



Maantutkimusosasto



## KANGASMAIDEN OMINAISUUDET JA HOITO

Maantutkimuspäivä Kouvolassa  
1990

Kansikuva: Podsolimaannos Ilomantsin Mekrijärveltä.  
Kivennäismaan pintakerros on hietaa.  
Valok. Erkki Oksanen.

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 370  
Maantutkimusosasto

# **KANGASMAIDEN OMINAISUUDET JA HOITO**

**Maantutkimuspäivä Kouvolassa  
1990**

Vantaa 1990

ISBN 951-40-1136-8  
ISSN 0358-4283

## SISÄLLYS

John Derome	
Maaperän luonnollinen happamoituminen.....	5
Heljä-Sisko Helmisaari	
Ravinnekierto metsäekosysteemissä.....	18
Eino Mälkönen	
Kuinka paljon metsät sietävät typpeä?.....	37
Erkki Lipas	
Kalkituksen vaikutus ravinteiden saatavuuteen.....	49
Pekka Tamminen	
Metsämaiden alueellinen viljavuus.....	61
Teuvo Levula	
Muokkaus metsän uudistamiseksi.....	73

LUKIJALLE

Maantutkimusosasto järjesti 6.3.1990 Kouvolassa maantutkimuspäivän, joka oli tarkoitettu lähinnä Kaakkois-Suomen metsäväelle. Tilaisuudessa oli noin sata osanottajaa.

Tutkimuspäivän esitelmien tarkoituksena oli tarkastella erityisesti kangasmaiden happamuuteen ja viljavuuteen liittyviä kysymyksiä sekä eräitä maanhoidon toimenpiteitä, jotka ovat usein esillä ilman epäpuhtauksista aiheutuvia uhkatekijöitä arvioitaessa.

Kiitän kaikkia tutkimuspäivän järjestämiseen osallistuneita sekä tutkimuspäivän osanottajia esitelmää kohtaan tunnetusta mielenkiinnosta.

Eino Mälkönen

John Derome

## MAAPERÄN LUONNOLLINEN HAPPAMOITUMINEN

### Podsolimaannoksen muodostuminen

Suomalainen kivennäismaa on luonnostaan melko hapanta, sillä maaperä on muodostunut emäsköyhästä kallioperästä (mm. graniitti). Kasvillisuus on lisännyt maan pintakerroksen happamuutta (E- ja B-horisontit) viimeksi kuluneen 10 000 vuoden aikana (taulukko 1). Havupuiden heikosti hajoavan karikkeen vähittäinen kasaantuminen maan pinnalle sekä suhteellisen alhainen lämpötila ja suuri kosteus tuottavat happamia humusaineita. Nämä humusaineet ovat heikkoja happoja, jotka vähitellen liukenevat ja kulkeutuvat sadeveden mukana kivennäismaahan.

Taulukko 1. Tyypillisiä kangasmaiden pH-arvoja (vedessä mitattuna) kerroksittain (Tamminen 1990).

Maakerros	Kasvupaikkatyyppi				
	Karu	Kuiva	Kuivahko	Tuore	Lehtom.kgs
Humuskerros	4,0	4,1	4,2	4,4	4,7
Huuhoutumiskerros	4,6	4,5	4,5	4,6	4,9
Rikastumiskerros	5,2	5,2	5,1	5,1	5,5
Pohjamaa	5,4	5,3	5,3	5,4	5,8

Sadevedestä peräisin oleva hiilihappo, juurien ja mikro-organismien hengitys sekä muut vetyioneja tuottavat happamoitumisprosessit ovat yhdessä rapauttaneet ylimpiä kivennäismaakerroksia. Rapautunut aines sisältää kasvinravinteita (esim. Ca, Mg, K) sekä alumiinia, rautaa, piitä ja raskasmetalleja. Tämä aines liukenee ylimmästä kivennäismaakerroksesta jättäen sen vaalean harmaaksi huuhoutumiskerrokseksi (E-horisontti). Liuennut alumiini ja rauta saostuvat tumman ruskeaan rikastumiskerrokseen (B-horisontti). Tulok-

sena on suomalaisille kivennäismaille tyypillinen podsoli-profiili (kansikuva) (Tamminen & Mälkönen 1986).

Maaperän happamuus määräytyy vetyionikonsentraation perusteella. Vetyionit esiintyvät joko vapaana maavedessä tai sidottuna maaperän kiinteään ainekseen. Happamoituminen aiheutuu joko luonnollisista tai ihmisen aiheuttamista prosesseista. Tämän vuoksi on harhaanjohtavaa käyttää termiä happamoituminen kuvaamaan pelkästään ihmisen toiminnan seurauksena syntyvän happaman laskeuman vaikutuksia. Maaperän happamoituminen on jatkuva prosessi, mutta ihminen voi toiminnallaan kiihdyttää sitä.

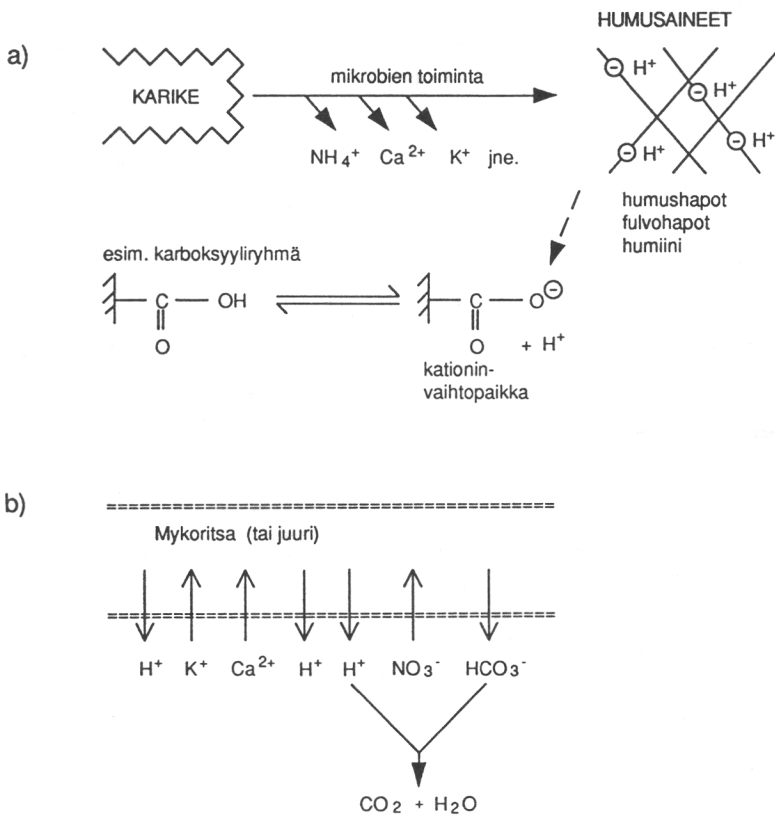
#### Metsämaan luonnolliset happamoitusprosessit

Karikkeen epätäydellinen hajoaminen on havupuuvaltaisissa metsissä tärkein maaperän happamoitumiseen liittyvä prosessi. Havupuiden karikke sisältää suuria määriä fenolihydrideitä, joita maamikrobit hajottavat heikosti. Humuskerroksen suhteellisen korkea kosteus ja alhainen lämpötila sekä havumetsän varjoisuus tarjoavat hyvät olosuhteet saprofyttisienille, jotka elävät symbioosissa puiden juurten kanssa. Näiden sienten ja jossain määrin myös bakteerien suorittaman kuolleen orgaanisen aineen hajotuksen lopputuotteena syntyy humusaineita, humus- ja fulvohappoja sekä humiinia. Nämä yhdisteet ovat heikkoja happoja, jotka sisältävät runsaasti dissosioituvia funktionaalisia ryhmiä (karboksyyli- ja metoksyyliryhmiä). Havumetsissä normaalisti vallitsevissa oloissa nämä ryhmät dissosioituvat ja vapauttavat vetyioneja, mikä lisää maan aktiivista happamuutta (kuva 1a). Humusaineisiin sitoutuneet dissosioituvat ryhmät toimivat tärkeinä kationinvaihtopaikkoina, joihin mm. kasvinravinteita voi pidättyä.

Toinen oleellinen maaperän happamoitumiseen liittyvä prosessi on kasvillisuuden ravinteiden otto, joka tapahtuu humuskerroksessa pääasiallisesti mykoritsasienten avulla. Se



on aktiivinen tapahtuma, missä siirtyy vastaava määrä vetyioneja maaveteen kuin kationeja ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  jne.) maavedestä juureen (kuva 1b). Tällä voi olla maaperää happamoittava vaikutus. Se kuitenkin eliminoiduu osittain aktiivisen anionien oton ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{2-}$ ) ansiosta, koska siihen liittyy bikarbonaatti-anionien ( $\text{HCO}_3^-$ ) vapautuminen, mikä voi puolestaan neutraloida vetyioneja (kuva 1b). Kokonaisuudessaan kasvit ottavat kationeja enemmän kuin anioneja, minkä vuoksi tuloksena on maan happamuuden lisääntyminen. Tämä on sadonkorjuun ohella yksi syy siihen, miksi viljelysmaiden kalkitseminen määrärajoin on välttämätöntä. Ravinteiden otto syvemmällä maassa ei happamoita samalla tavalla, koska se tapahtuu passiivisesti vedenoton yhteydessä.



Kuva 1. Luonnon happamoitusprosessit.

- a) Epätäydellinen karikkeen hajottaminen ja humusaineiden muodostuminen.  
b) Ravinteiden otto.

Kolmas happamoittava prosessi, jolla on melko vähäinen merkitys kivennäismaassa, on hiilidioksidin vapautuminen maaveteen juurien ja maamikrobien hengityksen tuloksena.



Hiilidioksidi liukenee veteen ja muodostaa hiilihappoa. Happamissa oloissa, kuten suomalaisissa metsämaissa, hiilihappo hajoaa kuitenkin heti hiilidioksidiksi, joka vähitellen siirtyy maan pintaa kohti. Hiilihappoa esiintyy ainoastaan hyvin kapealla vyöhykkeellä juurten ympärillä.

Neljäs happamoittava prosessi, joka myös tavallisesti liitetään ihmisen toiminnan aiheuttamaan maaperän happamoitumiseen, on nitrifikaatio. Nitrifikaatiossa ammoniumtyppi muuttuu nitraattitypeksi tiettyjen maamikrobien toimesta.



Vaikka metsämaassa olisikin tällaisia mikrobeja, saattaa maan happamuus olla liian suuri ja vapaan ammoniumtyypen ( $\text{NH}_4^+$ ) määrä liian pieni nitrifikaation käynnistymiseksi. Tällöin nitrifikaatiolla on vain vähän merkitystä maan happamuuden kannalta. Kuitenkin nitrifikaatio voi voimistua esimerkiksi avohakkuun seurauksena tai jos typpikuormitus on niin suuri, että maaperä on kyllästetty ammoniumtyypellä, kuten on tapahtunut Alankomaissa. Nitrifikaatio on yleistä viljelysmaissa, joissa pH on lähellä neutraalia ja jotka sisältävät paljon vapaata ammoniumtyyppiä. Nitrifikaation aiheuttama happamoituminen on toinen syy, miksi viljelysmaita kalkitaan säännöllisesti.

Eräs tällä hetkellä vähemmän tunnettu happamoittava prosessi on maassa esiintyvän sienirihmaston orgaanisten happojen tuottaminen. Sienet erittävät suuria määriä esimerkiksi oksaalihappoa humuskerroksessa.

Metsämaan luonnolliset puskuri- ja neutraloitumisprosessit

Puskuroituminen liittyy maaperän sellaisiin mekanismeihin, jotka yrittävät pitää pH:n muuttumattomana. Tämä tapahtuu joko sitomalla tai vapauttamalla vetyioneja. Neutraloituminen liittyy puolestaan vetyionien poistamiseen tietyissä maaperässä tapahtuvissa reaktioissa. Puskurireaktiot eroavat neutraloutumisesta siinä, että vapaat vetyionit poistuvat puskurireaktiossa vain väliaikaisesti maavedestä, mutta ne voivat vapautua jälleen, jos pH muuttuu jonkin muun maaperäprosessin seurauksena.

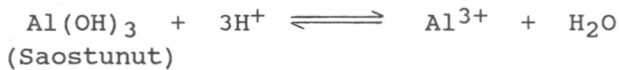
"Emäskationi"-termi, jolla tarkoitetaan Ca, Mg, K ja Na -kationeja on harhaanjohtava, sillä ne eivät pysty neutraaloimaan vetyioneja. Termi "emäskationi" johtuu siitä, että näiden alkalimetallien hydroksidien  $[Ca(OH)_2, Mg(OH)_2, KOH, NaOH]$  liukeneminen tuottaa vapaita hydroksyyli-anioneja ( $OH^-$ ). Hydroksyyli-ionit voivat neutraloida vetyioneja ja muodostaa vettä ( $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$ ).

Metsämaat eroavat viljelysmaista siinä, että humuskerroksen ja myös ylimpien kivennäismaakerrosten viljavuus määräytyy pitkälti orgaanisen aineen perusteella. Metsämaat sisältävät tavallisesti melko vähän savihiukkasia, jotka pelto- mailla pidättävät kasvinravinteita kationivaihdon yhteydessä. Jos metsämaat jostain syystä menettäisivät orgaanisen aineensa, ne tulisivat erittäin herkiksi huuhtoutumisen aiheuttamalle ravinteiden menetykselle.

Tärkein puskurimekanismi metsämaissa on kationinvaihto. Osittain hajonnut orgaaninen aine (humus) sisältää paljon sellaisia kemiallisia ryhmiä, jotka tavallisessa maaperän happamuusasteessa ovat dissosioituneet ja joilla on negatiivinen varaus. Näitä negatiivisia varauksia kutsutaan kationinvaihtopaikoiksi, koska ne pystyvät vetämään puoleensa ja kiinnittämään positiivisesti varautuneita kationeja (kuva 2a). Vetyionit ovat positiivisesti varautuneita kationeja.

Jos vetyionikonsentraatio maavedessä kasvaa (ts. pH alenee), niin vetyionit korvaavat emäskationeja kationinvaihtopaikoilla. Jos vetyionikonsentraatio pienenee, niin vetyioneja vastaavasti vapautuu kationinvaihtopaikoilta. Tämä on selvästi puskuri- eikä neutraloitumisprosessi.

Vaikka kationinvaihdolla on myös kivennäismaassa (huuhtoutumiskerros) melko suuri merkitys puskurireaktioiden kannalta, sen merkitystä rikastumiskerroksessa on ylikorostettu alumiinin käyttäytymiseen ja rautapuskuriin nähden. Rikastumiskerros sisältää suuria määriä saostuneita alumiini-, rauta- ja mangaanihydroksideja, joiden liukeneminen aiheutuu vetyionien pidättymisestä ja saostuminen vastaavasti vetyionien vapautumisesta.

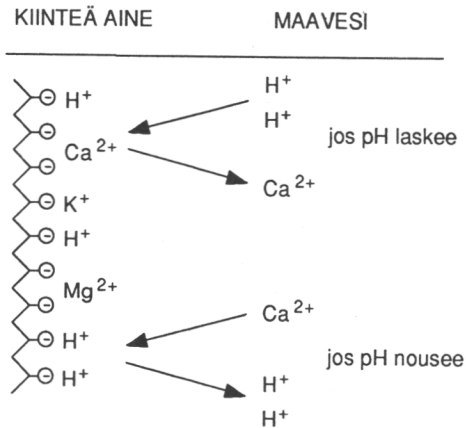


Myös mangaanin ja muiden raskasmetallien liukeneminen ja saostuminen sekä orgaaninen aine vaikuttavat tämän kerroksen puskurikapasiteettiin.

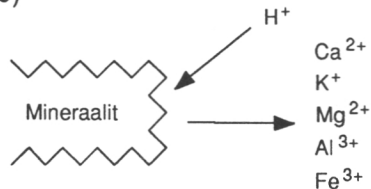
Humuskerroksessa tapahtuvilla neutraloitumisreaktioilla on suhteellisen vähäinen merkitys, ja ne koostuvat pääosin reaktioista vetyionin ja bikarbonaatin välillä, minkä seurauksena vapautuu hiilidioksidia. Kivennäismaassa neutraloituminen on kuitenkin paljon tehokkaampaa. Viimeisimmän jääkauden jälkeen, n. 10 000 vuotta sitten, maaperä oli pintaan saakka nykyisen pohjamaan kaltaista. Aikojen kuluessa ylimmän kivennäismaakerroksen mineraalit ovat asteittain hajooneet ja lienneet sadeveden hiilihapon ja humuskerroksessa tuotettujen orgaanisten happojen vaikutuksesta. Tätä prosessia kutsutaan rapautumiseksi, joka on neutraloitumisprosessi (kuva 2b). Rapautuminen on suhteellisen hidas tapahtuma, mutta se nopeutuu jonkin verran happamuuden lisääntymisen myötä. Kivennäismaan ylin kerros eli podsoli-maannoksen huuhtoutumishorisontti on menettänyt pääosan

emäskationeistaan rapautumisessa. Näistä emäskationeista osa on sitoutunut metsäekosysteemin biomassaan tai kasautunut humuskerrokseen. Tietty osa on myös menetetty huuhtoutumisessa pohjaveteen ja vesistöihin. Huuhtoutumiskerros sisältää silti merkittäviä määriä helposti rapautuvaa alumiinia ja rautaa erityisesti lähellä rikastumiskerrosta. Pohjamaa, kuten suuri osa huuhtoutumiskerroksestakin, edustaa huomattavaa rapautumattoman kivennäismaan reserviä.

a)



b)

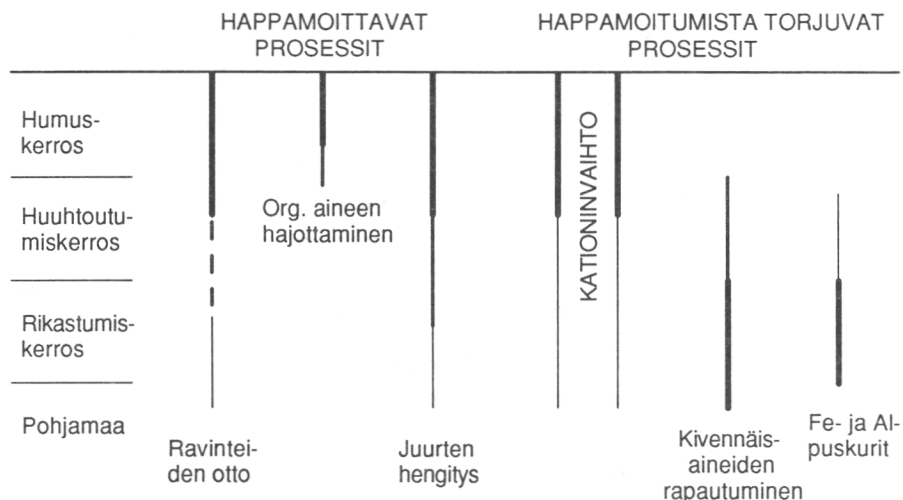


Kuva 2. Happamoitumista torjuvat prosessit (puskurointi ja neutralointi).

a) Kationinvaihto (puskurointi).

b) Mineraalien rapautuminen (neutralointi).

