



Mikko Kukkola



Pekka Nöjd

Mikko Kukkola ja Pekka Nöjd

Kangasmetsien lannoitusten tuottama kasvunlisäys Suomessa 1950–1998

Kukkola, M. & Nöjd, P. 2000. Kangasmetsien lannoitusten tuottama kasvunlisäys Suomessa 1950–1998. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2000: 603–612.

Tutkimuksessa selvitettiin vuosina 1950–1998 suoritettujen kangasmaiden lannoitusten vaikutusta metsien kasvuun Suomessa. Arvio perustuu Kukkolan ja Saramäen (1983) kasvunlisäysmalliin, joka ennustaa lannoituksella saavutettavaa hehtaarikohtaista kasvureaktiota käyttäen lähtötietoina kasvupaikkaa ja puustoa kuvaavia tietoja sekä lannoitemäärää ja -lajia. Lisäksi lähtötietoina käytettiin metsätilastojen tietoja vuotuisista kangasmetsien lannoituspinta-aloista. Kangasmaiden lannoitusten arvioidaan lisänneen Suomen metsien kasvua yhteensä 16,2 miljoonaa kuutiometriä vuosina 1950–1998. Lisäys on kertynyt noin 35 vuoden aikana, sillä ennen vuotta 1965 metsänlannoitustoiminta oli vähäistä. Suurimmillaan vuotuinen kasvunlisäys oli 1970-luvun loppuvuosina, jolloin lannoitukset lisäsivät metsiemme kasvua noin miljoonalla kuutiometrillä vuosittain. Tutkimuksessa testattiin lisäksi laskelmassa käytettyjen lähtöoletusten vaikutusta lopputulokseen.

Asiasanat: metsänlannoitus, kasvu, tyyppi, kangasmetsä, Suomi

Yhteystiedot: Metla, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, 01301 Vantaa

Faksi (09) 8570 5361, sähköposti mikko.kukkola@metla.fi, pekka.nojd@metla.fi

Hyväksytty 4.12.2000

I Johdanto

Metsänlannoitus yleistyi Suomessa 1960-luvulla, jolloin metsiemme puuntuotosta pyrittiin lisäämään voimakkaasti metsänparannustoimien avulla. Lannoitus nähtiin nopeimpana keinona lisätä vuotuista kasvua ja kestävä hakuu-

suunnitetta. Turvemailla pyrittiin muihinkin päämääriin: luomaan puustolle kasvuedellytyksiä korjaamalla vakavia ravinnepuutoksia.

Varhaisissa puuntuotanto-ohjelmissa lannoitettaviksi suunniteltiin nykyäkökulmasta tarkastellen mittavia pinta-aloja. MERA I -ohjelmaan sisältyvä 30 000 ha:n lannoitusala vuodelle 1965 oli MERA

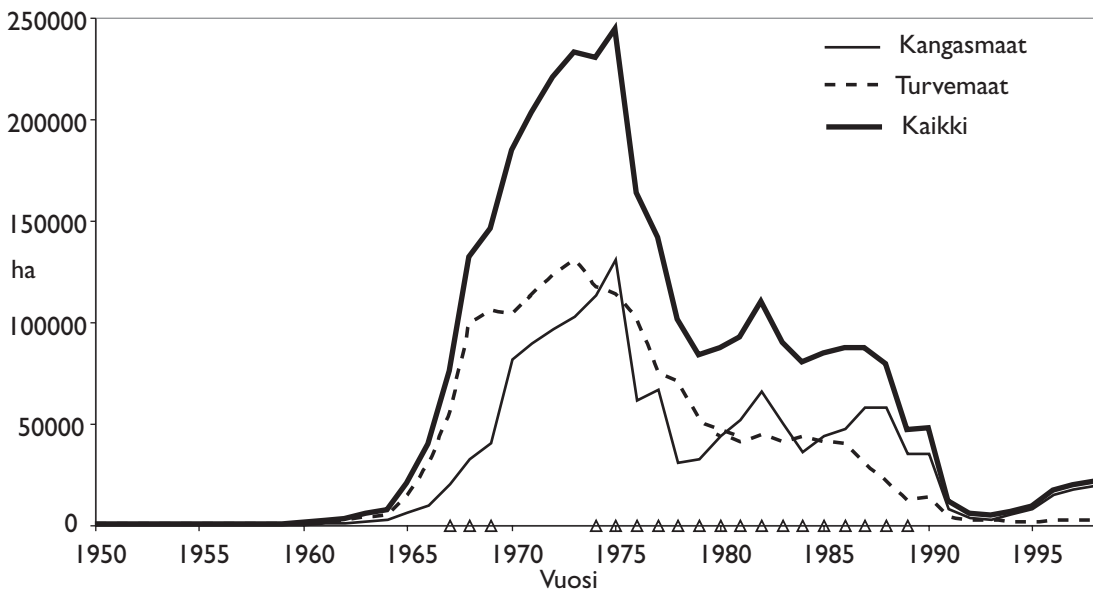
III:n tavoitteenasettelussa kasvanut 550 000 ha:ksi vuodelle 1975 (MERA ... 1964, MERA ... 1969). Lannoituspinta-alat kasvoivatkin tuolloin nopeasti, mutta eivät kuitenkaan puuntuotanto-ohjelmissa kaavailtuihin mittoihin. Maksimi saavutettiin 1970-luvun puolivälissä, jolloin kangasmaiden ja soiden yhteenlasketut lannoituspinta-alat olivat lähes 250 000 ha vuodessa (kuva 1).

