistettava, että vaikutus on vähäinen, mikäli käytetään kasvupaikalle jo alun perin sopivia puulajeja. Suurin osa tämän päivän metsien laatuongelmista Suomessa aiheutuu männyn istutuksesta liian reheville kasvupaikoille. Levenevät vuosilustot eivät ole aina paha asia. Joillakin lehtipuuilla ja myös viilutettavilla havupuilla mahdollisimman leveät vuosirenkaat saattavat olla tavoiteltava ominaisuus. Kaikkein rehevimmillä metsämailla erityisesti Keski-Euroopassa liian nopea kasvu aiheuttaa kuusen sydänhalkeamia.

Puiden nopeutuva kasvu lyhentää puunkasvatuksen kiertoaikoja muutamalla vuosikymmenellä, mikäli tavoitteena ovat nykyisenlaiset järeydet. Vaihtoehtoisesti puuston järeys pätehdäksessä kasvaa. Joidenkin tutkimusten antamien viitteiden mukaan myös puiden kasvurytmi saattaa muuttua. Puut voivat saavuttaa kasvun maksimin nykyistä nuorempina. Toisaalta myös vanhojen puiden kasvu on Keski-Euroopassa nykyisin korkeammalla tasolla kuin ennen.

Lisääntyneen kasvun vaikutus metsien biologiseen monimuotoisuuteen riippuu kasvutrendin syistä, eri kasvilajien kasvupaikkavaatimuksista ja metsien käsittelystä. Kohonnut typpilaskeuma näkyy paikoitellen jo nyt typensuosijakasvien lisääntymisenä Keski-Euroopassa. Myös Suomessa VMI-mittaukset osoittavat mustikan runsastuneen metsissämme puolukan kustannuksella 1950-luvulta lähtien. Se, onko kyseessä metsämaiden rehevöityminen vai metsien tihentämisestä ja pimenemisestä aiheutunut ilmiö, on vielä epäselvää.

Metsien puulajisuhteiden muutokset ovat vaikeasti ennustettavia ja ne riippuvat puus-

ton käsittelystä. Metsien tiheneminen hakuiden jäädessä jatkuvasti vuotuista kasvua pienemmäksi vähentää metsien monimuotoisuutta hävittämällä valoa vaativia kasvilajeja. Toisaalta vanhojen metsien lisääntyminen vaikuttaa suotuisasti joihinkin vanhoihin puihin erikoistuneisiin kasvi- ja eläinlajeihin.

Euroopan metsävarojen lisääntyminen 25 prosentilla viimeisten 20 vuoden aikana on sitonut puustoon 70–100 miljoonaa tonnia ”ylimääräistä” hiiltä. Tämä on noin viisi prosenttia hiilestä, joka vastoin päästölaskelmia on hävinnyt jonnekin. Suurin hiilen nielu ovat kuitenkin valtameret, joihin on arveltu liuenneen 2–3 miljardia tonnia hiiltä. Metsiin sitoutuvan lisähiilen määrä on kuitenkin rajallinen. Mikäli puuta ei korjata ja käytetä pysyvästi hiiltä sitoviin tuotteisiin, alkaa metsien lahoaminen vapauttaa hiiltä yhtä paljon kuin se sitä sitookin.

6. TULOSTEN TARKASTELUA

Kasvun vaihtelu on metsätieteissä ja käytännön metsätaloudessa perinteisesti käsitetty **vuotuiseksi vaihteluksi**, jonka on katsottu häiritsevän eri aikoina mitattujen kasvutulosten vertailua. Niinpä kasvun vaihtelu on usein ”puhdistettu” tuloksista vuosilustoindeksien. Korjaus ns. kasvun ilmastolliseen keskitasoon on tehty muunmuassa koelamittauksiin, joiden perusteella on laadittu metsien tuotostaulukoita. Korjaus on taannut sen, etteivät mittausajankohdan poikkeavat sääolot pääse vaikuttamaan tuotostaulukoiden tasoon tai häiritsemään laadittavilla kasvumalleilla tehtäviä pitkänajan ennusteita.