Happamoitumis-, puskuri- ja neutraloitumisprosessien sijoittuminen maaprofiilissa ilmenee kuvasta 3. Happamoitumisprosessit ovat keskittyneet humuskerrokseen, puskuri- prosessit esiintyvät sekä humuskerroksessa että kivennäismaassa ja neutraloituminen on keskittynyt rikastumiskerrokseen.



Kuva 3. Maaperän happamuuteen vaikuttavia tekijöitä.

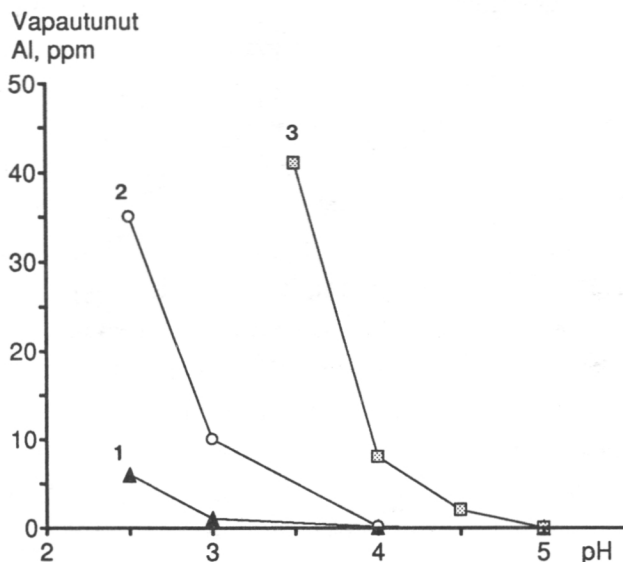
### Alumiinin käyttäytyminen maaperässä

Alumiinin ja raskasmetallien liukeneminen maaperän happamoitumisen seurauksena on ajankohtainen kysymys. Alumiini on runsain metallinen alkuaine metsämaissa. Oleellinen kysymys maaperän happamoituessa on pikemminkin eri alumiinifraktioiden suhteellinen osuus maaperässä kuin alumiinin absoluuttinen määrä.

Alumiinin kasveille ja eläimille myrkyllinen muoto on monomeerinen  $Al^{3+}$ . Alumiinia koskevat seikat pätevät myös muihin kolmivalenttisiin kationeihin, kuten rautaan, joka on maaperässä lähes yhtä yleinen kuin  $Al^{3+}$ , ja osin myös eräisiin raskasmetalleihin (esim. Mn, Zn, Cu, Cd, Hg).

Suurin osa humuskerroksessa esiintyvistä alumiinista on orgaanisina komplekseina. Ne ovat kemiallisesti hyvin pysyviä ja niiden liukenemiseen vaadittava pH-arvo on hyvin alhainen (n. pH 3) verrattuna kivennäisaineksen alumiinin liukenemiseen vaadittavaan pH-arvoon (n. pH 4,4). Täten vapaan  $\text{Al}^{3+}$  määrä on pieni humuskerroksessa.

Huuhtoutumiskerros sisältää myös paljon stabiileja organo-Al-komplekseja, jotka ovat kulkeutuneet sinne vajoveden mukana. Alumiinihydroksideja ei esiinny tässä kerroksessa alhaisista pH-arvoista johtuen. Myös helposti rapautuvaa alumiinia on huuhtoutumiskerroksessa, ja sitä voi liueta vetyionien vaikutuksesta ja kulkeutua syvemmälle valueden mukana (kuva 4). Liuennut vapaa alumiini voi vielä muodostaa organo-Al-komplekseja valuedessä esiintyvän orgaanisen aineen kanssa nopeasti vapautumisensa jälkeenkin.

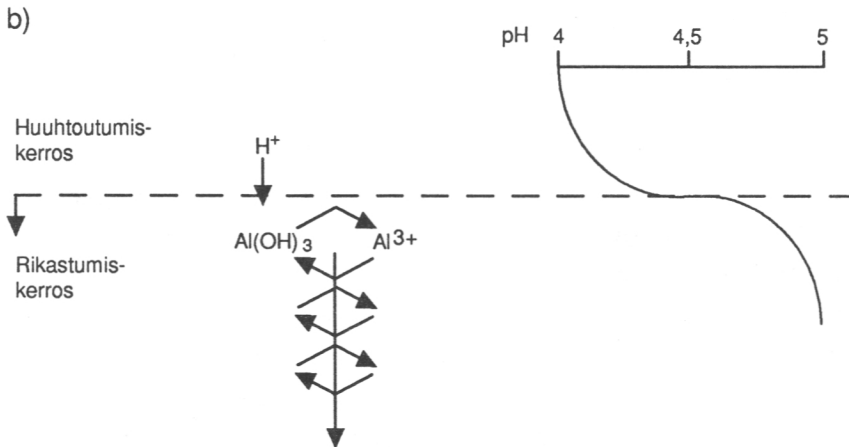
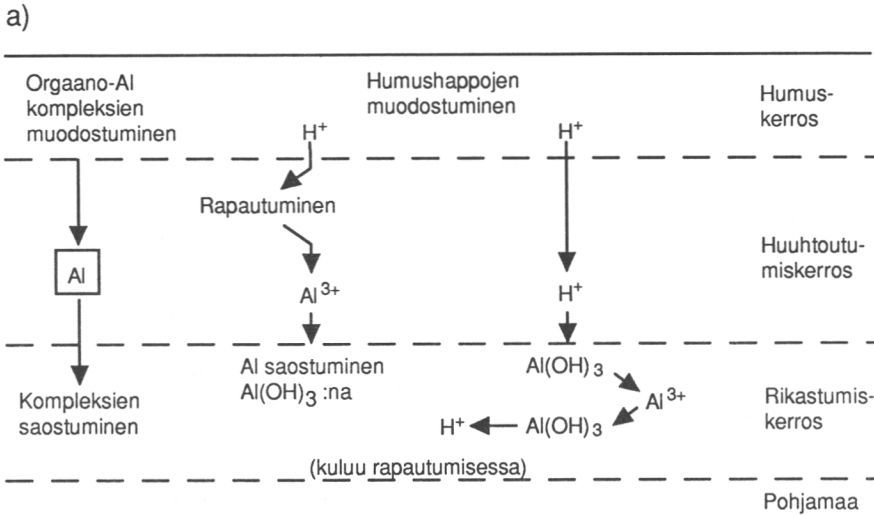


Kuva 4. Alumiinin vapautuminen humus- (1), huuhtoutumis- (2) ja rikastumiskerroksista (3) happolisäysten jälkeen (Derome 1989).

Suurin osa alumiinista, joka on rikastumiskerroksessa, on joko saostuneiden alumiinihydroksidien muodossa tai saostuneina organo-Al-komplekseina. Kun happamuus kasvaa rikastumiskerroksessa (kuva 5a) tämä alumiini liukenee helposti ja samalla vapautuu  $Al^{3+}$ :a. Tämä ilmiö muodostaa alumiinipuskurisysteemin.

Podsolimaannoksen muodostuessa rikastumiskerros värjäytyy tummaksi alumiinin, raudan, orgaanisen materiaalin, piin, mangaanin jne. saostumisen seurauksena. Nämä aineet ovat huuhtoutuneet huuhtoutumiskerroksesta humuskerroksen tuottamien happamien aineiden vaikutuksesta. Saostuminen alumiinihydroksideina tapahtuu, kun liuennut  $Al^{3+}$  kulkeutuu sellaiseen kivennäismaan osaan, missä pH kohoaa. Rikastumiskerros tulee siten vähitellen paksummaksi, samalla kun raja huuhtoutumis- ja rikastumiskerroksen välillä siirtyy syvemmälle johtuen alumiinin sekä raskasmetallien vuorottaisesta liukenemisestä ja saostumisesta rajavyöhykkeellä (kuva 5b). Maaperän pH rajavyöhykkeellä eli kriittinen pH-arvo on määritetty siihen kohtaan, missä metallit saostuvat rikastumiskerroksessa. Maaperän happamoitumisessa ei siten ole niinkään kysymys allaolevan kivennäismaan pH:n alenemisestä, vaan huuhtoutumiskerroksen asteittaisesta paksunemisesta. Huuhtoutumis- ja rikastumiskerroksen paksuus riippuu siitä, kuinka syvälle alumiini ja muut metallit kulkevat ennen kuin ne jälleen saostuvat. Yleisesti ottaen mitä parempi metsätyyppi on (hienorakeisempi maalaji ja alhaisempi vedenläpäisevyys) sitä ohuempia nämä kaksi kerrosta ovat. Liuenneiden metallien kulkeutuminen pohjaveteen riippuu valuv veden virtausnopeudesta ja liuenneiden metallien määrästä. Se, että happokuorma voi aiheuttaa alumiinin ja raskasmetallien liukenemistä, on tietenkin tosi, mutta on myös todenmukaista sanoa, että ne yleensä myös välittömästi saostuvat uudelleen.



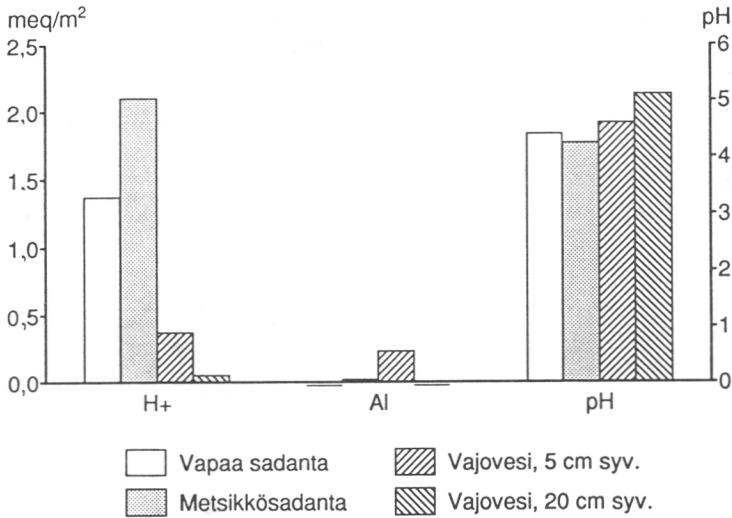


Kuva 5. Podsoloituminen.

a) Huuhtoutumis- ja rikastumiskerroksen muodostuminen.

b) Huuhtoutumiskerroksen laajeneminen vähitellen ja rikastumiskerroksen alaspäin siirtyminen, sekä maaprofiilin pH-jakauma.

Suomessa sadanta on melko vähäistä, n. 600 mm vuodessa, ja tästä miltei puolet tulee lumena. Sade, joka tulee metsiin kasvukauden aikana, palautuu lähes täysin ilmakehään haihdunnan vaikutuksesta ja valunta on hyvin vähäistä.



Kuva 6. Vapaan sadannan, metsikkösadannan ja vajoveden vetyioni- ja kokonaisalumiinivirtaamat sekä pH Sallan Sätsissä 20.7.-22.9.1989.

Sadeveden laatu muuttuu merkittävästi sen kulkeutuessa puiden latvuston ja eri maakerrosten läpi. Esimerkki tästä sadeveden laadun muutoksesta on esitetty kuvassa 6. Tiedot ovat syksyltä 1989 ja ne on kerätty Sallan Sätsistä. Sadevesi on kerätty aukealta ja metsiköstä, sekä maavesi syvyyksiltä 5, 20 ja 45 cm. Aukeaan verrattuna vetyionien määrä on kasvanut jonkin verran, kun sadevesi on läpäissyt puiden latvukset. Vetyionien määrä maavedessä, joka kerättiin välittömästi humuskerroksen alta (syvyys 5 cm), on vähentynyt merkittävästi, ja 20 cm:n syvyydellä maavedessä on enää vähän vetyioneja. Haihdunnasta johtuen valuvettä ei saatu kerätyksi 45 cm:n syvyydeltä. Vapaassa sadannassa eikä metsikkösadannassa esiintynyt merkittäviä määriä alumiinia. Korkeimmat totaaliaumiinin määrät mitattiin 5 cm syvyydeltä. Suurin osa tästä alumiinista koostui organo-Al-komplekseista. Totaaliaumiinin määrä maavedessä 20 cm:n syvyydellä oli hyvin vähäinen. Tämä ilmentää hyvin sitä, kuinka metsämaat tehokkaasti kykenevät ylläpitämään luontaista happamuustasoaan.

## Kirjallisuus

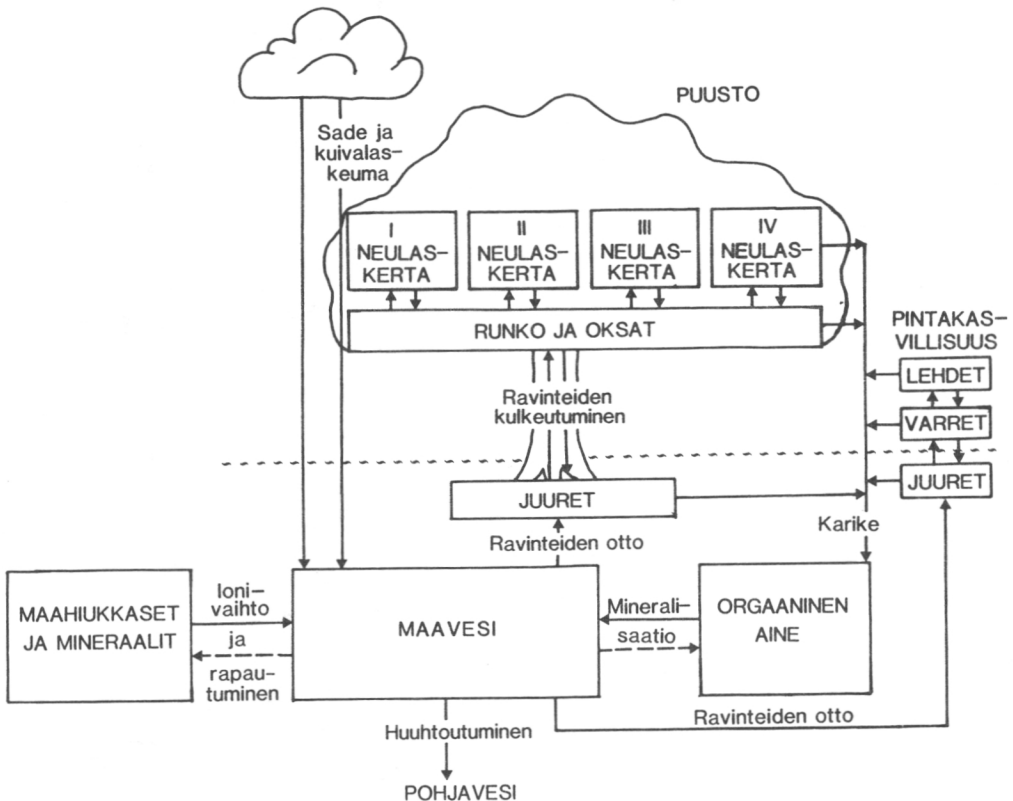
- Derome J. 1989. Acid-Induced Aluminium Mobilization in Finnish Mineral Soils. Teoksessa: Kämäri, J., Brakke, D.F., Jenkins, A., Norton, S.A. & Wright, R.F. (toim.): Regional Acidification Models. s. 23-30. Springer-Verlag.
- Tamminen, P. 1990. Kangasmaan ravinnetunnusten ilmaiseminen ja viljavuuden alueellinen vaihtelu Etelä-Suomessa. Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos, Maantutkimusosasto.
- & Mälkönen, E. 1986. Kangasmaiden herkkyys happamoitumiselle. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 210. 25 s.

Heljä-Sisko Helmisaari

## RAVINNEKIERTO METSÄEKOSYSTEEMISSÄ

### Johdanto

Ravinnedynamiikalla tarkoitetaan ravinteiden kiertoa metsäekosysteemissä, ravinteiden ajallista ja paikallista jakautumaa sekä prosesseja, jotka vaikuttavat ravinteiden käyttöön ja ravinnevirtoihin (kuva 1).



Kuva 1. Ravinnekierto metsäekosysteemissä. Laatikot kuvaavat ravinnemääriä ja nuolet ravinnevirtoja.

Seuraavassa metsikön ravinnekiertoa tarkastellaan lähinnä "Männyn ravinnedynamiikka ja biomassan tuotos" tutkimusprojektin tulosten perusteella. Projektin yhtenä tavoitteena on ollut selvittää kolmen eri kehitysvaihetta edustavan puolukkatyyppin männikön ravinnekiertoa ja biomassatuotoksen ohjautumista. Kenttäkokeet sijaitsevat Ilomantsin Mekrijärvellä.

Ravinteiden kiertoa on mitattu seuraavista eri osavaiheista: 1) sadanta, 2) huuhtoutuminen valuvelessä sekä 3) biologinen kierto: ravinteiden otto, sisäinen kierto puussa, palautuminen karikkeessa maahan ja karikkeen hajotus. Ravinteiden jakautumista on mitattu ekosysteemin eri osista: 1) metsämaasta, 2) pintakasvillisuudesta sekä 3) puustosta. Ravinteiden käyttöön vaikuttavista prosesseista on mitattu rungon, oksien sekä neulasten ja hienojuurten kasvua ja kuolemista.

Ravinteet kulkeutuvat metsikössä kuljetusaineen mukana, joka voi olla esim. vesi tai karike. Ravinnevirrat määritetään mittaamalla kuljetusaineen määrää ja ravinnepitoisuuksia aikayksikössä. Kasvillisuuden eri osien ravinnemäärät saadaan määrittämällä biomassan jakautuminen sekä ravinteiden pitoisuudet biomassassa.

Metsikön ravinnekierron tunteminen on välttämätön edellytys ravinteiden ja perustuotannon vuorovaikutuksen ymmärtämiselle. Yhdenmukaisissa ilmasto-oloissa puuston kasvu määräytyy suurelta osin kasvupaikan ravinteisuustason perusteella. Mineraalien rapautuminen ja ravinteiden kierto metsäekosysteemissä ovat metsämaan ravinteisuuden perustekijöitä.

Tutkimuksen yhtenä tavoitteena on metsiköiden ravinnetaseiden laatiminen. Ravinnetaseen avulla pyritään arvioimaan metsikön ravinnetilaa ja sen kehitystä. Metsikön ravinnetaseen avulla voidaan myös päätellä, tapahtuuko ekosysteemissä ravinteiden kasautumista vai poistuu ko siitä ravinteita. Esim. ilman epäpuhtaudet voivat aiheuttaa muutoksia

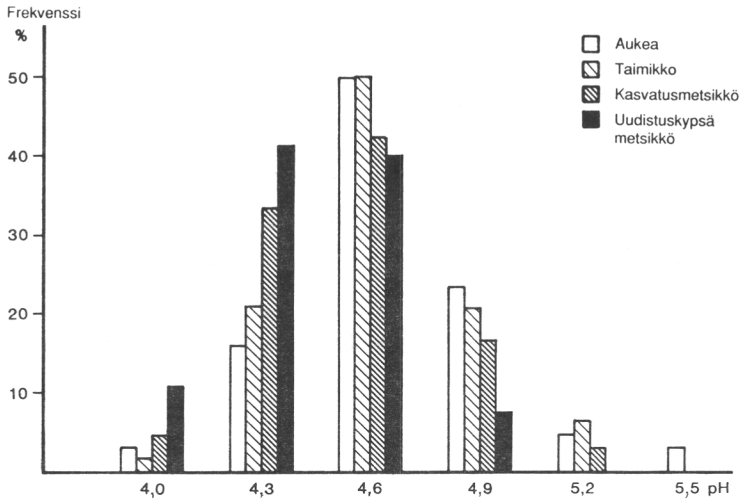
metsikön ravinnetaseessa. Pitkällä aikavälillä ravinnetase muodostuu sadannan ja huuhtoutuvan veden mukanaan kuljettamien ravinnemäärien erotuksena.