Metsä 2000 -ohjelmassa lannoitus nähtiin edelleen merkittäväksi keinoksi lisätä metsien kokonaiskasvua. Vuotuiseksi lannoituspinta-alaksi kaavailtiin 190 000 ha jaksolle 1986–1995 ja 220 000 ha vuosille 1996–2005 (Talousneuvosto 1985). Näistä tavoitteista jäätin kuitenkin merkittävästi jo alkuvuosina ja 1990-luvulla lannoituspinta-alat laskivat edelleen voimakkaasti (kuva 1). Vuosina 1992–1994 lannoitettiin vain noin 5 000 ha vuosittain. Sen jälkeen on havaittavissa hienoista kasvua vuoden 1998 noin 21 000 hehtaariin (Metsätilastollinen vuosikirja 1999). Viime vuosina lannoitus on siis ollut varsin vähäistä huippuaikoihin verrattuna. Lannoitustavoitteiden toteutumatta jääminen todettiinkin Metsä 2000 -ohjelman tarkistustoimikunnan mietinnössä (Metsä 2000 -ohjelman ... 1992).

Kansallisessa metsäohjelmassa (Reunala ym. 1999) kasvatuslannoitusten todetaan kuuluvan metsänomistajan päätettäviin ja rahoitamiin toimenpiteisiin – valtion tukea on tarjolla vain terveyslannoituksiin. Metsätalouden alueellisten tavoiteohjelmien perusteella arvioidaan, että kasvatuslannoituksia tullaan tekemään noin 15 000 hehtaarilla ja kunnostuslannoituksia noin 7 000 hehtaarilla vuosittain. Aiempiin puuntuotanto-ohjelmiin verrattuna nämä pinta-alat ovat varsin pieniä; ne vastaavat viime vuosina toteutuneita lannoitusaloja.

Huoli ympäristömuutosten vaikutuksista on tuonut metsänlannoitusten puuntuotannollisten tavoitteiden rinnalle muitakin päämääriä. Metsätalouden ympäristöohjelmassa (Metsätalous ja ympäristö, 1994) terveyslannoituskohteita pidetään ensisijaisina ja korostetaan, että niiden valintakriteerit tulisi eriyttää kasvatuslannoituskohteista. Myös tuhkalannoituksen käyttöä tulisi edistää maan happamuutta vähentävän vaikutuksen vuoksi. Lisäksi ohjelmassa kiinnitetään huomiota vesiensuojelunäkökohtiin vesistöjen ja pohjavesialueiden läheisyydessä sijaitsevilla metsänlannoituskohteilla.

Metsänlannoituksilla on ollut merkittävä osuus



Kuva 1. Lannoitettujen kangas- ja suometsien kokonaispinta-ala Suomessa vuosina 1950–1998. Lannoitusten kokonaispinta-alat on poimittu kunkin vuoden Metsätilastollisista vuosikirjoista. Lisäksi vuosikirjoihin on tilastoitu metsänlannoitusalan jakautuminen kangas- ja suometsiin vuosille 1967–1969 ja 1974–1989 (merkitty kuvaan kolmiolla). Muille vuosille jaottelu on arvioitu.

etenkin vanhemmissa puuntuotannon tehostamiseen tähtäävissä metsäohjelmissa. Siksi on mielenkiintoista arvioida, kuinka merkittävästi toteutuneet lannoitukset ovat lisänneet metsiemme kasvua eri vuosina.

Turvemaiden lannoituksen vaikutuksia puun kasvuun on selvitetty monipuolisin kenttäkokein aina vuosisadan alkupuolelta lähtien. Koetulosten perusteella voidaan kohtuullisen hyvin arvioida erilaisilla lannoitetyypeillä ja -määrillä saavutettava kasvunlisäys soilla eri ilmastovyöhykkeissä. Näiden tietojen pohjalta on myös arvioitu suometsien lannoitusten kokonaisvaikutuksia. Viimeisimmän arvion mukaan turvemaiden lannoituksilla saavutettu kasvunlisäys on ollut suuruusluokkaa 40–50 miljoonaa m³ (Moilanen 1998).

Kangasmetsien lannoituksilla saavutettavia kasvunlisäyksiä on niinkään tutkittu monipuolisin, pitkäaikaisin kenttäkokein. Erityyppisillä kohteilla saavutettava kasvunlisäys tunnetaan niiden perusteella hyvin. Kangasmetsien lannoitusten vaikutuksista metsiemme kokonaiskasvuun ei kuitenkaan ole esitetty täsmällisiä arvioita kirjallisuudessa. Tutkimuksemme tarkoituksena on arvioida kuinka paljon lannoitus on lisännyt kangasmetsien kasvua Suomessa vuosina 1950–1998.

2 Aineisto ja menetelmät

Laskelmamme pohjautuu kokeellisiin tuloksiin lannoitusten tuottamasta lisäkasvusta ja tilastotietoihin kangasmetsien vuotuisista lannoituspinta-aloista. Käytimme Kukkolan ja Saramäen (1983) malleja, jotka ennustavat kangasmetsien lannoituksilla saavutettavaa vuotuista kasvunlisäystä. Mallit pohjautuvat Metsäntutkimuslaitoksen toistuvasti lannoitettujen kokeiden verkostoon, joka sisältää 66 metsikköä maan eri osissa. Männikoille ja kuusikoille on laadittu erilliset mallit, jotka ennustavat kasvunlisäystä käyttäen selittävinä muuttujina lannoituskäsitteilyjä, kasvupaikkaa ja metsikön puustoa kuvaavia tietoja.

Kasvunlisäysmallin rakenne on seuraava:

$$\Delta I_t = A \cdot B \quad (1)$$

jossa

ΔI_t = lannoituksen aiheuttama kasvunlisäys vuonna t, m³/ha

A = lannoitemäärän ja -lajin sekä lannoituksesta kuluneen ajan vaikutus kasvunlisäykseen

B = metsikön puustotunnusten ja kasvupaikan viljavuuden vaikutus lannoituksella saatavaan kasvunlisäykseen

$$A = f(i, F) \quad (2)$$

i = i:s kasvukausi lannoituksen jälkeen

F = käytetty lannoitemäärä (kg N/ha), kuusella muuttujana lisäksi mahdollinen fosforilannoitus

$$B = f(N, H_{\text{dom}}) \cdot f(H_{100}) \quad (3)$$

N = runkoluku, kpl/ha

H_{dom} = valtapituus, 100:n paksuimman puun keskipituus hehtaarilla, m (laskelmassa valtapituus arvioidaan metsikön iän ja boniteetin perusteella)

H_{100} = pituusboniteetti; valtapituus 100 vuoden iällä, m

Kukkola ja Saramäki (1983) tarkastelivat alueellisuuden vaikutusta metsänlannoituksilla saavutettavaan kasvunlisäykseen jakamalla koeala-aineistonsa kahteen osaan. Jakoperusteena käytettiin 1 000 d.d.:n lämpösummakäyrää; käytännössä raja kulkee noin Oulujärven tasolla. Kasvunlisäysmalli laadittiin rajan eteläpuolella sijaitsevien mittausaineistojen pohjalta. Rajan pohjoispuolisissa aineistoissa mitattu kasvunlisäys oli noin 2/3 mallin avulla ennustetusta.