Vuonna 1994 maan eteläpuoliskossa tehtiin metsävarojen ja metsien kasvun päivitysinventointi. Inventoinnin indeksikorjaamaton kasvuarvio osoitti ensimmäistä kertaa 1920-luvulta lähtien metsien kasvun alentuneen. Kasvun aleneminen kahden peräkkäisen 5-vuotisjakson välillä (1984–1988 ja

1989–1993) oli 1,7 miljoonaa m³ eli runsas kaksi prosenttia.

Kasvun aleneminen oli runsainta maan aivan eteläisimmässä osassa, jossa männyn, kuusen ja koivun paksuuskasvu oli pudonnut noin 10 prosenttia pitkäaikaisen keskitason alapuolelle. Mikäli viimeisimmän inventoinnin kasvuluvut korjattaisiin kasvun ilmastolliseen keskitasoon varovaisella 5 prosentin tasokorjauksella, olisi Suomen metsien kasvu ollut vuosina 1989–1994 noin 79–80 miljoonaa kuutiometriä vuodessa.

Se, ettei kasvun vuotuinen vaihtelu ole yleensä näkynyt inventointien kokonaistuloksissa aiheutuu osittain aiempien inventointien jaksottumisesta lähes kymmenen vuoden ajalle. Alueittain, puolajieittain ja vuosittain erilainen vaihtelu tasoittuu näin menetellen tehokkaasti. Nyt koko maassa samanaikaisesti tehty päivitys sai männyllä, kuusella ja koivulla yhtäaikaan 1990-luvun alussa sattuneen lamakauden näkymään täydellä painollaan lyhyessä, vain viittä vuotta koskevassa kasvuarviossa.

Puiden päivittäisen kasvun sekä kuoren kosteuden ja nestevirtausten aiheuttaman puun turpoamisen ja kutistumisen selvittäminen on tärkeää tutkittaessa ympäristön muutosten vaikutusta puiden terveydentilaan. Tähän tarkoitukseen kehitetty automaattinen kasvupanta poikkeaa aiemmista laitteista ratkaisevasti halvemman hintansa ja pienen kokonsa puolesta. Prototyypivaiheesta tutkimuskäyttöön siirtyvää pantaa tullaan käyttämään valtakunnallisessa kasvukauden seurannassa. Etelä- ja Pohjois-Suomen männikköihin ja kuusikkoihin ripustettavat pannat paljastavat kasvukauden alkamisen, kasvun kertymisen sekä kasvukauden päättymisen. Vertailu sää- ja saaste-tietoihin mahdollistaa kasvuun vaikuttavien tekijöiden tarkemman analysoinnin.

Kasvupantaa käytetään myös tutkittaessa kasvihuoneilmion mahdollisen voimistumi-

sen vaikutusta suomalaisiin puihin. Professori Olli Heikinheimon noin 70 vuotta sitten istuttamat alkuperäkokeet tarjoavat tähän erinomaiset mahdollisuudet. Kokeissa eri puolilta Suomea ja Eurooppaa olevia kuusia ja mäntyjä on istutettu koko maan alueelle etelärannikolta Lappiin saakka. Lapin, Etelä-Suomen ja Keski-Euroopan puu-alkuperien kasvureaktioiden vertailu etelässä antaa viitteitä siitä, miten Lapin puut tulevat menestymään kasvihuoneilmaston mahdollisesti voimistuessa ja vuoden lämpötilan noustessa. Kasvukauden alku ja loppu sekä puiden kuivuuden sieto ovat mielenkiintoisimmat tutkittavat asiat.

Euroopan metsien terveydentilan seuranta aloitettiin noin kymmenen vuotta sitten arvioimalla silmävaraisesti puiden neulamäärää sekä tutkimalla maaperän happamoitumista. Muutamana viime vuonna seurantaan osallistuvissa noin 30 maassa on perustettu tarkemman seurannan koealoja. Koemetsiköihin pystytetyt sääasemat mittaavat monia ilmakehään ja maahan liittyviä tekijöitä. Sää- ja saastetiedon merkityksen arvioimiseksi puista tai muusta kasvillisuudesta tehtävät samanaikaiset mittaukset ovat välttämättömiä. Suomessa tunnintarkat kasvumittaukset tehdään kehitetyillä kasvupannoilla.