#### Laskeuma

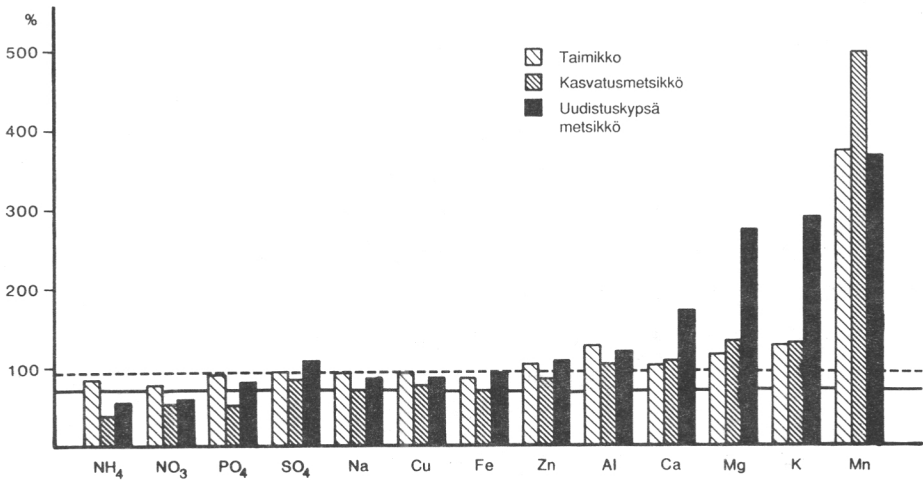
Ravinteita tulee metsikköön kasvillisuuden saataville sateen ja kuivalaskeuman mukana, biologisessa typensidonnassa, rapautumalla mineraaleista sekä lannoitettaessa. Typpeä ja rikkiä tulee metsikköön kasvillisuuden saataville pääasiassa biologisen kierron kautta sekä laskeuman mukana. Muiden ravinteiden lähteinä ovat maaperän rapautuvat mineraalit sekä maahiukkaset, joiden pinnoilta ravinteita vapautuu maaveteen ioninvaihdossa. Metsäekosysteemeissä 80-100 % kalsiumista, kaliumista, magnesiumista ja fosforista tulee rapautumisesta (Waring & Schlesinger 1985). Laskeuman mukana näitä ravinteita tulee vain vähän - esim. kasvien vuosittain sitomasta kaliumista vain noin prosentti tulee ilmakehästä.

Metsikkösadannan määrä ja laatu (erityisesti happamuus) vaikuttaa edelleen maan pintakerroksen ominaisuuksiin ja ravinteiden saatavuuteen maasta. Vuosina 1983-1986 vapaan sadannan pH vaihteli välillä 4,0-5,2 Ilomantsin Mekrijärvellä (kuva 2). Metsikkösadanta oli lievästi vapaata sadantaa happamampaa. Sateen mukana maahan tuli eniten rikkiä ja typpeä. Vuotuinen rikkilaskeuma oli aukealla 6,1 kg/ha ja uudistuskypsässä männikössä 7,0 kg/ha. Sadeveden koostumus muuttui veden valuessa latvuston läpi. Sadevesi huuhtoo latvustosta ravinteita sekä mekaanisesti että ioninvaihdon avulla. Huuhtoutuneet ravinteet ovat peräisin sekä lehtisolukoista että lehtien pinnalle laskeutuneista ilman aerosoleista ja pölystä (kuivalaskeuma). Huuhtoutumisen määrään vaikuttaa sadeveden kemiallinen koostumus, erityisesti happamuus.

Runsaimmin latvustosta huuhtoutui mangaania ja emäskationeja ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  ja  $Mg^{2+}$ ) (kuva 3). Kationien huuhtoutuminen lat-



Kuva 2. Sadeveden pH:n frekvenssijakauma v. 1983-1986 Ilomantsin Mekrijärvellä (Helmisaari & Mälkönen 1989).



Kuva 3. Metsikkösadannan sisältämien ravinteiden määrät prosentteina vapaan sadannan ravinemäärästä v. 1983-1986 Ilomantsin Mekrijärvellä (Helmisaari & Mälkönen 1989). Viivat kuvastavat metsikkösadannan vesimäärää prosentteina vapaasta sadannasta, katkoviiva taimikossa ja yhtenäinen viiva vanhimmissa metsiköissä.

latvustosta oli runsainta vanhimmassa metsikössä. Kaliumia huuhtoutui eniten, koska se on hyvin helppoliukoinen, ja sitä on runsaasti lehden pintasolukossa. Kalium on ainoa ravinne, jota palautuu maahan latvustosta enemmän huuhtoutumalla kuin karikkeen mukana. Typeä huuhtoutui latvustosta silloin, kun solukoissa oli runsaasti liukoisia aminohappoja (keväällä kasvun alkaessa ja syksyllä karikesadon aikana). Kasvukauden muina aikoina typeä pidättyi latvustoon. Vuotuinen typpilaskeuma oli aukealla 2,9 kg/ha ja metsikössä 2,2 kg/ha.

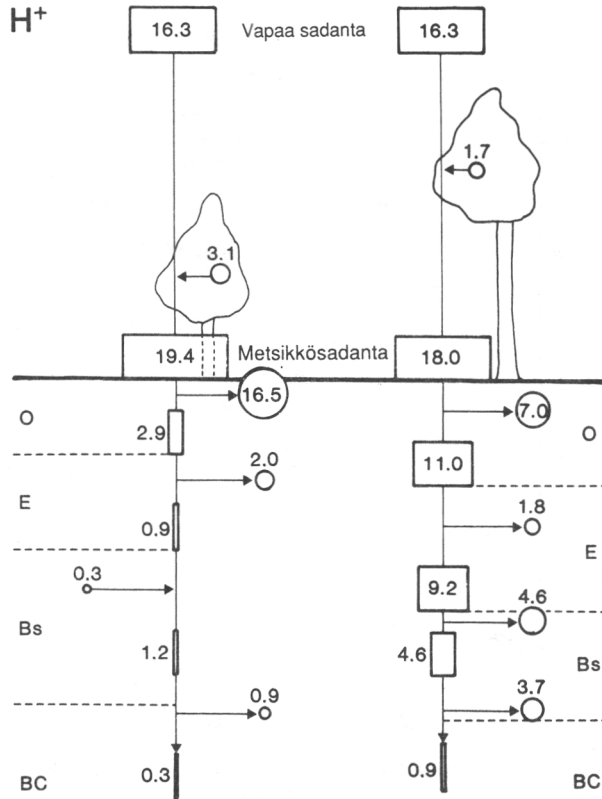
### Valunta

Ravinteita poistuu metsiköstä pääosin huuhtoutumalla, mutta myös puunkorjuun ja keräilytuotteiden mukana ja typeä lisäksi haihtumalla ilmaan denitrifikaatiossa, joka on ilmeisesti kuitenkin vähäistä pohjoisissa havumetsissä.

Ravinteiden huuhtoutuminen maaperästä kuvaa nettopoistumaa, joten pitkällä aikavälillä ravinnetase muodostuu sadannan ja huuhtoutuvan veden mukanaan kuljettamien ravinmäärien erotuksena. Häiriintymättömän metsäekosysteemin maaperässä huuhtoutumisen aiheuttamat ravinmenetykset ovat yleensä vähäisiä. Mikro-organismit ja kasvien juuret sitovat ravinteita ennen kuin ne ehtivät huuhtoutua maan pintakerroksista. Huuhtoutumista saattaa kuitenkin esiintyä aikoina, jolloin ravinteiden otto on vähäistä ja valunta runsasta, kuten keväällä lumen sulaessa. Ilman epäpuhtaudet voivat kuitenkin muuttaa metsikön ravinnetasetta siten, että ravinteita kerääntyy metsikköön tai niitä menetetään huuhtoutumalla.

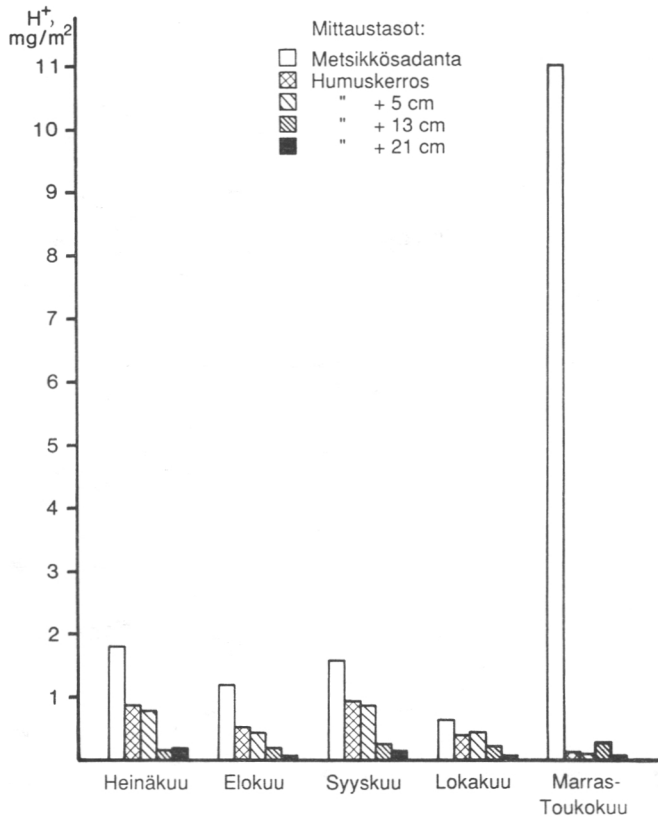
Valuveden vetyionisisältö vaikuttaa maaperän kationien huuhtoutumiseen. Vetyionit vaihtavat maahiukkasten pinnoilta kationeja maaveteen ns. kationinvaihdossa, jonka tuloksena vetyioneja pidättyy maahan, ja kationeja huuhtoutuu syvemmälle maahan. Kationinvaihdon seurauksena happokuorma vähenee tasaisesti maaprofiilissa (kuva 4).





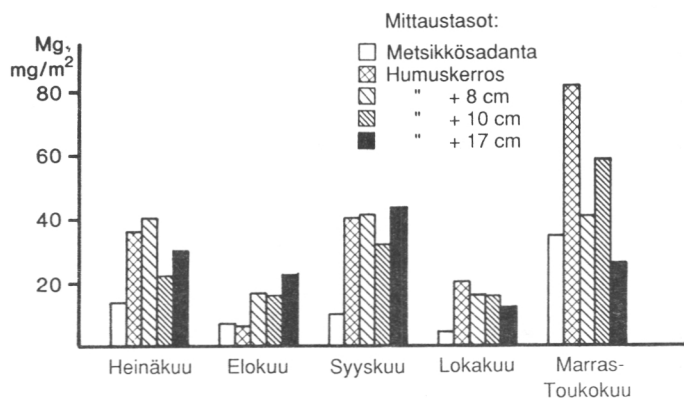
Kuva 4. Vetyionitase ( $mg/m^2$ ) kasvatusmännikössä (vasemmalla) ja uudistuskypsässä männikössä (oikealla) Ilomantsin Mekrijärvellä v. 1985-86 (Helmisaari & Mälkönen 1989). Laatikot kuvastavat ionimääriä, jotka on mitattu vapaassa sadannassa, metsikkösadannassa ja valuedessä eri syvyyksillä maassa. Ympyrät kuvastavat laskettua vapautumista tai pidättymistä maahan.

Suurin osa vuotuisesta happokuormasta tulee lumen mukana. Koska lumen sulaminen on hidasta, puskurireaktioilla on enemmän aikaa kuin runsaiden sateiden yhteydessä - happokuorma pidättyy tehokkaammin maahan kuin kasvukauden aikana (kuva 5). Tämä johtaa siihen, että ravinteita voi huuhtoutua eniten lumen sulamisen aikaan, jolloin puuston ravinteidenotto maasta on vielä vähäistä.

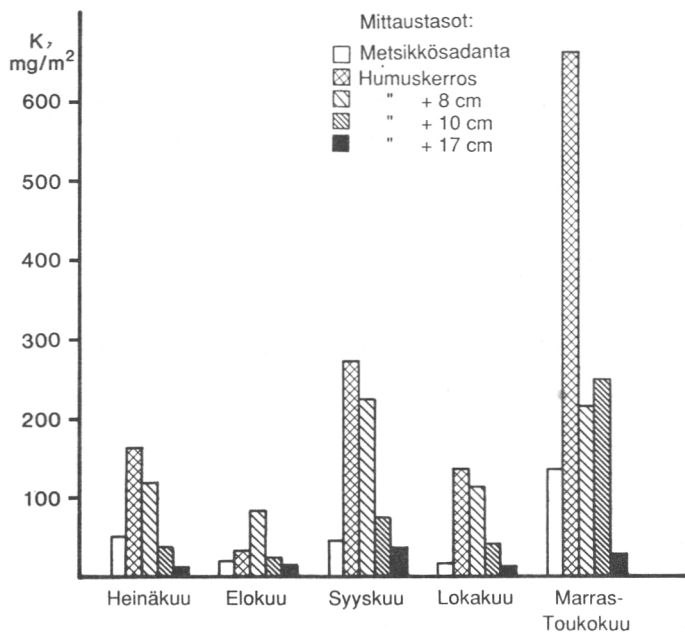


Kuva 5. Metsikkösadannan ja valuveiden  $H^+$ -ionimäärän vuodenaikaisvaihtelu kasvatusmännikössä Iломantsin Mekrijärvellä (Helmisaari & Mälkönen 1989).

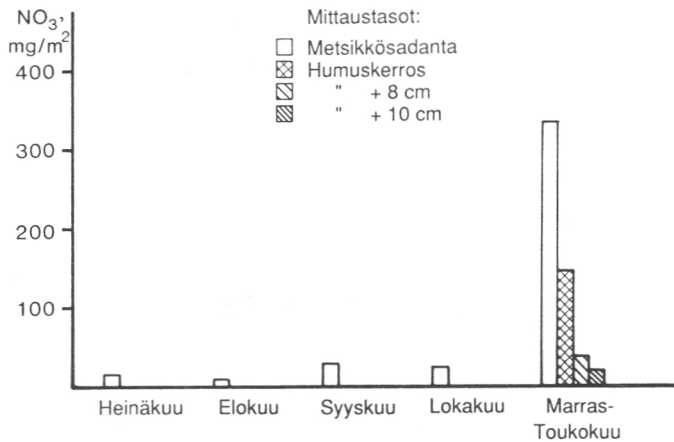
Magnesium ja kalium huuhtoutuvat kationeista helpoimmin, ja niistä voi tulla aikaa myöten puutetta. Emäskationeja, varsinkin magnesiumia ja kaliumia vapautui humuksesta ja huuhtoutui vanhimmassa metsikössä maan pintakerroksista enemmän kuin maahan tuli sateen mukana (kuvat 6 ja 7). Kalium pidättyi kuitenkin syvemmälle maahan. Huuhtoutuminen saattaa lisääntyä metsikön vanhetessa, koska biomassatuotokseen sitoutuu yhä vähemmän ravinteita. Nuoressa metsikössä ravinteita sitoutuu tehokkaasti tuotettavaan biomassaan, ja huuhtoutumismenetykset ovat vähäisiä.



Kuva 6. Metsikkösadannan ja valuveden  $Mg^{2+}$ -ionimäärän vuodenaikaisvaihtelu uudistuskypsässä männikössä Ilo-mantsin Mekrijärvellä (Helmisaari & Mälkönen 1989).



Kuva 7. Metsikkösadannan ja valuveden  $K^+$ -ionimäärän vuodenaikaisvaihtelu uudistuskypsässä männikössä Ilo-mantsin Mekrijärvellä (Helmisaari & Mälkönen 1989).



Kuva 8. Metsikkösadannan ja valuveden NO<sub>3</sub><sup>-</sup> -ionimäärän vuodenaikaisvaihtelu uudistuskypsässä männikössä Ilo-mantsin Mekrijärvellä (Helmisaari & Mälkönen 1989).

Typen määrä metsikössä lisääntyy, koska sitä tulee maahan sateessa huomattavasti enemmän kuin maasta huuhtoutuu. Typ-pilaskeumasta pääosa tulee talvella lumen mukana. Kasvukauden aikana juuristo ja mikro-organismit sitovat lähes kaiken saatavilla olevan typen, eikä typpeä juuri huuhtoudu maaperästä (kuva 8). Lumen mukana tullutta typpeä sekä syksyn ja talven aikana mineralisoitunutta typpeä huuhtoutuu maasta kuitenkin jossain määrin lumen sulaessa, jolloin ravinteiden otto on vähäistä (Helmisaari & Mälkönen 1989).

#### Biologinen kierto

Puiden maavedestä ottamat ravinteet kulkeutuvat eri solukoihin, joissa ne käytetään yhteyttämiseen, hengitykseen, kasvuun tai varastoidaan. Osa solukoiden rakenteeseen sitoutuneista ravinteista vapautuu kasvinosien kuollessa ja kulkeutuu puun sisäisessä ravinnekierrossa takaisin eläviin solukoihin. Osa ravinteista poistuu puusta karikkeen

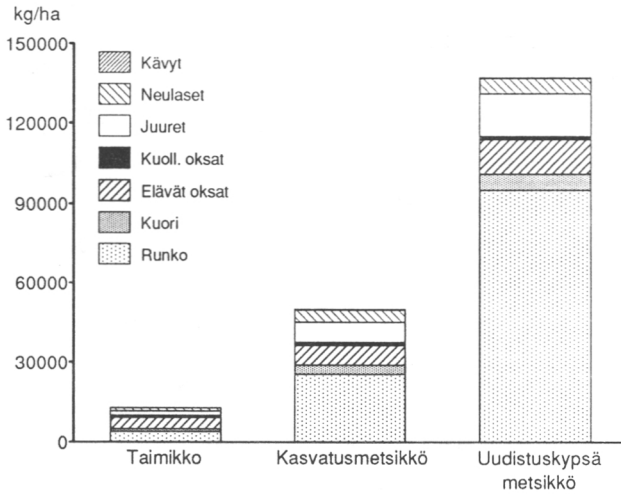
mukana. Maahan palautuneet ravinteet kerääntyvät humuskerrokseen, josta niitä vapautuu vähitellen uudelleen kasvien käyttöön hajotustoiminnan tuloksena.