Käytimme samaa jaottelua kuvaamaan lannoituskohteiden sijainnin vaikutusta lannoitustulokseen, eli tulokset laskettiin kahdelle ositteelle: 1 000 d.d.:n rajan etelä- ja pohjoispuolisille alueille. Metsätilastollisissa vuosikirjoissa on useimmille vuosille julkaistu lannoituspinta-alat piirimetsälautakunnittain, joten tätä jakoa on helppo noudattaa myös laskelmissamme. Jaksolle 1950–1964 tätä erittelyä ei kuitenkaan ollut käytettävissä, joten lannoitusten jakauma Pohjois- ja Etelä-Suomen välillä jouduttiin arvioimaan.

Suomessa 1950–1998 lannoitettuun metsäpinta-alaan on sisällytetty hyvin erityyppisiä metsiä. Käytettävissä ei ole tilastoja, jotka kuvaisivat eri vuosina lannoitetun metsäalan jakaumaa boniteetin, valtapituuden tai runkoluvun suhteen. Tästä johtuen laskelmamme metsänlannoituksella tuotetusta kasvulisäyksestä perustuu arvioon keskimääräisen lannoituskohteen puustosta ja kasvupaikasta, jotka on oletettu muuttumattomiksi jaksolla 1950–1998. Puulajien osuuden arvioitiin kuitenkin vaihdelleen (kuva 2c).

Mallin edellyttämät puustotunnukset on oletettu seuraavanlaisiksi:

	Etelä-Suomi	Pohjois-Suomi
Pituusboniteetti, H_{100} (m)	24	18
Runkoluku, N (kpl/ha)	900	700
Ikä (v)	60	80

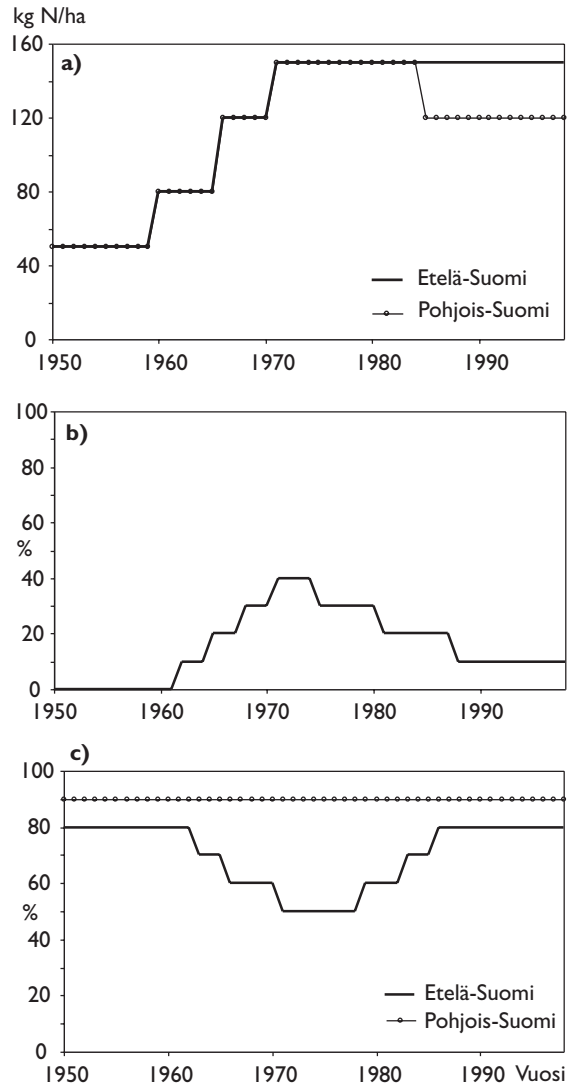
Puustotunnukset oletettiin samoiksi lannoitetuissa männiköissä ja kuusikoissa. Pituusboniteetti 24 vastaa Etelä-Suomessa kuivahkon kankaan männiköitä ja tuoreiden kankaiden kuusikoita (Vuokila ja Väliaho 1980). Testasimme myös puustotunnuksiin liittyvien oletusten vaikutusta lopputulokseen. Tämä tehtiin toistamalla laskelma seuraavia tunnusyhdistelmiä käyttäen:

	Vaihtoehto 1		Vaihtoehto 2		Vaihtoehto 3	
	E.-S.	P.-S.	E.-S.	P.-S.	E.-S.	P.-S.
Pituusboniteetti, H_{100}	24	18	21	15	27	21
Runkoluku, N	1200	1000	700	600	1000	800
Ikä	45	60	60	80	60	80

E.-S. = Etelä-Suomi, P.-S. = Pohjois-Suomi

Vaihtoehto 1:ssä keskimääräinen lannoituskohte oletettiin nuoremaksi kuin perusvaihtoehdossa; tällöin on luonnollista käyttää laskelmassa suurempaa runkolukua. Toisessa vaihtoehdossa testattiin, millaiseksi tulos muodostuisi, jos lannoitetut metsiköt olisivat keskimäärin perusvaihtoehtoa selvästi karumpia ja vähäpuustoisempia. Vaihtoehto 3 kuvaa tilannetta, jossa lannoitukset olisivat keskittyneet runsasravinteisille ja -puustoisille kasvupaikoille.