Kasvupantojen käyttö ei rajoitu pelkästään kasvun toteamiseen. Pantamittaukset myöhemmin tehtäviin solututkimuksiin yhdistettynä mahdollistavat yksittäisten solukerosten syntyajankohdan määrittämisen. Soluseinämien paksuuden, soluonteloiden koon ja solujen muodon riippuvuus kasvukauden sääoloista ja saastelaskeumista voidaan tämän jälkeen selvittää. Tiedosta on hyötyä tutkittaessa muinaisten kesien säitä tai sitä, aiheutuiko vuosia tai vuosikymmeniä sitten sattunut metsätuho säistä vai saasteista.

Euroopan metsien kasvu on lisääntynyt viime vuosikymmeninä tavalla, jota ei ole mahdollista kokonaan selittää metsien hoi-

dolla tai metsien rakenteen muutoksilla. Se, aiheutuiko Keski-Euroopan metsien kasvun lisääntyminen ilmakehän typpilaskeumasta tai lisääntyneestä hiilidioksidipitoisuudesta, vai onko kyseessä ainakin osittain vuosikymmenten jaksoissa tapahtuva kasvun syklinen vaihtelu, jäi jatkotutkimusten selvitettäväksi. Se, ettei puiden kasvu ole lisääntynyt Pohjois-Euroopan luonnonmetsissä, viittaa typen osuuteen asiassa.

Lapin männylle laadittu lähes 2000 vuoden pitunen kasvusarja paljasti puiden kasvussa vuosikymmeniä kestäviä hyviä ja huonoja kausia, joiden syitä ei varmuudella tunneta. Heikon kasvun jaksoina myös metsien uudistuminen on ollut pohjoisessa heikkoa. Etelä-Suomessa sitävastoin kuusen huono kasvu ja runsaat siemensadot liittyvät yhteen.

Ilman epäpuhtauksien vaikutus puiden kasvuun ja niiden osuus metsäkuolemiin on selvä suurten saastelähteiden ympäristöissä. Suurimmat Euroopassa havaitut, saasteiden varmasti aiheuttamat tuhoalueet sijaitsevat Kuolan niemimaan nikkelisulattojen ympärillä. Montsegorskissa, noin 140 kilometriä Sallasta itään, Suomen kokonaispäästöjä suurempi pistemäinen rikkipäästö on tuhonnut metsät noin 5–7 kilometrin säteellä tehtaista. Vajaat 50 vuotta sitten alkanut sulaton toiminta näkyy 30–40 kilometrin etäisyydellä neulaskatona ja kasvun alenemisena.

Keski-Euroopan vuoristoalueilta löytyy vielä Kuolaakin suurempia tuhoalueita. Tyypillistä näille täystuhoille on äkillisyys, mikä viittaa säätekijöiden olevan osasyllisiä. Suurin tällainen tuho sattui vuodenvaihteessa 1978/79 Erzgebirgen vuoristossa silloisten Tsekkoslovakian ja Itä-Saksan rajalla. Ruskohiilivoimaloista tupruavan rikin heikentämät, rodulliselta alkuperältään tuntemattomat istutuskusikot eivät kestäneet yhdessä yössä lähes 30 astetta alentunutta lämpötilaa. Sitemmin alueelle istutetut nuoret metsät ovat menestyneet hyvin.

Puun kasvu on parhaita ympäristön tilan mittareita. Sen huomattavana etuna on tiedon automaattinen tallentuminen puun vuosirenkaisiin ja siellä oleviin yksittäisiin soluihin. Suurimmat ongelmat ovat tiedon lukeminen ja sen oikea tulkinta.