Metsikön ravinnekierrossa pintakasvillisuus kilpailee puuston kanssa ravinteiden käytöstä. Männikön pintakasvillisuus käyttää puustoon verrattuna noin kaksinkertaisen määrän ravinteita tuotettua kuiva-aineyksikköä kohti. Puolukkatyyppin kasvupaikalla pintakasvillisuuden osuus metsikön vuotuisesta ravinnetarpeesta on noin 40 % (Mälkönen 1974). Ravinteiden sitoutuminen puuston kasvuun riippuu kasvunopeudesta, kehitysvaiheesta ja ravinteiden saatavuudesta maasta. Latvusto, jossa on paljon ravinteita, saavuttaa maksimikokonsa kiertojen aikaisessa vaiheessa, kun taas puubiomassa, jossa on vähän ravinteita, akkumuloituu vähitellen (kuva 9).

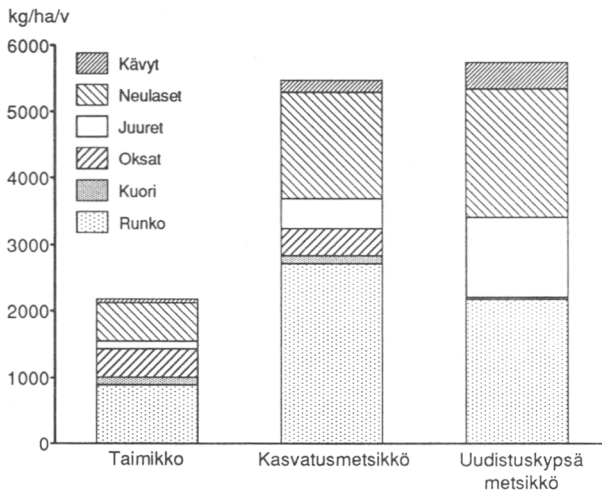
Puuston kasvu ja ravinteiden tarve on suurimmillaan latvuksen sulkeutumisvaiheessa. Latvuksen sulkeutumisen jälkeen kasvunopeus vähenee ja vuotuinen kokonaiskasvu ei juuri lisääny (kuva 10).

Ravinteita tarvitaan eri suhteissa puun eri osien kasvuun. Typpeä käytetään eniten neulasten kasvuun (kuva 11). Kalsiumia puolestaan käytetään pääasiassa rakenneosien, kuten rungon, juurten ja oksien kasvuun (kuva 12).

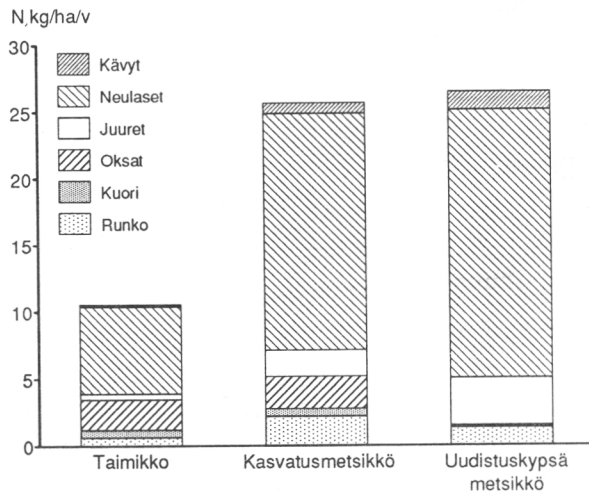
Havupuiden eri osien kasvu ajoittuu kasvukauden eri aikoihin, mikä helpottaa kasvuun tarvittavien ravinteiden ja hiilihydraattien riittävyttä. Kasvavat silmut ja lehdet ovat tehokkaita ravinteiden käyttäjiä alkukesällä, koska ne kasvavat nopeasti lyhyenä aikana. Jälsi kasvaa hitaasti lähes koko kesän ja on siten hetkellisesti verraten heikko hiilihydraattien ja ravinteiden käyttäjä. Hienojuuret kasvavat tehokkaimmin loppukesällä, jolloin puun muut osat eivät enää kasva.



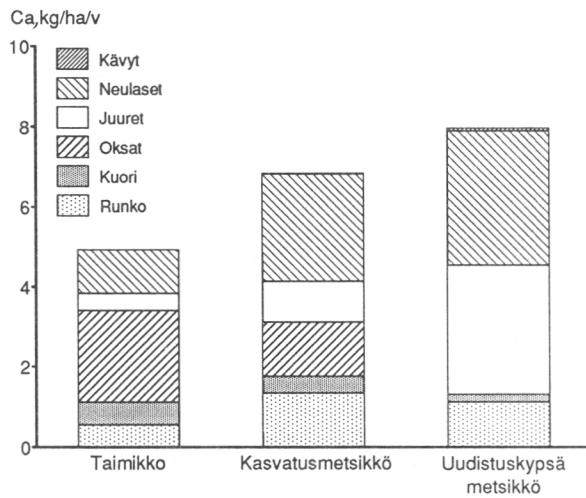
Kuva 9. Keskimääräinen puuston biomassa v. 1983-1987 kolmessa männikössä Ilomantsin Mekrijärvellä.



Kuva 10. Keskimääräinen vuotuinen biomassan tuotos v. 1983-1987 kolmessa männikössä Ilomantsin Mekrijärvellä.



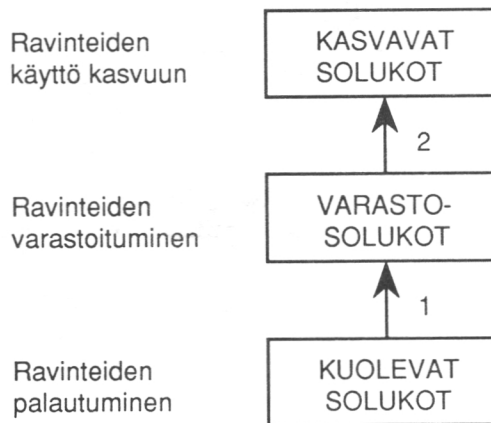
Kuva 11. Typen sitoutuminen biomassatuotokseen v. 1983-1987 kolmessa männikössä Iломantsin Mekrijärvellä.



Kuva 12. Kalsiumin sitoutuminen biomassatuotokseen v. 1983-1987 kolmessa männikössä Iломantsin Mekrijärvellä.

## Sisäinen ravinnekierto

Ravinteiden sisäinen kierto puussa käsittää ravinteiden kulkeutumisen nilassa vanhenevista tai kuolevista kasvinosista nuorempiin osiin joko kasvussa käytettäväksi tai varastoitavaksi (kuva 13). Ravinteiden kulkeutumismäärään ja -suuntaan puun sisällä vaikuttaa kasvavien osien aineenvaihdon tehokkuus, ravinteiden määrä eri lähteissä ja lähtö- ja tulopaikan etäisyys.



Kuva 13. Sisäisen ravinnekierron kaaviokuva.

Sisäiseen kiertoon voivat osallistua vain ne ravinteet, jotka pystyvät liikkumaan nilassa. Ravinteet voidaan jakaa liikkuvuuden perusteella seuraaviin ryhmiin:

Helposti liikkuvat	N, P, K
Keskinkertaisesti liikkuvat	S, Mg, Zn, Cu, Fe, B, Mo
Heikosti liikkuvat	Ca, Mn

Sisäinen ravinnekierto on kaksivaiheinen (Helmisaari 1990b):

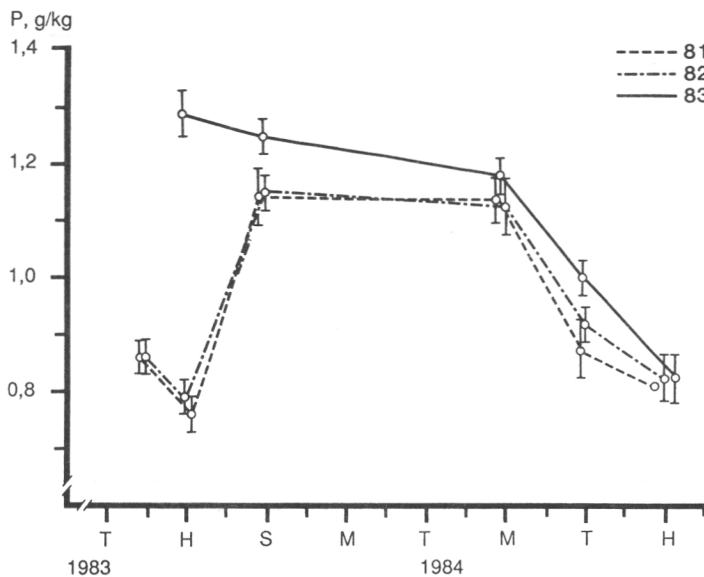
1) Syksyllä liikkuvia ravinteita palautuu kellastuvista neulasista varastoitavaksi vihreisiin neulasiin ja sisäkuoreen talveksi. Neulasten kellastuessa solurakenne rikkoutuu ja



esim. valkuaisaineet hajoavat pienemmiksi osiksi, jotka kulkeutuvat helposti. Ravinteet kulkeutuvat kellastuvista neulasista ensin saman oksan seuraavaksi nuorempiin neulasiin. Kuljetusmatka minimoituu nilavastuksen vuoksi.

2) Keväällä kasvavien osien ravinteiden tarve käynnistää ravinteiden kuljetuksen talvivarastoista kasvaviin osiin, kuten uusiin versoihin ja neulasiin. Ravinteet kulkeutuvat lähimpään aktiiviseen kasvupisteeseen. Ravinteiden ottonopeus nilasta kasvaviin versoihin ja neulasiin riippuu solunjakautumisen ja -kasvun nopeudesta. Kun uusien neulasten kasvu alkaa vähentyä, ravinteita kasaantuu nilaan, ja näin ravinnegradientti loivenee ja kääntyy lopulta toiseen suuntaan. Neulasista tulee ravinteiden nettoviejiä, vaikka samanaikaista tuontia ja vientiä tapahtuu koko neulasten eliniän.

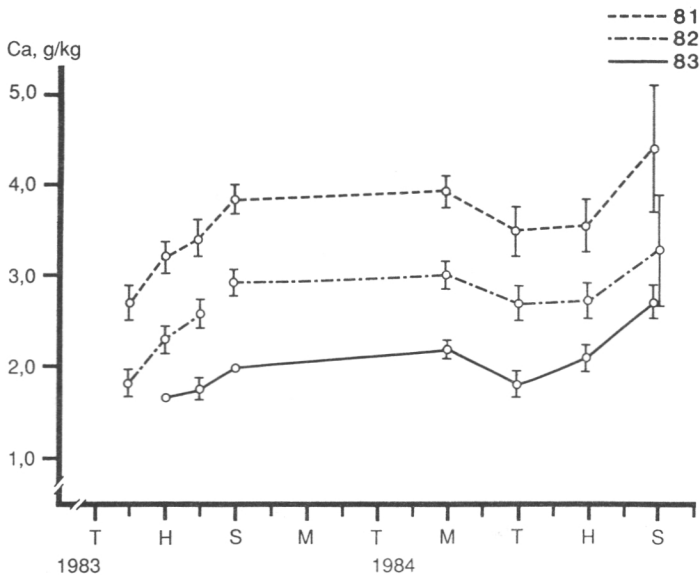
Liikkuvien ravinteiden pitoisuudet neulasissa vaihtelevat ajallisesti sisäisen ravinnekierron mukaan (kuva 14).



Kuva 14. Eri neulasikäluokkien fosforipitoisuuden keskiarvo ja keskiarvon keskivirhe uudistuskypsässä männikössä Ilomantsin Mekrijärvellä (Helmisaari 1990a). (N= 12 puuta, 81= vuonna 1981 muodostuneet neulasen jne.).

Syksyllä (vaihe 1) neulasten kellastuessa liikkuvien ravinteiden määrät lisääntyvät vihreissä neulasissa, kun suuri osa kellastuvien ja pian putoavien neulasten sisältämistä ravinteista siirtyy takaisin puuhun. Maasta otettuja ravinteita varastoituu myös puuhun syksyllä, koska ravinteiden tarve kasvuun on silloin vähäinen. Alkukesällä (vaihe 2) liikkuvien ravinteiden määrät vähenevät kiihkeimmän kasvun aikana vanhimmissa neulasikäluokissa. Talvikautena neulasten ravinnemäärät pysyvät vakaina, koska ravinteet eivät liiku. Helposti liikkuvien ravinteiden puute havaitaan ensin vanhemmissa neulasissa, joista liikkuvia ravinteita kulkeutuu nilassa tarvittaessa kasvaviin osiin (Helmisaari 1990a).

Heikosti liikkuvia ravinteita keräytyy vähitellen neulasiin niiden ikääntyessä, joten mahdollinen puute ilmenee ensin nuorissa neulasissa (kuva 15).



Kuva 15. Eri neulasikäluokkien kalsiumpitoisuuden keskiarvo ja keskiarvon keskivirhe kasvatusmännikössä Ilo-mantsin Mekrijärvellä (Helmisaari 1990a).

## Sisäisen ravinnekierron merkitys

Neulasten sisältämiä ravinteita palautui Iломantsissa vuosina 1983-87 takaisin puuhun seuraavasti:

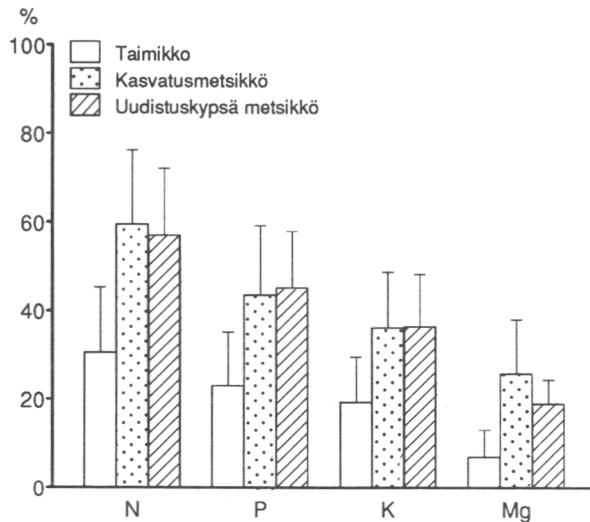
	N	P	K	Mg
	%			
Taimikko	61-76	73-86	80-90	10-55
Kasvatusmetsikkö	74-88	80-91	81-91	17-70
Uudistuskypsä metsikkö	67-76	78-87	75-85	24-51

Sisäinen ravinnekierto on merkittävä ravinnetaloudelle, koska se mahdollistaa ravinteiden varastoinnin puuhun aikoina, jolloin ravinteita on runsaasti saatavilla maasta ja kellastuvista neulasista sekä edelleen varastoitujen ravinteiden kulkeutumisen kasvaviin osiin aikoina, jolloin ravinteiden saatavuus maasta on heikko. Sisäinen ravinnekierto mahdollistaa ravinteiden säästön vähentämällä maahan karkkeen mukana palautuvia ravinteita. Sisäinen ravinnekierto helpottaa näin ravinteiden riittävyyttä tilanteessa, jossa ravinteiden saatavuuden ja tarpeen välillä on ajallista ja/tai paikallista epätasapainoa.

Usein on esitetty, että sisäinen ravinnekierto on erityisen tehokasta vähäravinteisilla kasvupaikoilla. Monet viimeaikaiset tutkimukset kuitenkin osoittavat, että parantunut ravinteiden saatavuus lisää neulasbiomassaa ja sen ravinmäärää, jolloin myös enemmän ravinteita osallistuu sisäiseen kiertoon. Sisäinen ravinnekierto mahdollistaa liikkuvien pääravinteiden tehokkaan käytön useita vuosia lannoituksen jälkeen. Koska hivenravinteiden liikkuvuus on huonompi, niistä saattaa tulla pulaa voimakkaan yksipuolisen typpilannoituksen jälkeen, sillä niitä ei voida riittävästi mobilisoida puun varastoista vastaamaan lisääntyneitä typpimäärää.

Sisäinen ravinnekierto on havupuilla lähes yhtä tehokasta kuin lehtipuillakin (Van den Driessche 1983). Sisäinen kierto on vähäistä joillakin puulajeilla, mm. leppällä. Koska leppä voi sitoa ilmakehän typpeä juurinystyröillään, ei sen evoluutiossa ole ilmeisesti ollut valintapainetta typpeä säätevien prosessien kehittymiseen (Dawson & Funk 1981).

Männikössä sisäinen kierto voi tyydyttää jopa 60 % typen, 45 % fosforin, 35 % kaliumin ja 25 % magnesiumin tarpeesta (kuva 16). Taimikossa sisäinen kierto tyydyttää pienemmän osan ravinnetarpeesta, koska ravinteiden tarve tuotettavaa biomassayksikköä kohti on suuri, ja neulasbiomassa, josta ravinteita palautuu, on vähäinen.



Kuva 16. Sisäisen ravinnekierron tyydyttämä keskimääräinen prosenttiosuus vuotuisesta ravinnetarpeesta v. 1983-1987 kolmessa männikössä Ilomantsin Mekrijärvellä. Pystyviivat kuvaavat viiden vuoden keskiarvon keskihajontaa.

Sisäisen ravinnekierron merkitys puiden kasvulle on hyvin tärkeä lyhytaikaisesti (vuoden aika-askeleella), mutta pitkällä aikavälillä (kymmenet-sadat vuodet) karikkeen sisältämien ravinteiden vapautuminen hajotustoiminnan kautta on keskeinen ravinteiden saatavuuteen vaikuttava tekijä.

#### Karikkeen hajoaminen

Metsikön kehityksen alkuvaiheessa puuston karikesadon vuotuinen kokonaismäärä lisääntyy, mutta alkaa tasoittua latvuston sulkeutuessa. Vuotuinen karikesato oli taimikossa 450 kg/ha, kasvatusmetsikössä 1590 kg/ha ja uudistuskypsässä metsikössä 2190 kg/ha. Valtaosa havupuiden karikkeesta on neulasia.

Juurikarikkeen määrää on vaikea mitata maastossa, mutta eräiden arvioiden mukaan se saattaa ylittää puuston maanpäällisen osan karikesadon (Vogt ym. 1986). Arvio perustuu tuloksiin, joiden mukaan vuotuisesta nettotuotoksesta kuluu 30-70 % hienojuurten uusiutumiseen.

Karikkeen sisältämien orgaanisten yhdisteiden hajoamista kasveille käyttökelpoisiksi epäorgaanisiksi ioneiksi kutsutaan mineralisaatioksi. Mineralisaationopeus säätelee typen saatavuutta kasveille. Vain pieni osa humuksen orgaanisista typpivaroista voi mineralisoitua yhden kasvukauden kuluessa. Maan typpivaroista vain noin prosentti on yleensä mineralisoitunutta ja kasveille käyttökelpoista. Koska karikkeen hajoaminen on niin hidasta, sisäisen kierron merkitys korostuu lyhyellä aikavälillä.

Ravinnekiertotutkimusta tarvitaan, jotta metsäekosysteemin toiminta tunnettaisiin paremmin. Kun toiminta tunnetaan, voidaan edelleen kehittää mittareita, joilla metsän ravinnetilaa voidaan mitata yksinkertaisemmin, kuten esim. neulasanalyysillä. Ravinnekiertotutkimuksen avulla voidaan myös

seurata metsissä tapahtuvia muutoksia jo ennen kuin ne ovat silminnähtäviä.