Valitsemamme perusvaihtoehto vastaa varttunutta, tuotoskyvyltään keskinkertaista metsikköä, jonka puuston tiheys on metsänhoitosuosituksen mu-



Kuva 2. Laskelman edellyttämien aikaan sidottujen teki-
joiden arvioitu kehitys vuosina 1950–1998.

- Lannoiteannoksen sisältämä typpimäärä (kg/ha).
- Urean osuus kangasmailla käytetyistä typpilannoitteista.
- Männiköiden osuus kangasmaiden lannoituspinta-alasta.

kainen. Tämän tyyppiset metsiköt on kenttäkokeissa todettu hyvä tuottoisiksi lannoituskohteiksi, joten on todennäköistä, että lannoitukset ovat keskittyneet niihin erityisesti viime vuosikymmeninä. On vaikeaa arvioida, millaisia metsiköitä lannoitettiin varhaisempina vuosikymmeninä, jolloin valintojen pohjaksi oli käytettävissä vähemmän tutkimustie-

toa. Todennäköistä on, että toiminnan ollessa laajimmillaan jouduttiin valitsemaan myös kasvureaktion kannalta vähemmän suotuisia kohteita. Ilmeinen esimerkki ovat taimikoiden lannoitukset, joita harjoitettiin 1970-luvun alkupuolella, joskin pienillä pinta-aloilla (esim. Metsätilastollinen vuosikirja 1973).

Lannoituskohteiden puuston lisäksi olemme joutuneet arvioimaan käytettyjä lannoitemääriä ja -lajeja. Metsänhoitosuositusten mukaiset lannoitemäärät ovat kasvaneet merkittävästi tarkasteltavalla jaksolla, sillä tutkimukset osoittivat lannoitusreaktion lisääntyvän suoraviivaisesti alkuvaiheessa käytettyjä lannoitemääriä huomattavasti suuremmillakin kerta-annoksilla. Olemme suositusten perusteella arvioineet keskimääräiset lannoiteannokset Etelä- ja Pohjois-Suomessa eri vuosina (kuva 2a). Pohjois-Suomessa päädyttiin 1980-luvulla alempiin tyyppimääräsuosituksiin suurten tyyppimäärien etenkin nuorissa puustoissa aiheuttamien latvavaurioiden takia (Lipas ym. 1983).

Olemme olettaneet, että urealannoitusta käytettiin runsaimmin 1970-luvulla (kuva 2b), jolloin myös lannoituspinta-alat olivat suurimmillaan. Typen mahdollisen haihtumisen vuoksi urealla saadaan keskimäärin heikompi kasvunlisäys kuin muilla tyyppilannoitelajeilla (Kukkola ja Saramäki 1983). Toisaalta koetoinnassa urealannoitukset tehtiin keväisin. Myöhempien tulosten mukaan syyslevitys olisi tuottavampi vaihtoehto (Lipas 1988).

Käytännön lannoituskohteet ovat olleet lähes yksinomaan männiköitä ja kuusikoita. Näiden puulajien lannoitusreaktio poikkeaa toisistaan: männiköissä kasvu lisääntyy alkuvuosina nopeammin, kuusikoissa vaikutus on sen sijaan pitkäkestoisempi. Kukkolan ja Saramäen (1983) kasvunlisäysmallit on tästä syystä laadittu erikseen näille kahdelle puulajille. Arvioimme että kuusikoiden osuus olisi ollut suurimmillaan vilkkaimman lannoitustoiminnan aikaan 1970-luvulla (kuva 2c), eli uusia kohteita olisi valittu viljavammilta mailta.

Vuotuiset kasvunlisäykset on laskettu seuraavasti:

$$\Delta Itot_t = \sum_{j=t-11}^t (A(\text{mänty})_j \cdot \Delta I(\text{mänty})_{jt}) + \sum_{j=t-11}^t (A(\text{kuusi})_j \cdot \Delta I(\text{kuusi})_{jt}) \quad (4)$$

$\Delta Itot_t$	= lannoituksilla aikaansaatu kasvunlisäys vuonna t
$\Delta I(\text{mänty})_{jt}$	= vuonna j suoritettujen lannoitusten kasvua lisäävä vaikutus männiköissä vuonna t, m ³ /ha
$\Delta I(\text{kuusi})_{jt}$	= vuonna j suoritettujen lannoitusten kasvua lisäävä vaikutus kuusikoissa vuonna t, m ³ /ha
$A(\text{mänty})_j$	= vuonna j lannoitettujen kangasmaiden männiköiden pinta-ala, ha
$A(\text{kuusi})_j$	= vuonna j lannoitettujen kangasmaiden kuusikoiden pinta-ala, ha

Laskelmassa siis arvioitiin lannoitusten vaikuttavan kasvua lisäävästi kahdentoista vuoden ajan – jakson viimeisinä vuosina mallin ennustamat kasvunlisäykset ovat tosin hyvin vähäisiä. Tulokset on laskettu erikseen Etelä- ja Pohjois-Suomelle.

Tarkastelujaksolla lannoituspinta-alojen tilastointitapa on vaihdellut huomattavasti (Metsätilasto 1965; Metsätilasto ... 1967, Metsätilastolliset vuosikirjat 1968–1999). Laskelmamme kannalta oleellisin tieto, lannoitusalan jakautuminen kangas- ja suometsiin, on käytettävissä vain vuosille 1967–1969 sekä 1974–1989. Muiden vuosien osalta kangasmetsien osuus jouduttiin arvioimaan. Ennen vuotta 1967, samoin kuin 1990-luvulla lannoituksia tehtiin varsin vähän (kuva 1). Vuosien 1970–1973 osalta ongelma on merkittävämpi.

Puuttuvien vuosien osalta vuosikirjat kuitenkin sisältävät tietoja lannoitusalojen jakautumisesta eri työläjien (uudistamis-, perus- ja kasvatuslannoitus) sekä omistajaryhmien (valtio, yhtiöt, yksityiset) kesken. Näitä tietoja on käytetty apuna arvioitaessa lannoituspinta-alojen jakaumaa kangas- ja suomet-sien kesken.