Kirjallisuus:

- Analysis of Dendrochronological Variability and Associated Natural Climates in Eurasia – the last 10 000 years (ADVANCE-10k). A research proposal submitted to The Commission of the European Communities, Directorate-General XII for Science Research and Development in the field of Environment and Climate (Area 1.1.2). The Climatic Research Unit, University of East Anglia, Norwich, U.K. 1995. April 1995.
- Badeau, V., Becker, M., Bert, D., Dupouey, J.-L., Lebourgeois, F. ja Picard, J.-F. 1996. Long-Term Growth Trends of Trees: Ten Years of Dendrochronological Studies in France: 167-181. Julkaisussa: Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M. & Skovsgaard, J. P. (toim.). 1996. Growth Trends of European Forests. Studies from 12 Countries. Springer-Verlag, Heidelberg-Berlin. European Forest Research Report 5:167-181.
- Barklund, P. 1995. Stress factors influencing host-pathogen interactions in coniferous forests in Northern Europe. IUFRO XX World Congress, 6-12 August 1995, Tampere.
- Becker, M. 1989. The role of climate on present and past vitality of silver fir forests in the Vosges mountains of north-eastern France. *Can. J. For. Res.* 19, p. 1110-1117.
- Bradley, R., S. 1985. Quaternary Paleoclimatology. Unwin Hyman, 472 s.
- & Jones, P.D. 1992. Climate since A.D. 1500. Montledge, London + New York.
- Broecker, W.S. 1995. Chaotic climate. *Scientific American*; November 1995.
- Cohen, T.J. and Lintz, P.R. 1974. Long term periodicities in the sunspot cycle. -*Nature*, Lond. 250:398-400.
- Cook, E. R. 1992. A Conceptual linear aggregate model for tree rings. Julkaisussa: *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences.* Cook, E. R. & Kairiukstis, L. A. (toim.) Kluwer Academic publishers. International Institute for Applied Systems Analysis. s. 98-104. ISBN 0-7923-0586-8.
- Cropper, J. P. 1979. Tree-Ring Skeleton Plotting by Computer. Julkaisussa: *Tree-Ring Bulletin*, Vol.30. 1979. Laboratory of Tree-Ring Research, Arizona University.
- Dean, J.S. 1986. Dendrochronology. Julkaisussa: Zimmerman, M. R. ja Angel J. L. (toim.). *Dating and Age Determination of Biological Materials.* Croom Helm, London. s. 126-165.
- Donner, J. 1974. Klimatförändringarna efter senaste istid. *Societas Scientiarum Fennica. Årsbok – Vuosikirja 51 B 7: 1-10.*
- Douglass, A. E. 1909. Weather cycles in the growth of big trees. *Month. Weath. Rev.* 37.
- 1914. A method of estimating rainfall by the growth of trees. In: E. Huntington (ed.), *The climatic factor.* Carnegie Institution of Washington Publication 192, Washington, DC, USA.
- Elfving, B. & Tegnhammar, L. 1996. Trends of tree growth in Swedish forests 1953-1992: an analysis based on sample trees from the National Forest Inventory. *Scand. J. For. Res.* 11: 26-37.
- Eronen, M. 1981. Ilmaston vaihtelut ja pohjoisimmat mäntymetsät. *Lapin tutkimusseura Vuosikirja XXII* 1981.
- Eronen, M. 1991. Jääkausien jäljillä. *Ursan julkaisuja* 43. Tähtitieteellinen yhdistys Ursa. Helsinki 1991.
- Heikinheimo, O. 1915. Kaskiviljelyn vaikutus Suomen metsiin. Referat: Der Einfluss der Brandwirtschaft auf die Wälder Finnlands. *Acta Forestalia Fennica* 15.