#### Kirjallisuus

- Dawson, J.O. & Funk, D.T. 1981. Seasonal change in foliar nitrogen concentration of *Alnus glutinosa*. *Forest Science* 27(2):239-243.
- Helmisaari, H-S. 1990a. Temporal variation in nutrient concentrations of *Pinus sylvestris* needles. *Scandinavian Journal of Forest Research* 5:177-193.
- 1990b. Nutrient retranslocation within the foliage of *Pinus sylvestris*. *Tree Physiology* (painossa).
- & Mälkönen, E. 1989. Acidity and nutrient content of throughfall and soil leachate in three *Pinus sylvestris* stands. *Scandinavian Journal of Forest Research* 4:13-28.
- Mälkönen, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 84(5):1-87.
- Van den Driessche, R. 1984. Nutrient storage, retranslocation and relationship of stress to nutrition. In: Bowen, G.D. & Nambiar, E.K.S., (eds.) *Nutrition of Plantation Forests*. pp. 181-209. Academic Press, London.
- Waring, R.H. & Schlesinger, W.H. 1985. *Forest ecosystems, concepts and management*. Academic Press, London. 340 s.
- Vogt, K.A., Grier, C.C. & Vogt, D.J. 1986. Production, turnover and nutrient dynamics of above- and belowground detritus of world forests. *Advances in Ecological Research* 15.

Eino Mälkönen

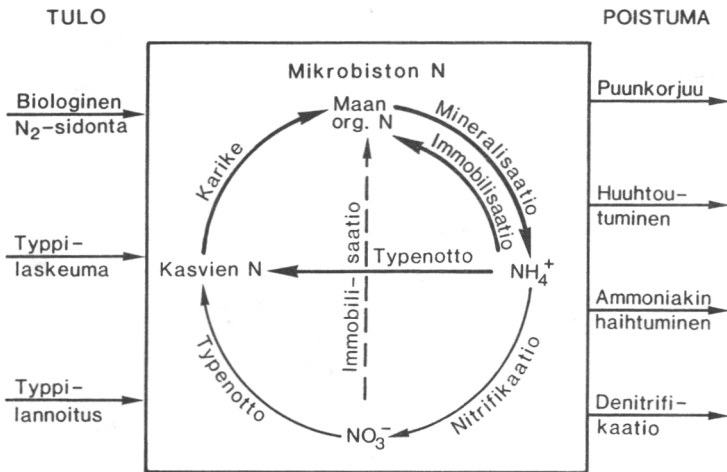
## KUINKA PALJON METSÄT SIETÄVÄT TYPPEÄ?

### Metsämaan typpivarat

Meillä vallitsevissa luonnonoloissa kangasmetsien kasvua säätelee ensisijaisesti kasveille käyttökelpoisen typen saatavuus. Vaikka metsämaassa puiden juuristokerroksessa on yleensä paljon typpeä (2-3 t/ha), vain noin 1% em. kokonaisytypen määrästä on välittömästi kasveille käyttökelpoista ammonium- ( $\text{NH}_4^+$ ) tai nitraatti- ( $\text{NO}_3^-$ ) typpeä (Viro 1969). Syynä maan orgaaniseen aineeseen sitoutuneen typen niukkaan vapautumiseen on maamikrobiston hidas hajotustoiminta, mikä johtuu sekä havumetsien tuottaman karikkeen laadusta että mikrobistolle epäedullisista maaperä- ja ilmastotekijöistä.

Kasvillisuuden alkuperäisenä typen lähteenä on ilmakehän typpikaasu ( $\text{N}_2$ ), jota vain tietyt bakteerit kykenevät sitomaan ja tuottamaan siitä ammoniumtyppeä. Valtaosa metsien typpivaroista onkin alun alkaen kerääntynyt metsämaahan biologisen typensidonnan tuloksena (kuva 1). Happamien metsämaiden typensidonnan tehoa pidetään kuitenkin melko pienenä, muutamana kilona hehtaaria kohti vuodessa.

Käyttökelpoisen typen niukkuuden vuoksi useilla metsänhoidon toimenpiteillä on pyritty edistämään typen vapautumista maan orgaanisesta aineesta puiden käyttöön. Aikojen kuluessa varsinkin metsäpalot ja kulotus ovat vaikuttaneet sekä metsämaiden typpivarioihin että niiden käyttökelpoisuuteen (esim. Viro 1969). Orgaanisen aineen palaessa sen sisältämä typpi haihtuu ilmaan, mutta palon seurauksena typen mineralisaatio maassa yleensä vilkastuu ja samalla kasvien typensaanti paranee.



Kuva 1. Typen kierto metsäekosysteemissä (Vitousek 1981).

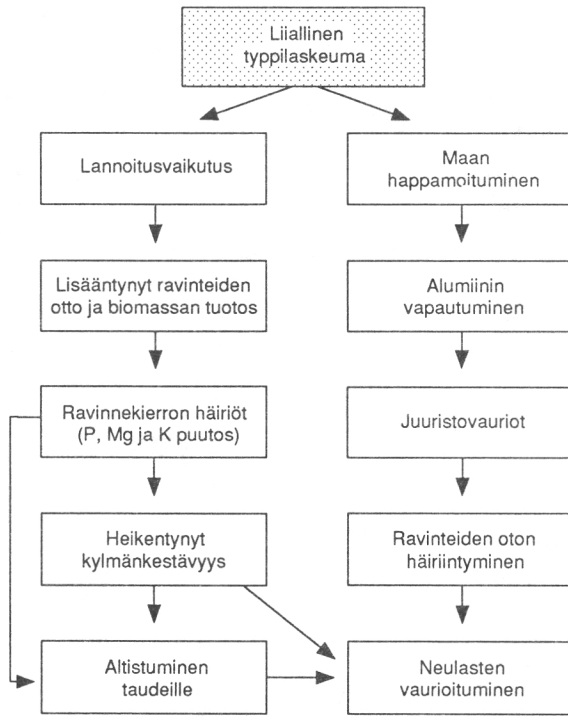
Ilman epäpuhtauksista aiheutuvien haittavaikutusten tultua tiedostetuiksi, on kiinnitetty kasvavaa huomiota myös typpilaskeumaan metsien kunnan yhtenä uhkatekijänä. Sen vaikutusten ja metsien sietokyvyn arvioiminen on vaikeaa, koska typen kierto metsäekosysteemissä on hyvin monivaiheinen ja useilta yksityiskohdiltaan vielä heikosti tunnettu ilmiö.

### Typpihypoteesi

Metsien kunnan heikkenemisen syy-yhteyksistä on esitetty lukuisia hypoteeseja, joille maaperän osalta on yleensä yhteistä se, että ravinteiden saatavuudessa tapahtuu muutoksia (Cowling ym. 1988). Suuren typpilaskeuman alueilla, kuten esim. Etelä-Ruotsissa, havaittuja metsävaurioita on selitetty ns. typpihypoteesin avulla (kuva 2). Sen mukaan metsäekosysteemiin voi ajan mittaan kertyä käyttökelpoista typpeä enemmän kuin metsäkasvillisuus ja maamikrobit pystyvät käyttämään. Tällöin nitraattitypen muodostumisen ar-



vioidaan voimistuvan ja maan happamoituvan samalla kun osa typpiylimäärästä huuhtoutuu nitraattina pohjaveteen. Kasvien ravinteiden saannin kannalta on merkitystä lisäksi sillä, että nitraatin mukana huuhtoutuu myös emäskationeja ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ). Näin syntyvän ravinne-epätasapainon vuoksi puut voivat altistua erilaisille stressitekijöille, kuten kylmyydelle, kuivuudelle tai taudeille.

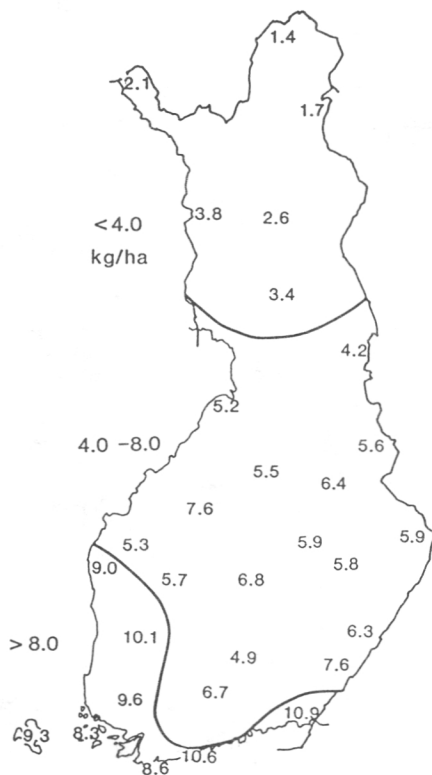


Kuva 2. Typpihypoteesiin liittyviä tekijöitä.

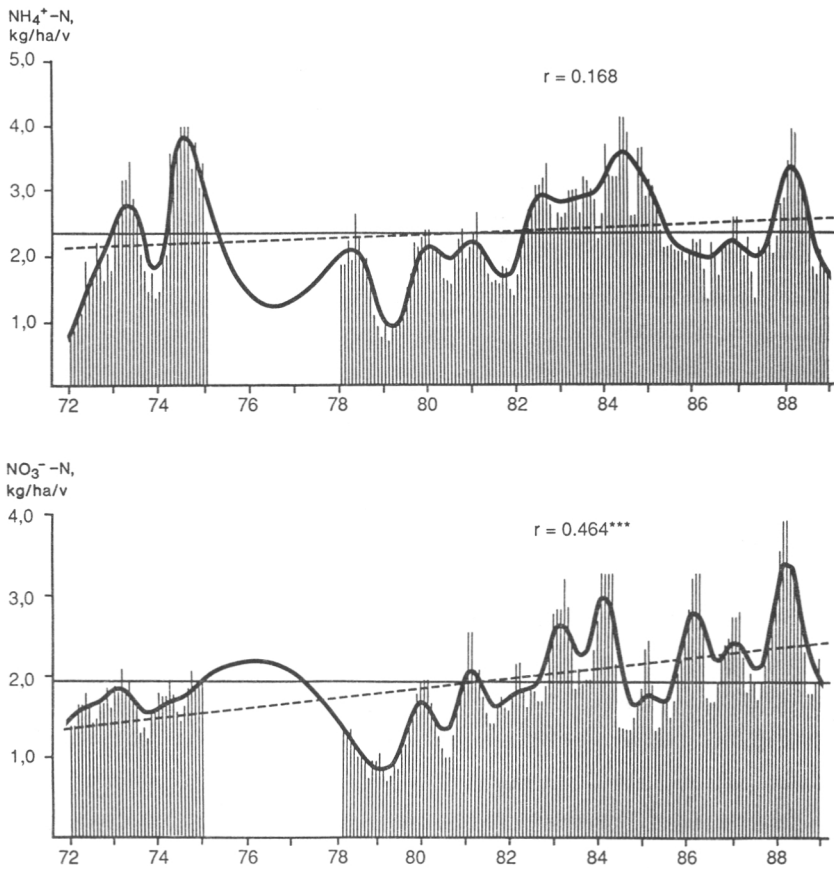
#### Typpilaskeuma Suomessa

Typpilaskeuman pitkäaikaisesta kehityksestä maassamme ei ole kovin luotettavia mittaustuloksia (Viro 1959, Järvinen & Vänni 1990). Maamme eteläisimmissä osissa vuotuinen kokonaistyppilaskeuma on nykyisin noin 10 kg/ha ja pohjoisimmissä

sa osissa 1-2 kg/ha (kuva 3). Analyysitulosten mukaan lähes 30 % kokonaistypillaskeumasta on orgaanista tyyppiä, joka siis ei välittömästi vaikuttaisi puiden typen saantiin tai maan happamoitumiseen. Toistaiseksi on kuitenkin epäselvää, mikä osuus tästä orgaanisesta tyypestä on muodostunut typpilaskeumasta mikrobitoiminnan tuloksena keräysastioissa, jotka on tyhjennetty kuukausittain, ja mikä osa siitä on peräisin ympäröivästä luonnosta. Joka tapauksessa ainakin 70 % typpilaskeumasta on ns. mineraalityyppiä, josta ammoniumtyyppiä on hiukan enemmän kuin nitraattia. Viime vuosikymmenen aikana nitraattityypen laskeuma on kuitenkin ollut selvässä nousussa, kuten kuva 4 osoittaa (Järvinen & Vänni 1990). Nitraattityypen laskeuma on pääosin peräisin fossiilisten polttoaineiden käytöstä eli liikenteestä ja energia-tuotannosta; ammoniumtyypen laskeuma puolestaan intensiivisestä maataloudesta, varsinkin karjataloudesta.



Kuva 3. Kokonaistypen vuosilaskeuma (Järvinen & Vänni 1990).



Kuva 4. Ammonium- ja nitraattityypen laskeuman kehitys Kuopiossa (Järvinen & Vänni 1990).

#### Kriittinen kuorma ja metsien typpitilanne

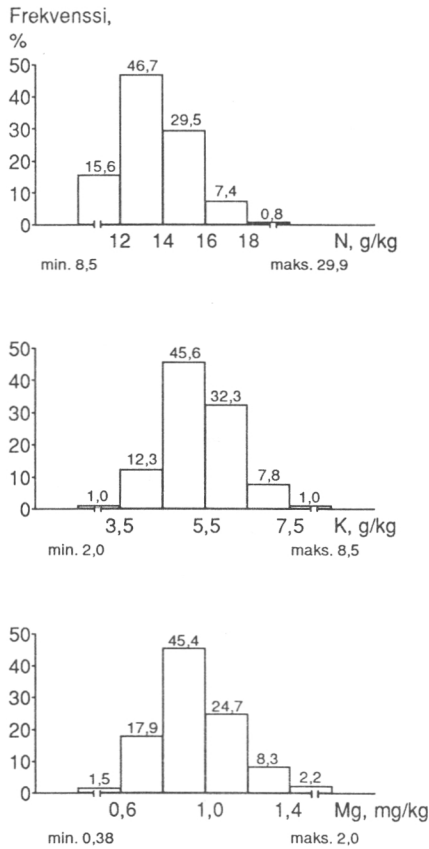
Metsäekosysteemien sietokykyä erilaisten epäpuhtauksien määrän suhteen on pyritty arvioimaan ns. kriittisten kuormien avulla. Kun kriittinen kuormitus ylittyy, ilmenee luonnossa vaurio-oireita. Koska ekosysteemit ovat herkkyydeltään erilaisia, niin kriittinen kuormakin on suuressa määrin paikakokohtainen ominaisuus.

Kriittiseksi kuormaksi on määritelty yhden tai useamman epäpuhtauden kuormituksen arvo, jonka alapuolella tietyille

herkille ympäristön osille ei nykytietämyksen mukaan aiheudu haitallisia muutoksia pitkälläkään aikavälillä (Nilsson & Grennfelt 1988). Pohjoismaissa havumetsien kriittiseksi typpikuormaksi on arvioitu 3-15 ja lehtimetsien 5-20 kg N/ha vuodessa. Näihin arvoihin verrattuna typpilaskeuma Etelä-Suomessa on lähellä kriittistä kuormaa. Metsien typensietokykyä ei ole kovin tarkasti arvioitavissa pelkästään typpi-kuorman perusteella, koska typen ohella muutkin epäpuhtaudet vaikuttavat typensietokyvyn määräytymiseen. Eryteisesti rikkikuormitus ja maan puskurikapasiteetti ovat tärkeitä tekijöitä myös typensietokyvyn kannalta (Schulze ym. 1989).

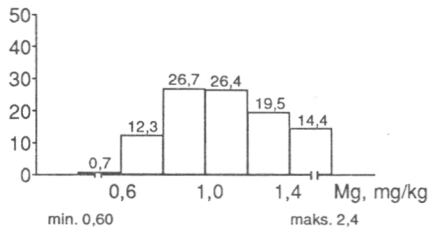
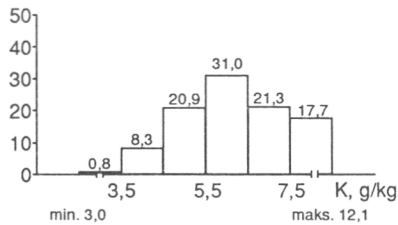
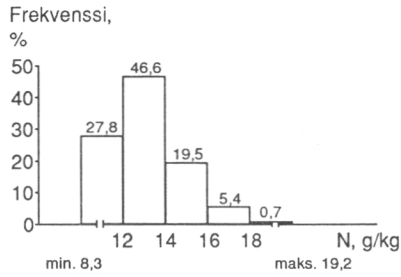
Kriittinen typpikuormitus ilmenee metsämaassa siten, että metsäekosysteemi ei enää pysty käyttämään typpilisäystä hyväkseen, vaan huuhtoutuminen alkaa kasvaa. Meillä nykyisin vallitsevaa tilannetta kuvaavat mm. metsikkösadannan ja maaveden laatu. Kaikkien pääpuulajiemme latvustot pidättävät sadevedestä typpeä. Sadeveden ammoniumtypestä on pidättynyt 37-43 % ja nitraatista vastaavasti 4-23 % (Hyvärinen 1990). Neulaset ja lehdet ottavat sadevedestä typpeä ja käyttävät sen ravinteena. Korkean typpikuormituksen alueella Keski-Euroopassa latvuskerros ei pidätä typpeä.

Suomessa maaveden ammonium- ja nitraattipitoisuudet ovat käytettävissä olevien tulosten mukaan olleet alhaisia, joten typen huuhtoutuminen juuristokerroksesta on vähäistä (Helmissaari & Mälkönen 1989). Valuma-alue tutkimusten perusteella typen huuhtoutumisesta vesistöihin on yksittäistapauksessa ilmennyt viitteitä, mutta yleensä se on ollut varsin vähäistä (Kallio & Kauppi 1990). Vaikka typpilaskeuma on kohonnut Suomessa ainakin viime vuosikymmenen aikana, valtaosa typpiyhdisteistä sitoutuu metsäkasvillisuuteen. Typpilaskeuma kattaa vain tietyn osan metsäkasvillisuuden typen tarpeesta, sillä esim. keski-ikäinen männikkö tarvitsee normaalisti kasvaakseen typpeä vuosittain ainakin 60 kg/ha ja koivikko vastaavasti yli 100 kg/ha.



Kuva 5. Männyn neulasten typpi-, kalium- ja magnesiumpitoisuuksien frekvenssit kangasmetsissä (ILVES-aineisto 1988). Havaintoja 614. Sopiva pitoisuus: N > 14,0, K > 4,0 ja Mg > 0,8 g/kg.

Neulasanalyysien mukaan metsien ravinnetila on suhteellisen vakaa. Voimakkaita puutostapauksia tai optimitason selvästi ylittäviä ravinnepitoisuuksia on esiintynyt melko vähän (Mälkönen 1989). Esim. neulasten typpipitoisuus on valtaosassa näyteaineistoa ollut optimitason alapuolella (kuvat 5 ja 6). Neulasten ravinnepitoisuuksia tarkasteltaessa on kuitenkin ilmennyt joitakin viitteitä ravinnesuhteiden muuttumisesta.



Kuva 6. Kuusen neulasten typpi-, kalium- ja magnesiumipitoisuuksien frekvenssit kangasmetsissä (ILVES-aineisto 1988). Havaintoja 267.