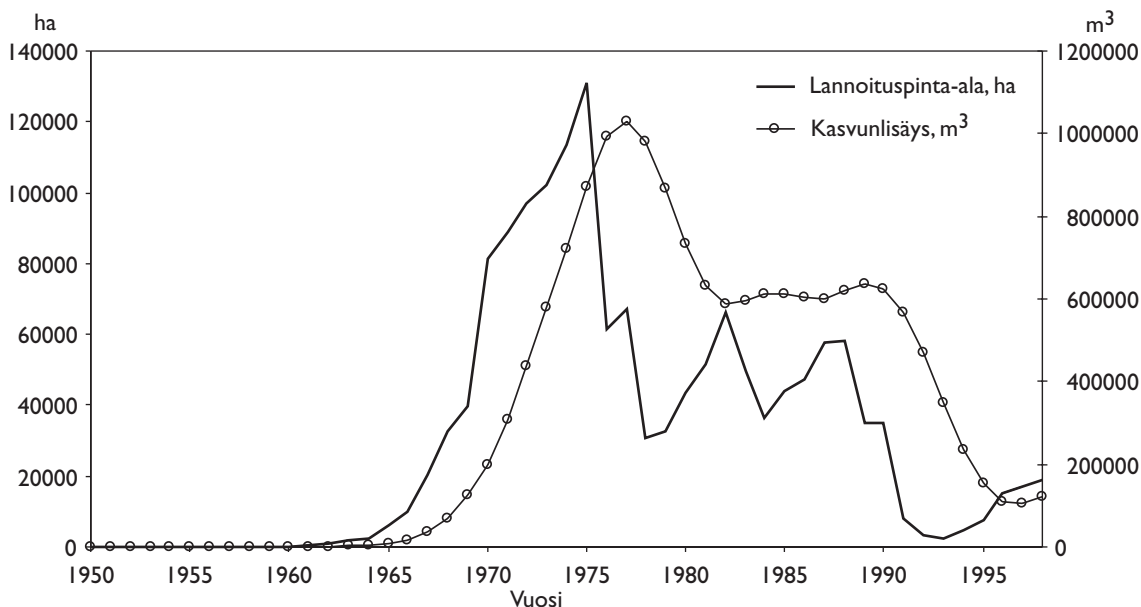
Kertalannoituksen on todettu lisäävän kangasmetsän puuston kasvua noin kymmenen vuoden ajan; kuusella hieman kauemmin kuin männyllä. Suurimmillaan reaktio on 2–4 vuoden kuluttua lannoituk-

sesta. Laskelmissa on otettu huomioon paitsi kyseisen vuoden, myös 11 edeltävän vuoden lannoitusten vaikutukset, arvioitaessa kunakin kalenterivuonna aikaansaattua kasvunlisäystä (kaava 4).

Käytännön metsänlannoituksissa ei todennäköisesti saavuteta yhtä suuria kasvunlisäyksiä kuin tarkoin kontrolloiduissa koeolosuhteissa. Tähän on useita syitä. Kenttäkokeet perustetaan huolella valittuihin, puustoltaan ja maapohjaltaan mahdollisimman homogeenisiin metsiköihin. Lannoitteet levitetään erittäin tasaisesti käsityönä. Käytännön metsätaloudessa toimenpidekuviot ovat usein laajoja ja puustoltaan sekä maaperältään vaihtelevia. Myös levitystulos on epätasaisempi. Erityisesti nämä ongelmat liittyvät 1970-luvulla yleisesti käytettyyn lentolevitykseen. Alkuvuosina – tutkitun tiedon puuttuessa – saatettiin myös valita vähemmän tuottavia kohdemetsiköitä. On varsin vaikea arvioida, kuinka merkittävästi käytännön metsänlannoitusten tulokset ovat poikenneet kokeellisista tuloksista, joihin edellä esitelty Kukkolan ja Saramäen kasvunlisäysmalli perustuu. Välttääksemme koe-tulosten yleistämisestä johtuvaa systemaattista yliarviota, olemme kertoneet mallilla lasketut tulokset subjektiivisesti valitulla kertoimella 0.8.

3 Tulokset

Koska typpilannoitus vaikuttaa kangasmetsien puuston kasvuun noin kymmenen vuoden ajan – voimakkaimmin muutamia vuosia lannoituksen jälkeen – vuotuiset kasvunlisäykset seurailevat pääpiirteittäin lannoituspinta-aloissa tapahtuneita muutoksia muutamien vuosien viiveellä (kuva 3). Lannoituspinta-aloja on tilastoitu vuodesta 1950 alkaen. Vuosina 1950–1964 kangasmaita lannoitettiin hyvin niukalti: 1950-luvun alkupuolen muutamista hehtaareista vuosittain vuoden 1964 noin 6 600 hehtaariin. Tästä syystä kasvunlisäys jäi vähäiseksi vielä 60-luvulakin. Osin erityyppisistä valtion rahoitustoimista johtuen kangasmaiden lannoituspinta-alat kasvoivat 1960-luvun puolivälin jälkeen voimakkaasti. Huippu (n. 130 000 ha) saavutettiin vuonna 1975, minkä jälkeen lannoitustoiminta väheni nopeasti. 1990-luvulla lannoituspinta-alat vähenivät edelleen jyrkästi, mm. metsänparannustöiden tukemiseen tarkoitettujen rahoitusten vähenemisen vuoksi. Yhteensä kangasmetsiä lannoitettiin 1900-luvun jälkipuoliskolla hieman yli 1.5 miljoonaa hehtaaria, joista Pohjois-Suomen osuus oli noin 400 000 hehtaaria. Osa kohteista tosin lannoitettiin useita kertoja, joten lannoit-



Kuva 3. Lannoitettujen kangasmetsien pinta-ala ja arvio lannoitusten tuottamasta kasvunlisäyksestä vuosina 1950–1998 Suomessa.

tuksen kohteena olleiden kangasmetsien kokonaispinta-ala on näitä lukuja pienempi.