- nica 4(2), 264 s. + 149 s. (liite) + 59 s.
- Heikkinen, O. 1984. Dendrokronologian menetelmiä ja sovellutuksia. (Methods and applications of dendrochronology). Terra 96: 1, pp.1-22.
- Henttonen, H. 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 No. 25: 1-88.
- Huikari, O. & Paarlahti, K. 1967. Results of field experiments on the ecology of pine, spruce and birch. Seloste: Kenttäkokeiden tuloksia männyn, kuusen ja koivun ekologiasta. Commun. Inst. For. Fenn. 64.1, 135 s.
- Hustich, I. 1940. Tallstudier sommaren 1939 i Enare och Utsjoki. Acta Soc. pro F. Fl. Fenn. 62.6.
- 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.
- 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.
- Imbrie, J. & Imbrie, K. P. 1979. Ice Ages. Solving the mystery. 201 s. MacMillan Press.
- Jalkanen, R. & Kurkela, T. 1990. Revealing past needle retention in *Pinus* spp. Scand. J. For. Res. 5:481-485.
- Johnsen, S.J., Dansgaard, W., Glansen, H.B. & Langway, C.C. 1970. Climatic Oscillations 1200-200 AD. Nature 227 (482).
- Kangas, E. 1946. Kuusikoiden kuivumisesta metsätuho- ja metsänhoidollisena kysymyksenä. Referat: Über die Vertrocknung der Fichtenbestände als Waldkrankheit- und Waldbaufrage. Acta Forestalia Fennica 47, 192 s.
- Kauppi, P.E., Mielikäinen, K. & Kuusela, K. 1992. Biomass and carbon budget of European forests, 1971 to 1990. Science 256:70-74.
- Kuusela, K. 1994. Forest Resources in Europe 1950-1990. European Forest Institute Research Report 1, 154 p.
- Leikola, M. 1969. The Influence of Environmental Factors on the Diameter Growth of Forest Trees. Auxanometric Study. Acta For. Fenn. 92:1-144.
- Lindgren, M. ja Salemaa, M. 1997. Metsien elinvoima. Ympäristö 4:21-24.
- Lindholm, M. 1996. Reconstructions of past climate from ring-width chronologies of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) at the northern forest limit in Fennoscandia. Joensuu yliopiston luonnontieteellisiä julkaisuja 40, 169 s.
- , Timonen, M. & Meriläinen, J. 1996. Extracting mid-summer temperatures from ring-width chronologies of living pines at the northern forest limit in Fennoscandia. Dendrochronologia 14, 1996 (1997):1-15.
- Lumme, I., Arkhipov, V., Nöjd, P. & Yarmishko, V. 1997. Effects of air pollution load on condition of Scots pine (*Pinus sylvestris*, L.) stands in the Karelian Isthmus, N.-W. Russia, and southeastern Finland. In: BIOGEMON, 3rd International Symposium on Ecosystem Behaviour, June 21-25, 1997, Villanova, U.S.A. Journal of Conference Abstracts 2(2): 238. Cambridge Publications. Cambridge, UK.
- Melander, K.R. & Melander, G. 1924. Kato-vuosista Suomessa. Oma maa 5:350-359.
- Metsätilastollinen vuosikirja 1996. Metsäntutkimuslaitos, 352 s.
- Mielikäinen, K. 1990. Menetetäänkö Suomen metsät? Isäntäakatemia 1990. Etelä-Pohjanmaan kesäyliopisto, Kurikka 1990:68-76.
- Mielikäinen, K. & Timonen, M. 1996. Growth trends of Scots pine in unmanaged and regularly managed stands in Southern and Central Finland. Julkaisussa: Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M. & Skovsgaard, J.P. (toim.).