#### Lannoituskokeet typpitaseen arvioinnin perustana

Pitkäaikaisten lannoituskokeiden tulokset antavat kokemuseräisen mahdollisuuden arvioida metsämaan typpitaseen tulevaa muuttumista, vaikka ne eivät otakaan riittävästi huomioon typpilaskeuman suoria vaikutuksia neulasiin. Tarkasteltavissa kokeissa on 20 vuoden aikana annettu toistuneina lannoituksina typpeä yli 300 kg/ha (Mälkönen ym. 1990). Tämä typpilisäys vastaa nykyisillä laskeuma-arvoilla likimain yhden kiertoajan kuluessa tulevaa typpikuormitusta Keski-Suomessa, jossa kokeet pääosin sijaitsevat.

Typpilisäysten seurauksena humuskerroksen orgaanisen aineen ja sen sisältämä typen määrä on lisääntynyt huomattavasti (taulukot 1 ja 2). Sen sijaan kivennäismaassa ei ole havaittu mainittavia muutoksia. Lannoitteena annettu typpi ei ole laskenut maan pH-arvoja eikä se ole vaikuttanut emäskyllästysasteeseen. Samansuuntaisia tuloksia on saatu muutamilta Etelä-Suomessa sijaitsevilta kokeilta, joilla typpeä on annettu 30 vuoden kuluessa noin 700 kg/ha (Mälkönen & Kukkola 1990).

Taulukko 1. Typpilisäysten vaikutus metsämaan orgaanisen aineen määrään 20 vuoden aikana. Kivennäismaa tarkoittaa 0-10 cm:n kerrosta. Suhteellinen muutos on laskettu yksittäisiltä kokeilta saatujen muutosprosenttien keskiarvona.

Metsiköt	Käsittely	Humuskerros		Kivennäismaa		Kokeita kpl
		t/ha	Muutos, %	t/ha	Muutos, %	
Männiköt	0	22		45		26
	N	28	+42	44	+2	
Kuusikot	0	22		71		14
	N	29	+46	74	+4	

Taulukko 2. Typen kertyminen metsämaan pintakerrokseen typpilisäysten seurauksena 20 vuoden aikana.

Metsiköt	Käsittely	Humuskerros		Kivennäismaa		Kokeita kpl
		t/ha	Muutos, %	t/ha	Muutos, %	
Männiköt	0	310		812		26
	N	425	+55	883	+23	
Kuusikot	0	448		1810		14
	N	595	+43	1976	+10	

Orgaanisen aineen lisääntymisestä maassa on hyötyä erityisesti kuivilla kangasmailla, joilla veden ja ravinteiden pidättyminen paranee. Metsämaan happamoitumisen kannalta humuskerrokseen kertyvästä typestä voi muodostua haittatekijä silloin, jos nitraattitypen muodostuminen voimistuu ja nitraattia huuhtoutuu huomattavasti. Tällainen kehitys voi olla mahdollista lähinnä päätehakkuun jälkeen, jolloin valunta lisääntyy ja kasvillisuuden ravinteiden käyttö vähenee lyhytaikaisesti.

Typpitilannetta suhteessa muiden ravinteiden saatavuuteen osoittaa myös se, miten puusto reagoi typpilannoitukseen. Typpi on jatkolannoituksissa antanut edelleen hyvän kasvunlisäyksen lukuunottamatta lehtomaisia kankaita, joilla kasvunlisäyksen aikaansaaminen edellyttää typpilisäyksen ohella myös fosforilannoitusta (Mälkönen ym. 1990). Pelkän typpilannoituksen selvimpänä haittavaikutuksena on Pohjois-Suomen nuorissa metsissä ilmennyt kasvuhäiriöitä, jotka ovat yhteydessä typpilisäyksen aiheuttamaan boorin puutteeseen. Metsänlannoituksessa on tästä syystä käytetty booripitoisia lannoitteita jo useiden vuosien ajan. Typpilannoitus on edelleen käyttökelpoinen menetelmä puuston kasvun lisäämiseksi. Tavoitteena niin typpi- kuin muitakin lannoitteita käytettäessä tulee olla ravinteiden saatavuuden tasapainottaminen.

#### Päätelmiä

Hyvässä kasvukunnossa olevien metsien typpitaseessa ei käytettävissä olevien tulosten perusteella ole odotettavissa nopeasti ilmeneviä haitallisia muutoksia nykyisen typpikuorituksen vallitessa. Nykyinen typpilaskeuma lieventää käyttökelpoisen typen niukkuutta ja aiheuttaa lievän lannoitusvaikutuksen, mutta toistaiseksi siitä ei ole havaittu aiheutuneen mitattavia haittavaikutuksia metsämaiden ominaisuuksissa. Niin kauan kun typpiyhdisteet sitoutuvat metsäkas-



villisuuden biomassatuotokseen, typpilaskeuma ei suoranaisesti aiheuta maan happamoitumista.

Vuosikymmeniä jatkuessaan typpilaskeuma merkitsee "hallitsematonta lannoitusta", joka ei ole toivottavaa talousmetsissäkään, vaikka puuston kasvu sen seurauksena joksikin aikaa lisääntyisi. Typen jatkuva kertyminen maahan merkitsee kuitenkin potentiaalista happamoitumisriskiä, joka voi ilmetä helpoimmin viljavilla mailla päätehakkuun jälkeisessä vaiheessa. Tästä kehitysvaiheesta ei toistaiseksi ole mitaustuloksia.

## Kirjallisuus

- Cowling, E., Krahl-Urban, B. & Schimansky, C. 1988. Hypotheses to explain forest decline. Teoksessa: Forest decline. KFA Julich GmbH. s. 120-125.
- Helmisaari, H-S. & Mälkönen, E. 1989. Acidity and nutrient content of throughfall and soil leachate in three Pinus sylvestris stands. Scandinavian Journal of Forest Research 4:13-28.
- Hyvärinen, A. 1990. Deposition on forest soils - Effect of tree canopy on throughfall. Teoksessa: Kauppi, P., Kenttämies, K. & Anttila, P. (toim.): Acidification in Finland. s. 199-213. Springer-Verlag
- Järvinen, O. & Vänni, T. 1990. Bulk deposition chemistry in Finland. Teoksessa: Kauppi, P., Kenttämies, K. & Anttila, P. (toim.): Acidification in Finland. s. 151-165. Springer-Verlag.
- Kallio, K. & Kauppi, L. 1990. Ion budgets of small forested basins. Teoksessa: Kauppi, P., Kenttämies, K. & Anttila, P. (toim.): Acidification in Finland. s. 811-823. Springer-Verlag.
- Mälkönen, E. 1989. Metsämaan happamoituminen ja maanhoito. Metsä ja Puu 10:20-21.
- , Derome, J. & Kukkola, M. 1990. Effect of nitrogen inputs on forest ecosystems - Estimation based on long-term fertilization experiments. Teoksessa: Kauppi, P., Kenttämies, K. & Anttila, P. (toim.): Acidification in Finland. s. 323-347. Springer-Verlag.
- & Kukkola, M. 1990. Effect of long-term fertilization on biomass production and nutrient status of Scots pine stands. Fertilizer Research (painossa).
- Nilsson, J. & Grennfelt, P. (toim.) 1988. Critical loads for sulphur and nitrogen. Miljørapport 15. NORD.
- Schulze, E-D., Vries de, W., Hauhs, M., Rosén, K., Rasmussen, L., Tamm, C-O. & Nilsson, J. 1989. Critical loads for nitrogen on forest ecosystems. Water, Air and Soil Pollution 48:451-456.
- Viro, P. 1959. Loss of nutrient and the natural nutrient balance of the soil of Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 41.2.
- 1969. Prescribed burning in forestry. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 67.7.
- Vitousek, P.M. 1981. Clear-cutting and the nitrogen cycle. In: Clark, F.E. & Rosswall, T. (eds) Terrestrial nitrogen cycles. Processes, ecosystem strategies and management impacts. Ecological Bulletin 33:631-642.

Erkki Lipas

## KALKITUKSEN VAIKUTUS RAVINTEIDEN SAATAVUUTEEN

### Johdanto

Maan happamuuden torjunnassa käytännön vaihtoehdot ovat kulotus, tuhkalannoitus ja kalkitus. Kun kulotusta voidaan käyttää vain metsän uudistamisvaiheessa ja tuhkalannoitus on osoittautunut ongelmalliseksi mm. levitysteknisistä syistä, on kalkitus useimmiten ainoa vaihtoehto.

Metsän kalkitus on saavuttanut vakiintuneen aseman Länsi-Saksassa, jossa Liittovaltio vuonna 1988 tuki tätä toimintaa 235 miljoonan Suomen markan arvosta. Vertailun vuoksi: metsänparannusvarat Suomessa 1987 olivat 351 milj. mk. Etelä-Ruotsissa tultaneen lähiaikoina seuraamaan Saksan esimerkkiä, sillä kiireellisesti kalkittavaa metsäaluetta lasketaan olevan 650 000 ha (Lindevall 1989). Tätä taustaa vasten näyttää varsin todennäköiseltä, että metsän kalkituksen aloittamista myös meillä tullaan vaatimaan jo lähitulevaisuudessa. Tutkimuksen olisi tällöin oltava valmis osoittamaan, miten asia käytännössä pitäisi hoitaa.

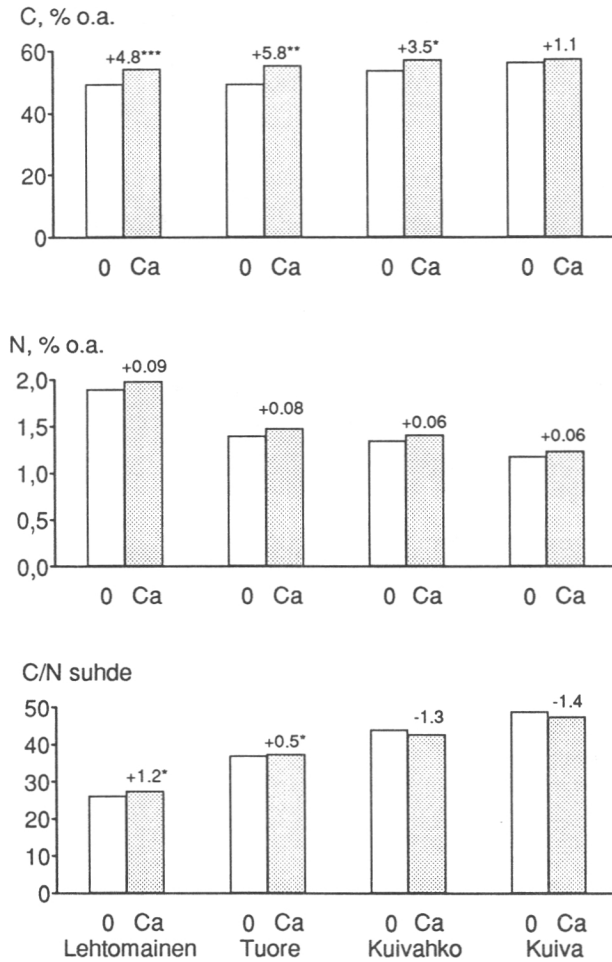
Maanviljelyksen perusparannustoimenpiteenä kalkitus on yleisesti hyväksytty ja kokemukset siitä ovat myönteisiä. Metsän osalta on kuitenkin jälleen kerran todettava, etteivät peltopuolen tulokset ole suoraan soveltamiskelpoisia. Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosaston vanhojen kalkituskokeiden tulokset (Derome ym. 1986) ovat olleet eräiltä osin hieman yllättäviä. Ehkä hälyttävintä on kasvuntaantuma, joka yli 20 vuotta kalkituksesta on kuusella ollut 10 %:n luokkaa.

Kalkin vaikutus puuston kasvuun tapahtuu maan kautta. Happamuusasteen muutos vaikuttaa eri ravinteiden saatavuuteen eri tavoin. On syytä uskoa, että häiriöt puun ravinnetaloudessa ovat syynä kasvutappioihin. Jotta näitä osattaisiin välttää, olisi tunnettava kalkin vaikutukset eri ravinteisiin.

## Typpi

Käyttökelpoisen typen puute on tunnetusti Suomen kangasmailla eniten kasvua rajoittava tekijä. Kun toisaalta kokonaistyyppivarat maassa ovat juuristokerroksessa 2-3 t/ha (Viro 1969), ongelman ydin on tyyppiyhdisteiden liian hidaskasvu. Maanviljelyskemian oppikirjatiedon mukaan (Salonen 1967) kalkitus lisääkin maan liukoisen typen tarjontaa vilkastuttamalla bakteerien ja sädesienten toimintaa sienien kustannuksella. Samalla humusaineen määrän pitäisi vähetä ja sen laadun parantua, mitä kuvastaa C/N-suhteen aleneminen. Metsämaan kalkituskokeissa, joissa oli annettu kalkkikivijauhetta 2 t/ha, oli 20 vuodessa tapahtunut juuri päin vastoin (Derome 1990). Humuskerroksen orgaanisen aineksen määrä oli lisääntynyt. Kun aineksen kokonaistyyppi toisaalta ei ollut lisääntynyt, oli C/N-suhde kasvanut (tuoreilla kankailla) tai säilynyt ennallaan (kuivilla kankailla) (kuva 1).

Tulos osoittaa, että kalkitus ei ole lisännyt typen saatavuutta puille, vaan on todennäköisesti edistänyt mikrobien kilpailukykyä tyyppistä (Kaunisto & Norlamo 1976). Kalkin pH:ta nostava vaikutus (0,3-0,5 pH-yksikköä) ei ole ollut riittävä muuttamaan olosuhteita sellaisiksi kuin pelto-omaassa. Myös turvemilla kalkitus vaikuttanee samalla tavoin, sillä sen on todettu alentavan neulasten tyyppi-toisuutta (Kaunisto 1988). Kalkitus metsässä edellyttäisi siten, että samalla annettaisiin typpilannoitus.



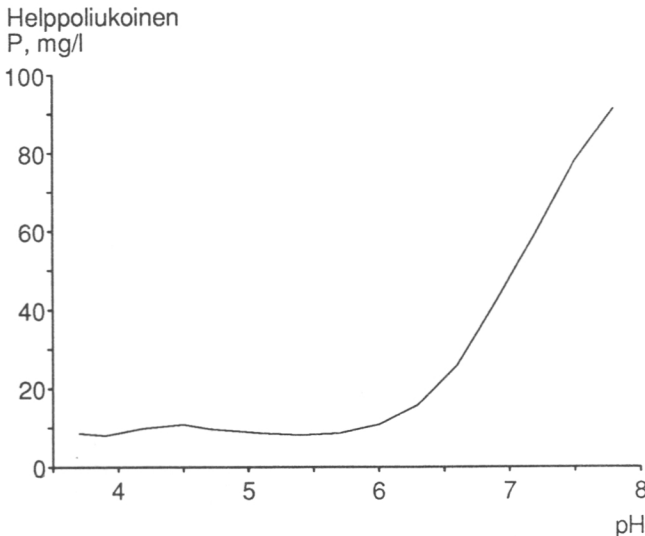
Kuva 1. Humuskerroksen orgaanisen aineen kokonaishiili (C) ja -typpi (N) sekä näiden suhde kalkitsemattomilla (0) ja noin 20 v. sitten kalkituilla koaloilla (Ca) kasvupaikkaryhmittäin (Derome 1990). Luvut pylväiden päällä ilmoittavat muutoksen %-yksikköinä. \* muutos merkitsevä, riski 5%, \*\* hyvin merkitsevä, riski 1%, \*\*\* erittäin merkitsevä, riski 0,1%.

## Fosfori

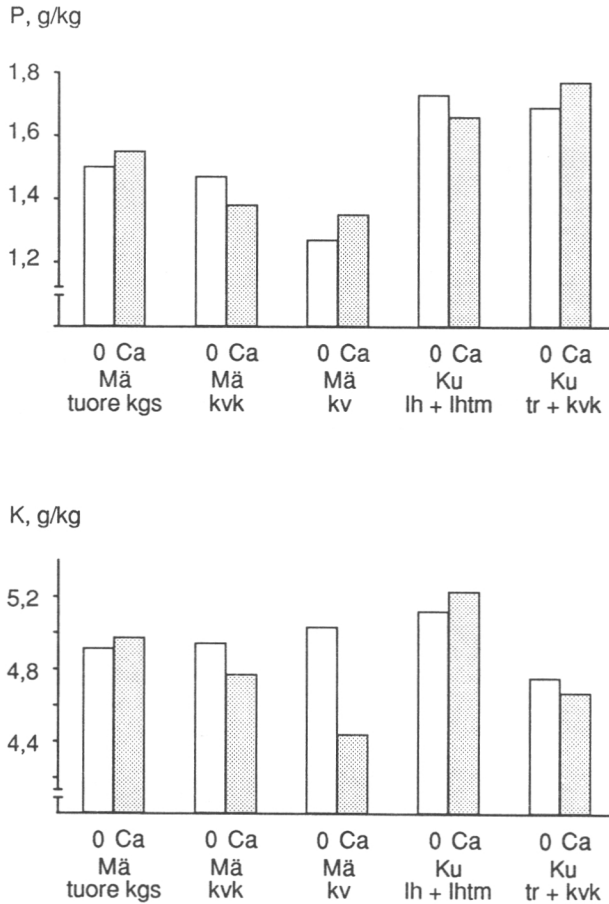
Maanviljelyksessä kalkituksen eräänä tärkeänä etuna pidetään fosforin liukoisuuden lisääntymistä. Tätä tarkoitusta varten pH:n olisi kuitenkin noustava yli kuuden, sillä liian

lievä kalkitus voi jopa vähentää fosforin saatavuutta (kuva 2). Happamissa olosuhteissa fosfori sitoutuu rauta- ja alumiinifosfaateiksi.

Kuten edellä on todettu, metsämaassa kalkitus on nostanut maan pintaosan pH:ta vain 0,3-0,5 yksikköä (pH ilman kalkitusta oli 3,8-4,5), jolloin humuskerroksen pH jää edelleen alle viiden. Kalkki ei siten ole saanut fosforia liikkeelle, vaan neulasten P-pitoisuudet ovat samaa suuruusluokkaa kuin kalkitsemattomillakin koealoilla (kuva 3). Fosforin saatavuus perustuneekin metsämailla siihen, että rauta ja alumiini sitoutuvat orgaanisen aineen kanssa kompleksiyhdisteiksi (Tisdale & Nelson 1966, s. 212), jolloin raa-kafosfaatti voi liueta happamaan maaveteen.