Vuotuinen kasvunlisäys on ollut huipussaan hie­man 1970-luvun puolivälin jälkeen, vuosina 1976–1978. Tällä jaksolla lannoituksin tuotettu kasvun­lisäys oli noin miljoona kuutiometriä vuosittain. Kangasmaiden vuotuiset lannoitus­pinta-­alat vaihtelivat 1980-luvulla 50 000 hehtaarin molemmin puolin ja saavutettu kasvun­lisäys pysytteli tasaisesti noin 600 000 m³:n suuruisena. Viime vuosikymmenellä lannoitusala laski edelleen jyrkästi, minkä seurauksena myös kasvua lisäävä vaikutus väheni noin kolmasosaan 1980-luvun tasosta.

Laskemalla yhteen vuosien 1950–1998 kasvun­lisäykset päädytään kangasmetsien lannoituksella saavutettuun kasvun­lisäykseen, joka on arviomme mukaan noin 16,2 milj. m³. Valtaosin lannoitukset kohdistuivat Etelä-Suomeen, joten myös valtaosa (13,6 milj. m³) kasvun­lisäyksestä toteutui Etelä-Suomessa. Pohjois-Suomen osuus on siis 2,6 milj. m³.

Laskimme lisäksi kokonaisarviot käyttäen erilaisia oletuksia lannoituskohteiden keskimääräisestä puustosta. Vaihtoehdossa 1 tyypillinen lannoitus­kohde on oletettu selvästi nuoremmaksi ja puuston tiheys suuremmaksi kuin perusvaihtoehdossa. Tämän muutoksen vaikutus laskelman lopputulokseen (16,6 milj. m³) on varsin vähäinen (+2,5 %). Jos keskimääräinen lannoitus­kohde sijaitsisi selvästi vähäravinteisemmalla kasvupaikalla ja puuston tiheys olisi merkittävästi oletettua alempi (vaihtoehto 2), arvio lisäkasvusta jäisi noin 12 % pienemmäksi (14,3 milj. m³). Jos taas lannoituskohteet olisi valittu selvästi viljavammista ja runsaspuustoisem­mista metsiköistä (Etelä-Suomi: $H_{100} = 27$, $N = 1000$; Pohjois-Suomi: $H_{100} = 21$, $N = 800$), tulos olisi 14,5 milj. m³ eli noin 11 % perusvaihtoehtoa pienempi.

4 Tulosten tarkastelu

MERA-ohjelmien aikakaudella metsänlannoitus nähtiin nopeana keinona lisätä metsiemme tuotosta. Rahoitusjärjestelmien ansiosta toiminta saavut­tiin laajat mittasuhteet. Lannoituksen merkittävin vaikutus metsiemme kasvuun ajoittui 1970- ja 1980-luvuille. Tuolloin saavutettu kasvun­lisäys oli parhaimmillaan toista miljoonaa kuutiometriä vuosit-

tain eli noin kaksi prosenttia vuotuisesta kokonais­kasvusta. Sitten­min metsiemme kasvu on lisääntynyt merkittävästi. Tämä on saattanut vähentää val­tio­vallan kiinnostusta kasvun­lisäysten tavoitteluun voimaperäistä metsänhoitoa suosivien tukijärjestel­mien muodossa. Yksityiselle metsänomistajalle lan­noitus voi silti edelleen tarjota mielekkäitä sijoitus­vaihtoehtoja. Lisäksi kangasmaiden lannoituksilla saatetaan tulevaisuudessa tavoitella muitakin pää­määriä: maassamme on käynnissä kokeellisia tut­kimuksia, joissa selvitetään mahdollisuuksia ilman epäpuhtauksien metsävaikutusten torjuntaan lan­noituskäsittelyjen avulla.

Arvioimme kangasmetsien lannoituksin saavutet­tuja vuotuisia kasvun­lisäyksiä. Arvioiden pohjana on Kukkolan ja Saramäen (1983) kasvun­lisäysmal­li, joka perustuu mittavaan, vuosikymmeniä jatku­neeseen koetoimintaan. Eri lannoitelajien ja -mää­rien sekä lannoitusohjelmien vaikutuksia on testattu monipuolisesti maapohjaltaan ja puustoltaan vaihte­levissa koemetsiköissä. Laskelmassa oletetaan, että uusintalannoitus on antanut ensilannoitukseen verrattavan kasvun­lisäyksen. Käytännön metsä­taloudessa ei liene sovellettu kovin lyhyitä lan­noitusvälejä: esimerkiksi Metsähallituksen ohjeissa (Ohjekirje metsän...1982) on suositeltu sopivien kangasmaakohteiden lannoituskäsittelyjä uusittaviksi männiköissä kuuden ja kuusikoissa yhdeksän vuoden välein. Useaan kertaan lannoitetut pinta-­alat eivät tästä syystä vääristä tuloksia (Kukkola ja Sara­mäki 1983).

Laskelmassa on otettu huomioon lannoitus­koh­teiden sijainnin vaikutus kasvun­lisäykseen laske­malla tulokset erikseen maan pohjois- ja eteläosil­le. Merkittävä epävarmuustekijä sen sijaan aiheu­tuu siitä, ettei käytettävissä ole tietoja vuotuisesta kangasmetsien lannoitus­pinta-­alan jakautumisesta erilaisten kasvupaikkojen ja eri puulajien kesken eikä tietoja lannoituskohteiden puuston rakenteesta ja iästä. Puustotunnusten osalta testasimme laske­man oletusten vaikutusta lopputulokseen toistamalla laskelman erityyppisiä puustovaihtoehtoja käyttäen. Osa testatuista vaihtoehtoista tuotti selvästi ar­vio­imaamme kokonaiskasvua pienempiä lopputu­loksia. On todennäköistä, ettei laskelmamme perus­takeksi valittu puustotunnusyhdistelmä aiheuta aina­kaan systemaattista aliarviota tulokseen.