- Growth trends of European forests. Studies from 12 Countries. Springer-Verlag, Heidelberg-Berlin. EFI Research Report 5:41-59.
- Mielikäinen, K., Timonen, M. & Nöjd, P. 1996. Männyn ja kuusen kasvun vaihtelu Suomessa 1964-1993. *Folia Forestalia Metsätieteen aikakauskirja* 1996 (4):309-320.
- Mikola, P. 1950. Puiden kasvun vaihtelusta ja niiden merkityksestä kasvututkimuksissa. Summary: On variations in tree growth and their significance to growth studies. *Commun. Inst. For. Fenn.* 38.
- 1952. Havumetsien viimeaikaisesta kehityksestä metsänrajaseudulla. Summary: On the recent development of coniferous forests in the timber-line region of northern Finland. *Commun. Inst. For. Fenn.* 40,2.
- Mäkinen, K. 1982. Tiedonanto Vuotson interglasiaalisesta lehtikuusen rungosta. *Geologi* 34:183-185.
- National Geophysical Data Centerin (NDGC) Internet-tietopalvelut 1998. WWW-osoite:<http://www.ngdc.noaa.gov/ngdc.html>
- Nöjd, P. 1990. Detecting Forest Growth Responses to Environmental Changes - a Review of Finnish Studies. Julkaisussa: Pekka Kauppi (toim.). *Acidification in Finland*, Springer Verlag, s. 507-522.
- Nöjd, P., Mikkola, K. ja Saranpää, P. 1996. History of forest damage in Monchegorsk, Kola; a retrospective analysis based on tree rings. *Can. J. For. Res.* 26.10:1805-1812.
- Pohtila, E. 1978. Ilmaston vaihtelu ja normaalmetsä. *Luonnon Tutkija* 82:44-48.
- Pohtila, E. 1981. Suurilmaston vaihtelun syy-yhteyksistä. *Lapin tutkimusseuran vuosikirja* -75.
- Pretzsch, H. 1996. Growth trends of forests in Southern Germany. Julkaisussa: Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M., Skovsgaars, J.P. (toim.) *Growth Trends of European Forests. Studies from 12 Countries.* Springer-Verlag, Heidelberg-Berlin. European Forest Research Report 5:107-131.
- Schneider, O. ja Hartmann, P. 1996. Growth Trends of Trees. Regional Study on Norway Spruce (*Picea abies*, (L.) Karst.) in the Swiss Jura. Julkaisussa: Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M. & Skovsgaard, J. P. (toim.). *Growth Trends of European Forests. Studies from 12 Countries.* Springer-Verlag, Heidelberg-Berlin. European Forest Research Report 5:183-198.
- Schulman, E. 1958. Bristlecone Pine, Oldest Known Living Thing. *National Geographic* 1958:355-372. The National Geographic Society.
- Schweingruber, F.H., Eckstein, D., Serre-Bachet, F. ja Bräker, O. U. 1990. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia* 8/1990. 39 s.
- Schweingruber, F.H., Briffa, K.R. ja Jones, P.D. 1991. Yearly maps of summer temperatures in Western Europe from A.D. 1750 to 1975 and Western North America from 1600 to 1982: results of a radiodensitometrical study on tree-rings. *Vegetatio* 92:5-71.
- Siren, G. 1961. Skogsgränstallen som indikator för klimatfluktuationerna i norra fennoskandien under historisk tid. *Commun.Inst. Forest. Fenn.* 54(2),1-66.
- Spiecker, H. 1995. Growth dynamics in a changing environment-long-term observations. *Plant and Soil* 168-169: 555-561.
- Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M. & Skovsgaard, J. P. (toim.). 1996. *Growth Trends of European Forests. Studies from 12 Countries.* Springer-Verlag, Heidelberg-Berlin. 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 For.* 407:1-12.

- Tikkanen, E. (toim.). 1995. Kuolan saaste-
päästöt Lapin metsien rasiitteena. Itä-Lap-
pin metsävaurioprojektin loppuraportti.
Gummerus kirjapaino. Jyväskylä 1995,
232 s.
- Timonen, M. 1995. Climatic variations du-
ring the last 500 years in Finnish Lap-
land: an approach based on the tree rings
of Scots pine. Julkaisussa: Heikinheimo,
P. (toim.). International conference on
past, present and future climate. Procee-
dings 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 vii-
meisen 500 vuoden aikana. Julkaisussa:
Hökkä, H., Salminen, H. & Varmola, M.
(toim.). Pohjoisten metsien kasvu – en-
nen, nyt ja tulevaisuudessa. Metsäntut-
kimuspäivä Rovaniemellä 1996. Met-
säntutkimuslaitoksen tiedonantoja
589:32-41.
- Tomppo, E. ja Henttonen, H. 1996. Suomen
metsävarat 1989-1994 ja niiden muu-
tokset vuodesta 1951 lähtien. Metsäti-
lastotiedote 354, 18 s.
- Zetterberg, P., Eronen, M. ja Lindholm, M.
1996. Construction of a 7500-year tree-
ring record for Scots pine in northern
Fennoscandia and its application to
growth variation and palaeoclimatic stu-
dies. Julkaisussa: Spiecker, H., Mieli-
käinen, K., Köhl, M. & Skovsgaard, J.P.
(toim.). Growth trends of European fo-
rests. Studies from 12 Countries. Sprin-
ger-Verlag, Heidelberg-Berlin. EFI Rese-
arch Report 5:7-18.

Kansikuvat: M. Timonen

ISBN 951-40-1644-0

ISSN 0358-4283