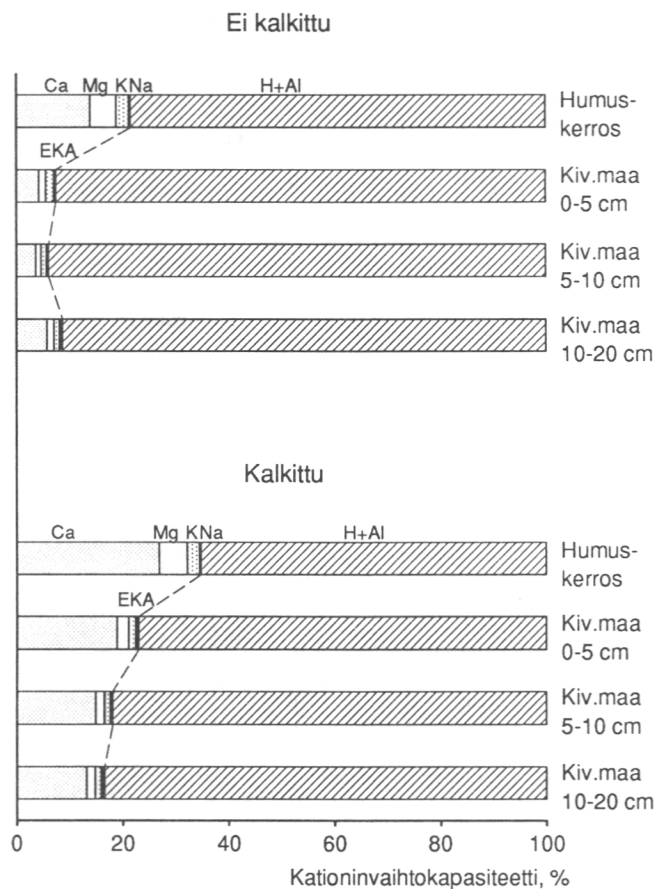
Kuva 2. Käyttökelpoisen fosforin (P) riippuvuus maan happamuusasteesta (pH) Suomen peltomaissa (Kurki 1982).



Kuva 3. Neulasten fosfori- ja kaliumpitoisuudet kalkittomilla (0) ja noin 20 v. sitten kalkituilla koaloilla (Ca) kasvupaikkaryhmittäin (Derome 1990). Erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

### Kalium

Suomen metsämaissa kaliumia on riittävästi kivennäismaassa, mutta turpeessa liian vähän. Kalkitus lisää saviaineksen kaliuminpidätyskykyä (Tisdale & Nelson 1967, s. 264), mutta humusaineksen pidätyskykyyn sillä ei ole vaikutusta. Kuten kuvasta 4 on nähtävissä, kaliumin osuus vaihtuvista kationeista ei ole lisääntynyt kalkituksella enempää humuskerroksessa kuin kivennäismaassakaan.



Kuva 4. Kalkituksen vaikutus eräiden kationien osuuteen vaihtopaikoista (Derome ym. 1986). EKA = emäskyllästysaste.

Kalkituksella ei siis ole ollut vaikutusta metsämaan kaliumtarjontaan kivennäismailla (kuva 3). Turpeella sillä sen sijaan on ollut K-tarjontaa vähentävä vaikutus (Kaunisto 1988), mikä voi johtua hajottajamikrobien toiminnan vilkastumisen aiheuttamasta ravinnepilpailun kiristymisestä (Kaunisto & Norlamo 1976).



## Kalsium ja magnesium

Kaikissa kalkitusaineissa on runsaasti kalsiumia ja jonkin verran magnesiumia. Sen vuoksi nämä ravinteet lisääntyvät maassa, jos kalkitaan (kuva 4). Kalsiumista ei ravinteena ole koskaan todettu olevan pulaa. Magnesiumin puutteesta sen sijaan on tietoja ainakin Keski-Euroopasta. Jos maassa on niukasti magnesiumia, happamien sateiden vetyionit voivat tyhjentää maan magnesiumvaraston.

Vaihtuvan kalsiumin ja magnesiumin suhde (Ca/Mg) on eräs käytetty tunnusluku maan magnesiumtarpeen arvioinnissa. Amerikassa on metsämaille suositeltu, että suhde ei saisi nousta yli seitsemän (Wilde 1958), Suomen peltomailla pidetään tavoitteena arvoa alle 13 (Viljavuustutkimuksen... 1988). Vanhoilla kalkituskokeilla suhde oli keskimäärin seuraava (Derome ym. 1986):

Ca/Mg	Humuskerros		Kiv. maa (0-5 cm)	
	Vert. ala	Kalkittu	Vert. ala	Kalkittu
	4,6	6,8	3,6	5,1

Lukujen mukaan Suomen metsämaiden magnesiumtila on niin hyvä, että normaali kalkkikivijauhe (1% Mg) riittäisi turvaamaan magnesiumin tarjonnan. Jos niukkuutta esiintyy, se on todennäköisintä karkeilla kivennäismailla (Kurki 1982, Lipas 1986).

## Rikki

Paitsi ilman epäpuhtautena tuleva ongelmajäte, rikki on myös kaikille kasveille välttämätön ravinne. Kasvit käyttävät rikkiä yhtä suuria määriä kuin fosforia. Lisäksi rikin tarve suurenee, jos lannoitetaan typellä (Korkman & Uoti 1981). Metsämaan luontaiset rikkivarat ovat kuitenkin riit-

tävät rikin tarpeen tyydyttämiseen. Kalkki toimii sateessa tulevan rikkihapon neutraloijana:



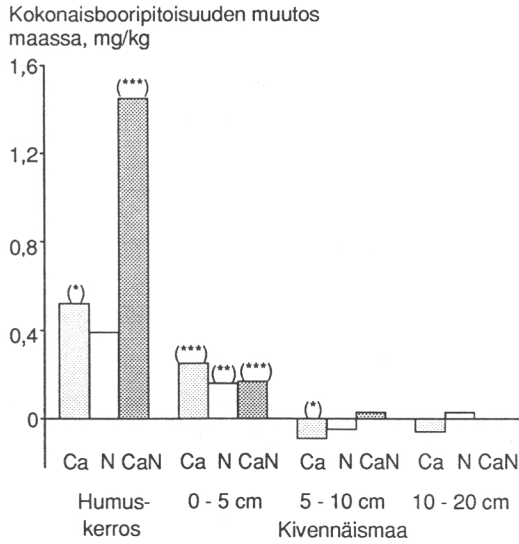
Syntyvä yhdiste kipsi ( $\text{CaSO}_4$ ) on veteen vaikeasti liukeneva, eikä sen kertyminen maahan haittaa kasvillisuutta. Tämä reaktio, samoin kuin vastaava laskeuman typpihapon neutralointi, ovat ne ilmiöt, joissa kalkki suoranaisesti torjuu happanta sadetta.

### Boori

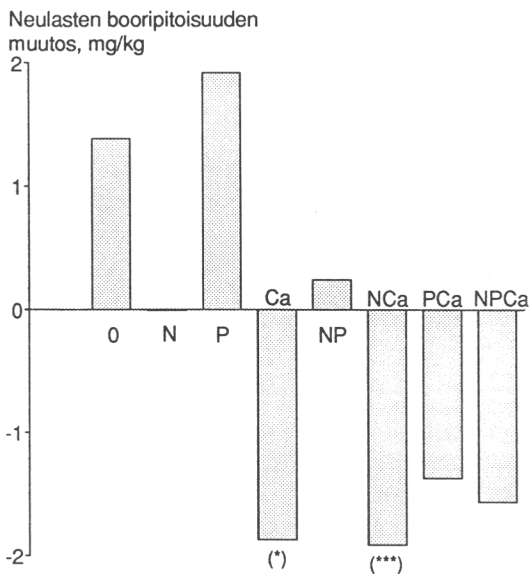
Suomen metsämaissa boorin niukkuus on melko yleistä. Normaalioloissa tarjonta riittää kyllä puiden tarpeeseen, mutta kalkitus näyttää aiheuttavan puutostilan, joka voi johtaa jopa kasvuhäiriöön (Lipas 1990). Boorinpuute on todennäköisintä maan keski-, itä- ja pohjoisosissa.

Boorikysymys on erityisen ongelmallinen siitä syystä, että maan boorivarat eivät kalkituksella vähene, vaan päin vastoin lisääntyvät (kuva 5). Liukoisen boorin on tosin peltomailla havaittu olevan alhainen välillä pH 4,6-5,8 (Kurki 1982).

Vaikka booria pitäisi siis kalkituksesta huolimatta olla maassa riittävästi, neulasten booripitoisuus on kalkituilla koealoilla selvästi laskenut (kuva 6). Kalkin ohella annettu typpilannoitus näyttää vielä lisänneen boorinpuutostilaa. Ilmiö lienee suurin syy kalkituksella saatuun kasvutaantumiseen, sillä alhaisilla booripitoisuuksilla erityisesti kuusen pituuskasvun ja neulasten booripitoisuuden välillä on havaittu selvä riippuvuus (Lipas 1990).



Kuva 5. Maan kokonaisbooripitoisuuden muutos lannoittamattomaan verrattuna kalkituilla (Ca), typpilannoitetuilla (N) ja kalkin sekä typpilannoituksen saaneilla koealoilla (Derome 1990). Aineistona on viisi kuusikkokoetta, jotka on kalkittu 23 v. sitten. Merkitsevyudet kuten kuvassa 1.



Kuva 6. Uusintalannoitusta seurannut booripitoisuuden muutos neulasissa eri tavoin lannoitetuilla koealoilla (Lipás 1990). Aineistona on kolme kuusikkoetta, jotka on kalkittu kolme vuotta sitten. Merkitsevyudet kuten kuvassa 1.

Boorinsaantihäiriön syitä ei ole vielä selvitetty, mutta mahdollisesti on kysymys maamikrobien toiminnan häiriintymisestä. Boorin kemiallinen sitoutuminen orgaaniseen aineeseen on myös mahdollista. Boorivajaus on ollut pahimmillaan 2-3 vuotta kalkituksen jälkeen. Aikaa myöten 10-20 vuoden kuluessa tilanne palautuu ennalleen.

Kalkituksen yhteydessä tulisi tämän mukaan aina varmistua boorin tarjonnasta. Todennäköisesti tähän riittää booripitoisen lannoitteen, esimerkiksi metsän NP-lannoksen tai metsän PK-lannoksen levitys kalkin ohella. Tarvittava boorimäärä lienee suuruusluokkaa 1 kg B/ha.

#### Muut ravinteet

Tässä erikseen käsittelemättömät muut ravinteet eivät ole aiheuttaneet ongelmia puun kasvatuksessa kalkin kanssa tai ilman. Mangaani näyttää toimivan kalkituksessa boorin tavoin (Derome 1990), mutta koska sitä on luonnostaan runsaasti, ei puute ole todennäköistä.

Raudan, kuparin ja sinkin saatavuus voi pienentyä kalkituksen seurauksena. Silti puute on epätodennäköistä. Turvemaiden sinkki- ja kuparituloa lienee kuitenkin syytä seurata metsitetyillä nevoilla ja suopelloilla (Veijalainen 1988). Molybdeeni on ainoa hivenaine, jonka saatavuus lisääntyy kalkituksen ansiosta (Pietilä 1988). Tarve on kuitenkin muutenkin niin vähäinen, että puutetta ei ole koskaan havaittu metsänkasvatuksessa.

#### Suosituks

Kalkituksella on maata parantava pitkäaikainen vaikutus, joka ilmenee maan pintaosan happamuuden vähenemisenä, humusaineksen lisääntymisenä humuskerroksessa ja happamien sateiden neutraloitumisena. Samalla ainakin kalsiumin, magnesiumin

ja molybdeenin saatavuus paranee. Toisaalta haittapuolina on ainakin typen ja boorin, mahdollisesti eräiden muidenkin ravinteiden tarjonnan pieneneminen.

Jotta kalkitus ei aiheuttaisi haittaa puuston kasvulle, tulisi puusto samalla lannoittaa riittävän monipuolisesti. Normaalien lannoitusohjeitten lisäksi tulisi aina varmistaa boorin saanti. Yleisperiaate on siten sama kuin maataloudessa: Kalkitus ei korvaa lannoitusta, vaan molempia tarvitaan.

## Kirjallisuus

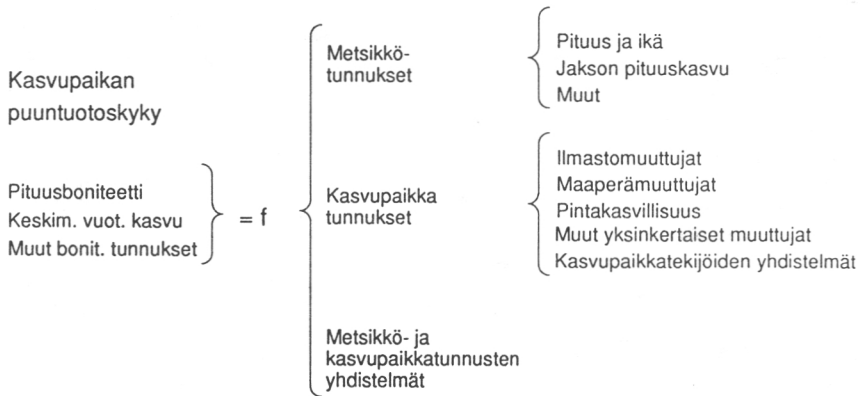
- Derome, J. 1990. Effects of forest liming on the nutrient status of podzolic soils in Finland. Julkaisussa: IUFRO Management of nutrition in forests under stress. Sept. 18-21. 1989. Water, Air, and Soil Pollution (painossa).
- , Kukkola, M. & Mälkönen, E. 1986. Forest liming on mineral soils. Results of Finnish experiments. National Swedish Environmental Protection Board. Report 3084. 107s.
- Kaunisto, S. 1988. Kalkitus. Julkaisussa: E. Ahti (toim.): Soiden käyttö metsänkasvatukseen. Suontutkimusosasto 60 vuotta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 308:116-119.
- & Norlamo, M. 1976. On nitrogen mobilization in peat. I. Effect of liming and rotavation in different incubation temperatures. Seloste: Typen mobilisaatiosta turpeessa. I. Kalkituksen ja muokkauksen vaikutus erilaisissa haudutuslämpötiloissa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae. 88(2). 27 s.
- Korkman, J. & Uoti, J. 1981. Lannoituksen ja kasvinsuojelun perusteet. Kemira Oy, Helsinki. 64 s.
- Kurki, M. 1982. Suomen peltojen viljavuudesta III. Viljavuuspalvelu Oy, Helsinki. 181 s.
- Lindevall, B. 1989. Marken mäste skyddas. Skogen 1989(11):5.
- Lipas, E. 1986. Maan ravinnetila siemenviljelyksillä. Abstract: Soil-fertility levels in Finnish seed orchards. Folia Forestalia 667. 19 s.
- 1990. Kalkituksen aiheuttama boorinpuute kangasmaan kuusikossa. Abstract: Lime-induced boron deficiency in Norway spruce on mineral soils. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 352. 22 s..
- Pietilä, A. 1988. Hivenet herkkiä pH-muutoksille. Julkaisussa: Kalkki, puhdas luonnontuote. Pellervo 1988(5):14.
- Salonen, M. 1967. Kalkitus. Teoksessa: Maanviljelijän tietokirja 1:170-177. WSOY, Helsinki.
- Tisdale, S. & Nelson, W. 1966. Soil fertility and fertilizers. 2 painos. Macmillan Company, New York. 694 s.
- Veijalainen, H. 1988. Hivenlannoitus. Julkaisussa: Ahti E. (toim.): Soiden käyttö metsänkasvatukseen. Suontutkimusosasto 60 vuotta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 308:102-105.
- Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä. 1988. Viljavuuspalvelu Oy, Helsinki. 70 s.
- Viro, P. J. 1969. Prescribed burning in forestry. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 67(7). 49 s.
- Wilde, S. A. 1958. Forest soils. Ronald Press Company, New York. 537 s.

Pekka Tamminen

## METSÄMAIDEN ALUEELLINEN VILJAVUUS

Mitä on viljavuus?

Viljavuudella tarkoitetaan kasvupaikan puuntuotoskykyä eli boniteettia. Viljavuutta on vaikea mitata suoraan. Siksi viljavuus arvioidaan yleensä epäsuorasti tuotosluokkien (esim. veroluokat) tai pituusboniteetin avulla. Meillä Suomessa viljavuutta on arvioitu metsätaloudessa 1920-luvulta lähtien metsä- ja suotyyppien ja niihin liitettävien lisämääritteiden avulla. Nykyisin käytetään myös pituusboniteetteja tuotoskyvyn arvioinnissa. Muitakin mahdollisuuksia on olemassa, mutta em. menetelmät ovat erilaisina muunnelmina yleisimpiä myös muualla maailmassa (kuva 1).

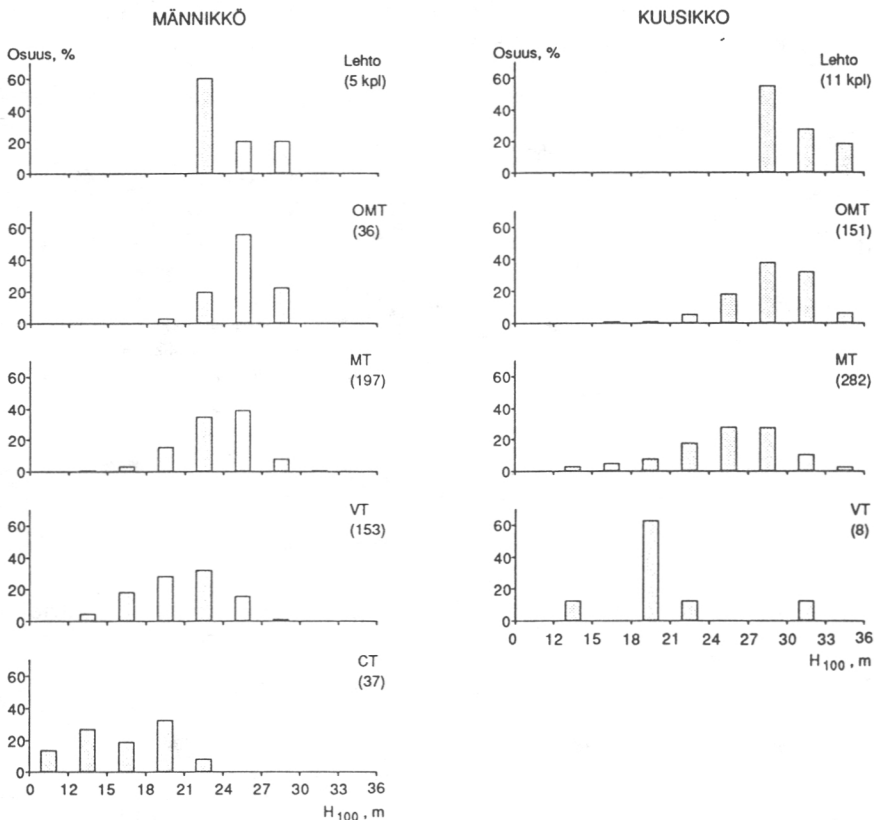


Kuva 1. Kasvupaikan puuntuotoskyvyn arvioimistavat (Hägglund 1981).

### Viljavuuden mittaaminen

Puuntuotoskyvyn arvioinnin tarkkuudesta on vähän selvityksiä. Esimerkiksi metsätyyppiemme sisäisestä tuotoskyvyn vaihtelusta on niukasti tietoa. Ruotsalaista bonitointijärjestelmää kehitettäessä arvioitiin myös bonitointitapojen

virheitä. Jos pituusboniteetti - valtapuiden pituus 100 vuoden iällä - arvioidaan kasvupaikkatekijöiden avulla, virhe on keskimäärin 2...3 m. Nuorille metsille tarkoitetun ns. välikasvumenetelmän virhe on noin 1,6...2,1 m, ja ikään sekä pituuteen perustuvan perusmenetelmän virhe on 0,8...2 m (Hägglund ja Lundmark 1981). Siis metsätyypittelyämme vastaava bonitointi on epätarkinta, mutta perusmenetelmäänkin sisältyy oma virheensä. Metsätyypeille on esitetty keskimääräisiä pituusboniteetteja, mutta toisaalta vaihtelu on kuitenkin varsin suuri, kuten oheinen kuvakin osoittaa (kuva 2). Tähän aineistoon sisältyy tosin myös heikosti pituusbonitoinnin vaatimukset täyttäviä puustoja.