Koetoiminnassa kohdemetsiköt valitaan huolel-

lisesti; ne ovat runsaspuustoisia ja maaperältään homogeenisia. Lannoitteet myös levitetään erittäin tasaisesti. Käytännön metsänlannoituksissa valitut kohteet eivät monissa tapauksissa ole yhtä otollisia ja myös annostelussa ja levitysmenetelmissä lienee esiintynyt puutteita. Laajamittaisen lannoitustoiminnan käynnistyessä ei lannoitusmenetelmistä ja tuotavimmista kohteista ollut käytettävissä nykyisenkaltaista tutkittua tietoa. Näistä syistä käytännön metsätaloudessa ei todennäköisesti ole ylletty samansuuruiseen kasvunlisäykseen kuin koetoiminnassa.

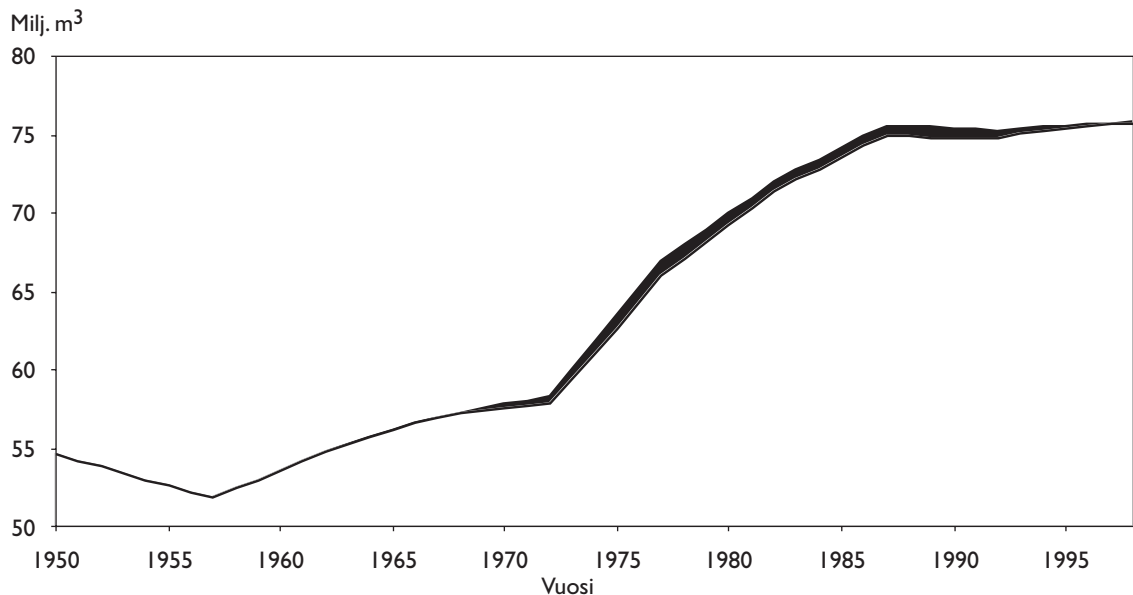
Laskelma perustuu arvioon, että käytännön lannoituksissa saavutettava kasvunlisäys on suuruudeltaan 80% koeolosuhteissa saavutettavasta tuloksesta. Arvio on luonnollisesti subjektiivinen ja vaikuttaa tietenkin merkittävästi lopputulokseen. Jos käytännön lannoituksissa ylletäisiin koeolosuhteita vastaavaan lopputulokseen, vastaavasti laskettu arvio metsänlannoitusten tuottamasta lisäkasvusta vuosina 1950–1998 olisi 20,3 milj. m³.

Laskelmamme ei myöskään ota huomioon kasvun luontaista ilmastollista vaihtelua. On mahdollista, että lannoitusten tuottama kasvunlisäys on suurempi silloin, jos lannoitusta seuraavien vuosien il-

masto-olot ovat kasvulle suotuisia. Jos näin on, laskelmamme aliarvioi tuotettua kasvunlisäystä. Näin siksi, että Etelä-Suomen ilmasto oli keskimääräistä suotuisampi sekä männyn että kuusen kasvulle vuosina 1975–1985 (Mielikäinen ym 1996) – siis jaksolla jolloin 1970-luvun puolivälin mittavat lannoitukset realisoituivat kasvuksi. On myös huomattava, että aineisto, johon Kukkolan ja Saramäen (1983) kasvunlisäysmalli perustuu, on pääosin peräisin 1960-luvulta ja 1970-luvun alkupuolelta.

Tulosta arvioitaessa on muistettava, että 1990-luvulla suoritettavat lannoitukset lisäävät puuston kasvua edelleen 2000-luvun puolellakin. Laskelmahan rajoittuu arvioimaan vuosina 1950–1998 toteutunutta kasvunlisäystä. Toisaalta lannoituspinta-alat ovat olleet viime vuosina varsin pieniä (kuva 1).

Arviomme metsänlannoitusten kangasmailla vuosina 1951–1998 tuottamasta lisäkasvusta (16,2 milj. m³) on suuruusluokaltaan neljännes metsiemme vuotuisesta kasvusta. Vaikka 1900-luvun jälkipuoliskolla lannoitettujen kangas- ja suomaiden pinta-alat ovat olleet karkeasti ottaen samaa suuruusluokkaa, arviomamme kangasmetsien lannoitustulos jää selkeästi pienemmäksi kuin Moilasen (1998) arvio suometsien lannoituksen kokonaistuloksesta (40–50



Kuva 4. Metsien vuotuinen kasvu Suomessa (viivan yläosa, metsätalastollinen vuosikirja 1999) ja arvioitu kangasmetsien lannoitusten tuottama kasvunlisäys (tummennettu alue) vuosina 1950–1998.

milj. m³). Ero saattaa selittyä osin sillä, että osalla turvemaakohteista puuston kasvu jäisi ravinne-epätasapainosta johtuen hyvin vähäiseksi ilman lannoitusta. Soiden lannoituksella on lisäksi myös kasvu-alustan kuivumista tehostava vaikutus. On toisaalta myös huomattava, että kangasmaiden lannoitukset todennäköisesti kohdistuvat varttuneisiin kasvatus-metsiin useammin kuin turvemailla. Tällaisissa kohteissa kasvunlisäys koostuu pääasiassa arvokkaasta tukkipuusta. Metsiköt myös saavuttavat hakkuukypsyysyden varsin pian lannoituksen jälkeen, mikä parantaa investoinnin yksityistaloudellista kannattavuutta.

Kuinka merkittävästi kangasmetsien lannoitukset ovat vaikuttaneet valtakunnan metsien inventoinneissa todettuun metsiemme kasvun lisääntymiseen? VMI3:en (1951–1953) perustuva kasvu-arvio viisi-vuotiskaudelle 1950–1955 oli 53,8 miljoonaa kuutiometriä (Metsätilastollinen vuosikirja 1999). Sen jälkeen lisäystä on kertynyt yli 20 milj. m³. Muutos oli kuitenkin aluksi melko hidasta: 1970-luvun alkupuolta (VMI6, 1971–76) kuvaava kasvu-arvio oli 58,3 milj. m³; lisäystä 1950-luvun alkuun siis vaajaat 5 milj. m³. Arvioimamme lannoituksilla tuotettu lisäkasvu oli vuonna 1971 noin 300 000 m³ kasvaen kuitenkin 1970-luvun puoliväliin mennessä jo noin miljoonaa kuutiometriin (kuvat 3 ja 4). Ottaen huomioon myös soiden lannoitukset, metsien käsittelyn aiheuttamasta kasvun lisääntymisestä 1970-luvun alkupuolella lannoitukset muodostivat siis selkeän osan.

Valtaosa metsiemme vuotuisen kasvun lisäyksestä on kuitenkin toteutunut VMI6:n jälkeen, 1970-luvun loppupuolelta alkaen (Metsätilastollinen vuosikirja, 1999). VMI8:n tulosten mukaan metsiemme kokonaiskasvu on nykyisin 75,4 milj. m³ (Tompson ja Henttonen 1996). Pelkästään Etelä-Suomen kangasmailla kasvu lisääntyi jaksolla 1950–1990 noin 10 milj. m³ (Kauppi ja Nöjd 1997). Lannoituksia on sen sijaan 1980- ja 1990-luvuilla tehty selvästi vähemmän kuin 1970-luvulla ja niiden tuottama vuotuinen kasvunlisäys oli 1980-luvulla suuruusluokkaa 600 000 m³ ja 1990-luvulla edelleen selvästi vähemmän (kuva 3). Siksi on ilmeistä, että 1970-luvun jälkeen kangasmetsien lannoituksilla on ollut vähäinen vaikutus metsiemme kasvun kiihtymiseen nykyiselle tasolle.

Kiitokset

Kiitämme prof. Jari Hynystä, prof. Eino Mälköstä ja prof. Eero Paavilaista, jotka ovat lukeneet kirjoituksemme ja tehneet siihen varteenotettavia korjausehdotuksia.

Kirjallisuus

- Gustavsen, H. & Lipas, E. 1975. Lannoituksella saatavan kasvunlisäyksen riippuvuus annetusta typpimäärästä. Summary: Effect of nitrogen dosage on fertilizer response. *Folia Forestalia* 246. 20 s.
- Kauppi, P. & Nöjd, P. 1997. Kymmenen lastua kasvusta. Metsät metsittyivät 1950–1990. Metsätieteen aikakauskirja – *Folia Forestalia* 2/1997: 285–290.
- Kukkola, M. & Saramäki, J. 1983. Growth response in repeatedly fertilized pine and spruce stands on mineral soils. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 114. 55 s.
- Lipas, E. 1988. Typpilannoituksen ajankohta kangasmetsissä. Summary: Timing of nitrogen fertilization on mineral soils. *Folia Forestalia* 709. 22 s.
- , Levula, T. & Välikangas, P. 1983. Eäitä metsänlannoitustuloksia Lapista. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 114. 14 s.
- Metsätilastoa. 1965. I Metsävaranto. *Folia Forestalia* 32.
- Metsätilastoa 1950–1967. 1967. *Folia Forestalia* 47.
- Metsätilastollinen vuosikirja. Vuosikirjat 1968–1991. *Folia Forestalia* 70, 96, 130, 165, 195, 225, 155, 295, 345, 375, 430, 460, 510, 550, 590, 620, 660, 690, 715, 730, 760, 790.
- Metsätilastollinen vuosikirja. Vuosikirjat vuosilta 1992–1999. Metsäntutkimuslaitos. Helsinki.
- MERA. Metsätalouden rahoitusohjelma. 1964. Metsätiedotustoimisto, Helsinki. 32 s.
- MERA. Metsätalouden rahoitusohjelma III. 1969. Summary: Forest Financing Committee MERA III. Metsätiedotustoimisto, Helsinki. 64 s.
- Metsätalous ja ympäristö. 1994. Maa- ja metsätalousministeriö. Metsätalouden ympäristöohjelmatyöryhmän mietintö 1994: 3. 101 s.
- Mielikäinen, K., Timonen, M. & Nöjd, P. 1996. Männyn ja kuusen kasvun vaihtelu Suomessa 1964–1993. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 1996(4): 309–320.
- Moilanen, M. 1998. Kannattaako suometsien lannoitus. Julkaisussa: Moilanen, M., Pietiläinen, P. & Väärä, T. 1998. Metsäntutkimuspäivä Pyhäsalmeilla 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 674. 126 s.

- Ohjekirje metsän lannoituksesta. 1982. Metsähallitus. Metsänhoito-osasto, Helsinki. 29.1.1982. Mh. 305. 12 s.
- Reunala, A., Halko, L. & Marila, M. (toim.). 1999. Kansallinen metsäohjelma 2010 – Taustaraportti. MMM:n julkaisu 6/1999. 179 + liite 118 s.
- Talousneuvosto. 1985. Metsä 2000-ohjelman pääraportti. Metsä 2000 ohjelmajaosto. Valtion painatuskeskus. 129 + 61 s.
- Vuokila, Y. & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. Communications Instituti Forestalis Fenniae 99(2). 271 s.

18 viitettä