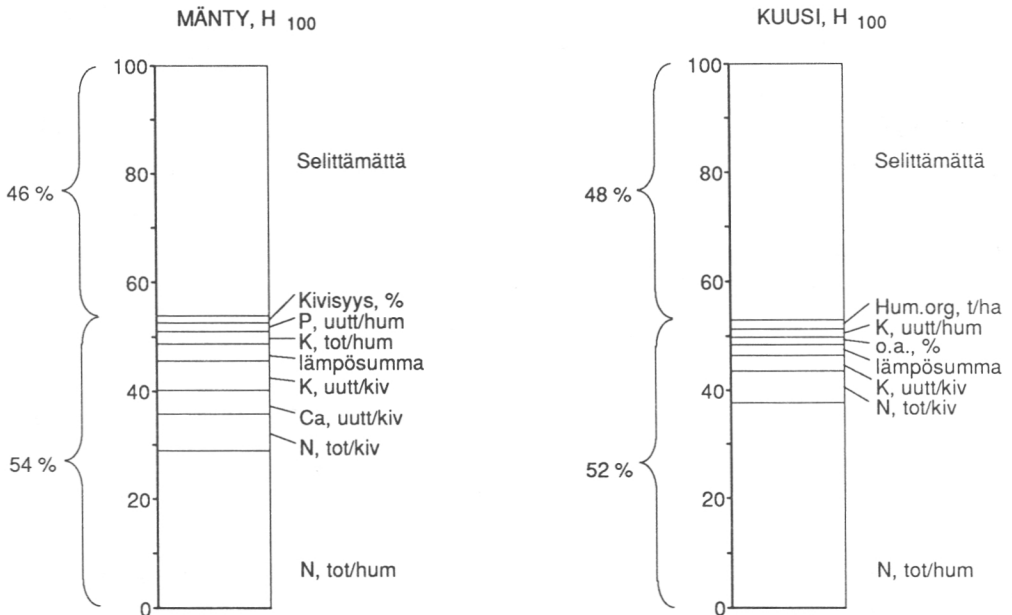


Kuva 2. Pituusboniteetit metsätyypeittäin a) männiköissä ja b) kuusikoissa.



## Viljavuuden komponentit

Kuinka suuri osuus viljavuudesta sitten selittyy kasvupaik-  
katekijöillä, erityisesti maaperätunnuksilla? Pelto- ja  
puutarhaviljelyssä viljavuusanalyysi tarkoittaa muokkausker-  
roksesta otetun näytteen analyysiä ja sen tulkintaa. Metsämailla viljavuutta ei voida kuitenkaan yhdistää maa-  
analyysillä arvioidun ravinteisuuden kanssa samassa mitassa,  
koska ravinteisuuden osuus viljavuudesta on olennaisesti  
pienempi. Metsämailla puusadon pitkä kasvatusaika,  
topografian, maapeitteen paksuuden, kivisyyden ja vesi-  
talouden vaihtelu vähentävät maa-analyysillä saatavan ravin-  
teisuuden merkitystä viljavuuden määrittämisessä. Lähinnä  
Etelä-Suomesta kerätyn aineiston perusteella maaperä-  
tunnuksilla voidaan selittää pituusboniteetista hiukan yli  
50 % (kuva 3). Käytetyistä tunnuksista ylivoimaisesti paras



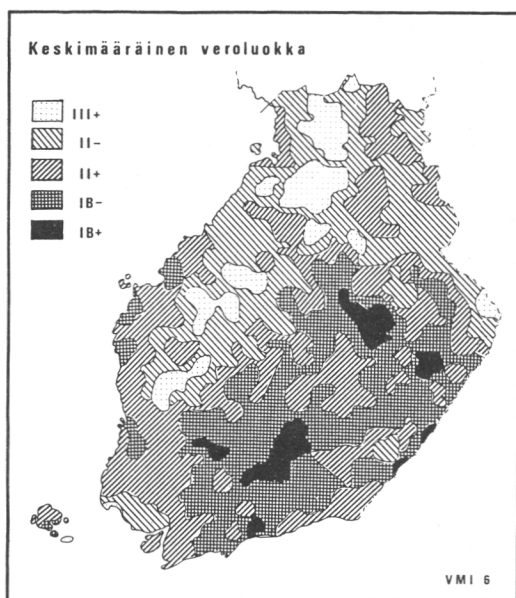
Kuva 3. Pituusboniteettia selittävien tunnuksien suhteellinen selityskyky kangasmaiden männiköissä ja kuusikoissa.

oli humuskerroksen orgaanisen aineen typpipitoisuus. Seuraavaksi paras selittäjä oli kivennäismaan orgaanisen aineen typpipitoisuus. Tämä on luonnollista, kun muistetaan, että lannoituskokeiden perusteella yksittäisistä ravinteista vain typellä on saatu kangasmailla aikaan kasvureaktioita. Kasvupaikkajakaumaltaan laajemmassa mäntyaineistossa myös kivennäismaan kalsiumpitoisuus tai määrä hehtaaria kohti selitti varsin hyvin pituusboniteettia kuten Viron (1951) ja Lipaksen (1985) aineistoissakin.

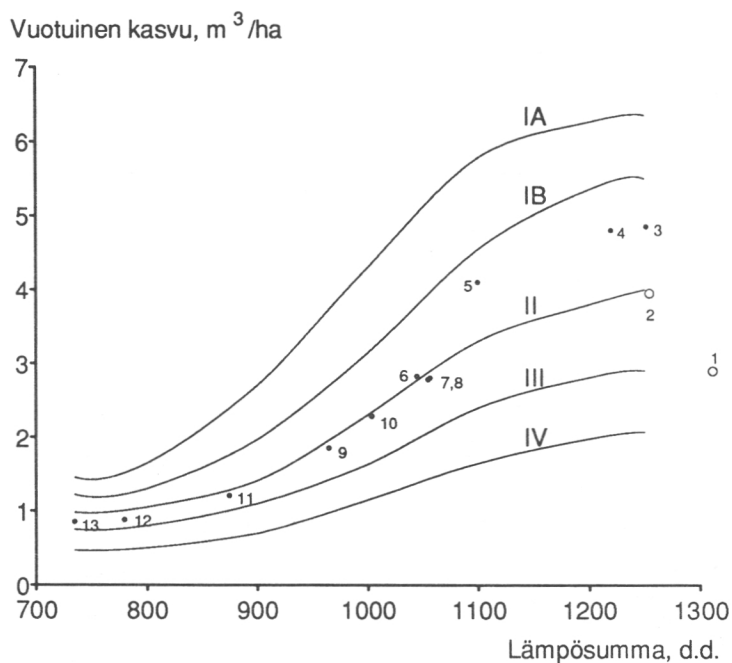
Viljavuus riippuu siis monesta tekijästä, joiden merkitys vaihtelee kasvupaikalta toiselle. Riippuvuus on luonteeltaan tilastollista, ts. eri tunnuksat vaihtelevat samansuuntaisesti osittain yhteisten taustatekijöiden vaikutuksesta.

#### Viljavuuden alueelliset erot

Metsämaan viljavuuden alueellisesta vaihtelusta saadaan hyvä käsitys valtakunnan metsien inventointien tuloksista (kuva 4). Tietyillä alueilla, erityisesti ns. lehtokeskuksissa vallitsevat viljavat, lehtomaiset kasvupaikat. Toisaalta vedenjakaja- ja harjualueilla esiintyy taas runsaasti karuja metsätyyppejä, mutta suurimmassa osassa maata vallitsevat keskinkertaisen viljavat kasvupaikat. Viljavuuden vaihtelu on tosin pienialaisempaa kuin mitä VMI-kartat osoittavat, mutta ne antavat kuitenkin oikean kuvan keskimääräisestä viljavuudesta. Ilmaston vaikutus puuntuotoskykyyn on Suomessa hyvin selvä (kuva 5). Kun yhdistetään kasvupaikan suhteellinen tuotoskyky ja suurilmaston vaikutus, saadaan kasvupaikan absoluuttinen tuotoskyky (Heikurainen 1973). Runkopuun tilavuutena ilmaistun tuotoskyvyn kannalta kasvupaikkojen viljavuusluokitus on sitä tärkeämpää, mitä suotuisampi ilmasto on.

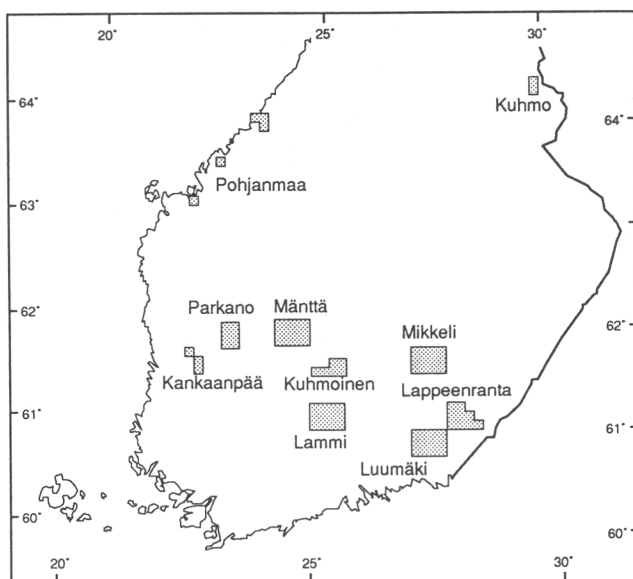


Kuva 4. Keskimääräinen veroluokka valtakunnan metsien inventoinnin mukaan (Salminen 1981).



Kuva 5. Nykykasvu metsämaan veroluokissa suhteessa tehoisan lämpötilan summaan. Pisteet ovat kasvualueiden keskiarvoja (Kuusela 1977).

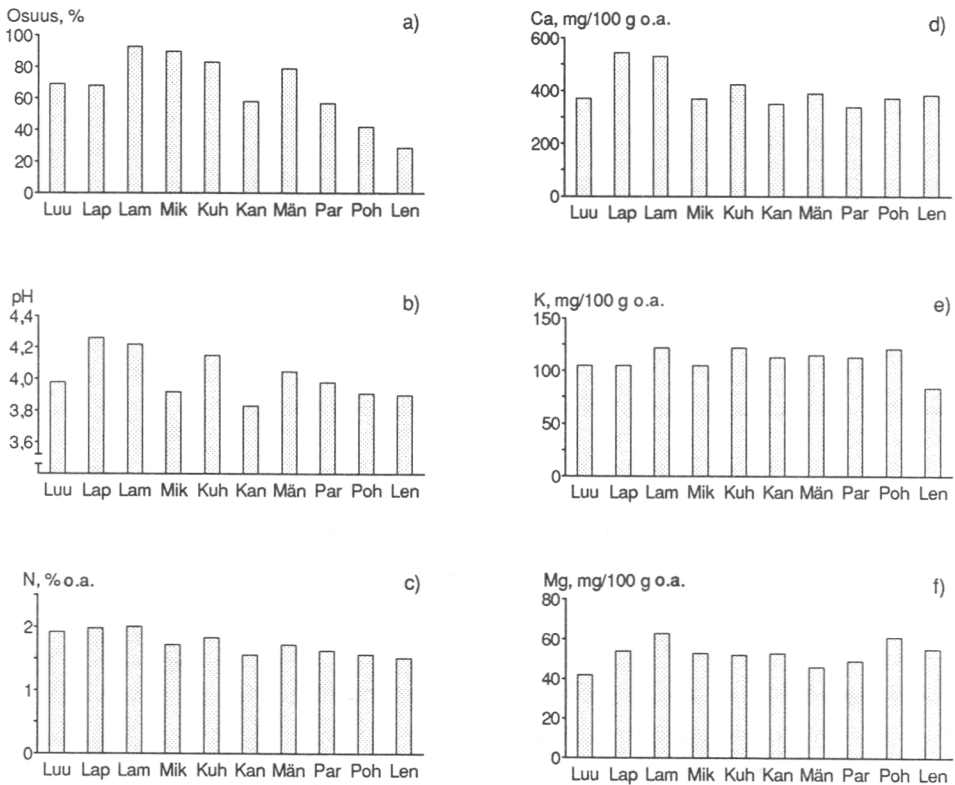
Vuosina 1980-85 kerättiin Etelä-Suomesta maaperän peruskartoitusalueilta maanäytteitä 1248 koealalta, joista 880 koealalta mitattiin myös pituusboniteetti (kuva 6). Seuraavassa vertaillaan näiden tutkimusalueiden viljavuutta eräiden tunnusten avulla. Alueet esitetään likimain alenevassa lämpösummajärjestyksessä, ts. etelästä pohjoiseen.



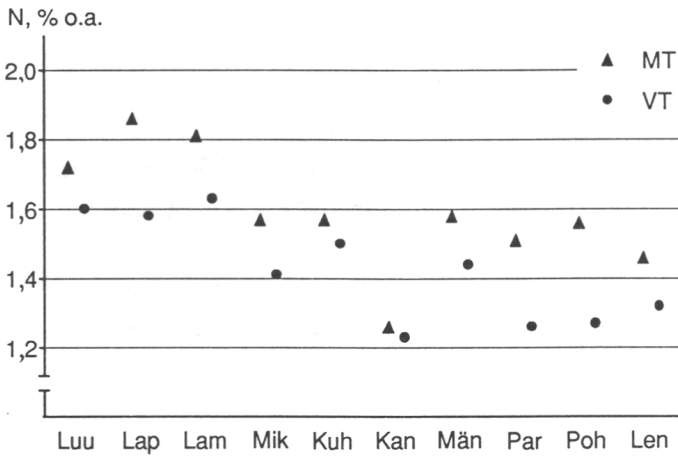
Kuva 6. Tutkimusalueet.

Lehtojen ja lehtomaisten kankaiden osuuden perusteella viljavimpia olivat Lammin ja Mikkelin alueet, karuimpia pienet Pohjanmaan ja Kuhmon Lentiiran alueet (kuva 7a). Humuskerroksen pH ja sen kanssa hyvin korreloiva uuttuvan kalsiumin pitoisuus olivat korkeimpia Lappeenrannan, Lammin ja Kuhmoisten alueilla (kuvat 7b ja 7d). Viljavuutta parhaiten selittävän, humuskerroksen orgaanisen aineen typpipitoisuuden perusteella viljavimpia olivat Lammin, Lappeenrannan ja Luumäen alueet, karuimpia Kankaanpään, Pohjanmaan ja Kuhmon alueet (kuva 7c). Humuksen ominaisuuksista typpipitoisuus

erotteli alueita selvimmin. Kuvan 8 mukaan humuskerroksen typpipitoisuus aleni lämpösumman myötä, eikä noudattanut metsätyypijakoa kovin selvästi. Viljavimpien alueiden VT:llä typpipitoisuus oli keskimäärin samaa tasoa tai korkeampi kuin karuimpien alueiden MT:llä. Happaman laskeuman kannalta toisinaan kriittisinä pidettyjen kaliumin ja magnesiumin pitoisuudet poikkesivat alueittain sekä toisistaan että edellä esitellyistä tunnuksista (kuvat 7e ja 7f).



Kuva 7. Viljavuustunnuksia tutkimusalueittain.  
 a. Lehtojen ja lehtomaisten kankaiden osuudet.  
 b. Humuskerroksen pH.  
 c. Humuskerroksen kokonaistyyppi.  
 d. Humuskerroksen uuttuva kalsium.  
 e. Humuskerroksen uuttuva kalium.  
 f. Humuskerroksen uuttuva magnesium.



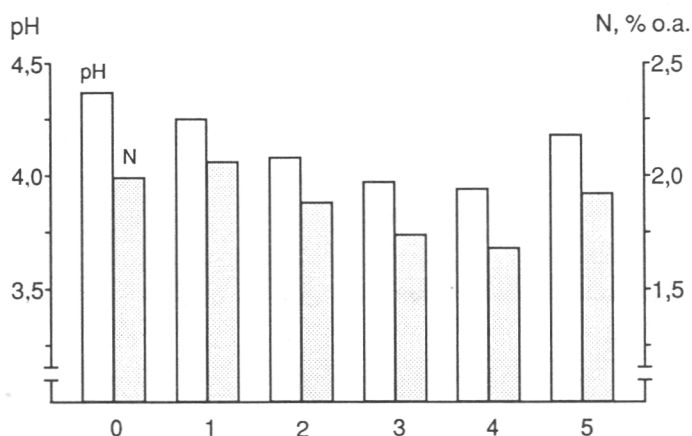
Kuva 8. Humuskerroksen kokonaistyyppi MT- ja VT-männiköissä tutkimusalueilla.

Kivennäismaan ominaisuuksien perusteella alueita ei pystytty erottelamaan viljavuuden suhteen yhtä selvästi kuin humuskerroksen ominaisuuksien perusteella.

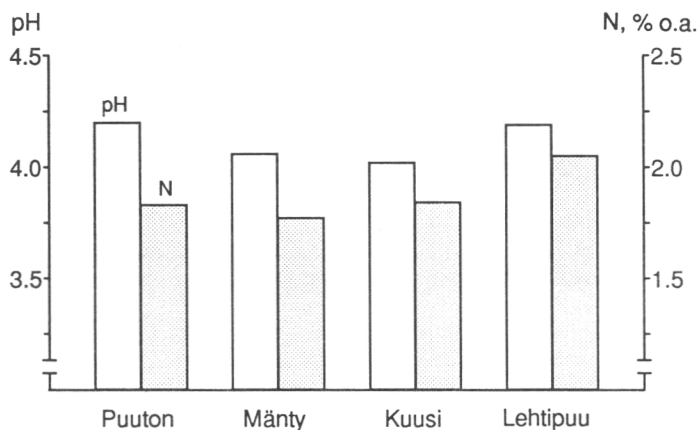
#### Puuston ja maaperätunnusten keskinäiset suhteet

Koska humuskerros muodostuu pintakasvillisuuden ja puuston karikkeista, se kuvastaa kasvupaikan kasvilajistoa ja olosuhteita kasvien kannalta. On myös luonnollista, että puuston kiertoajan kuluessa humuskerroksen ominaisuudet voivat muuttua. Testattaessa kehitysluokittain humuskerroksen tunnuksia selvimmin vaihtelivat typpipitoisuus ja pH (kuva 9). Humuksen pH-arvojen ja typpipitoisuuksien lisäksi myös kalsium- ja magnesiumpitoisuudet laskivat puuston ikääntyessä.

Havupuiden haitallinen vaikutus ravinteisuuteen ilmenee kuvasta 10. pH:n ja typen lisäksi myös kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet olivat lehtimetsissä keskimäärin korkeampia kuin havumetsissä. Lehtipuiden kasvupaikkavaatimukset ovat yleensä suuremmat kuin havupuiden, mutta toisaalta lehti-



Kuva 9. Humuskerroksen pH ja kokonaistyyppi kehitysluokittain. 0 = aukea ja siemenpuusto, 1 = taimikko, 2 = nuori, 3 = varttunut kasvatusmetsä, 4 = uudistuskypsä, 5 = suojuspuusto.

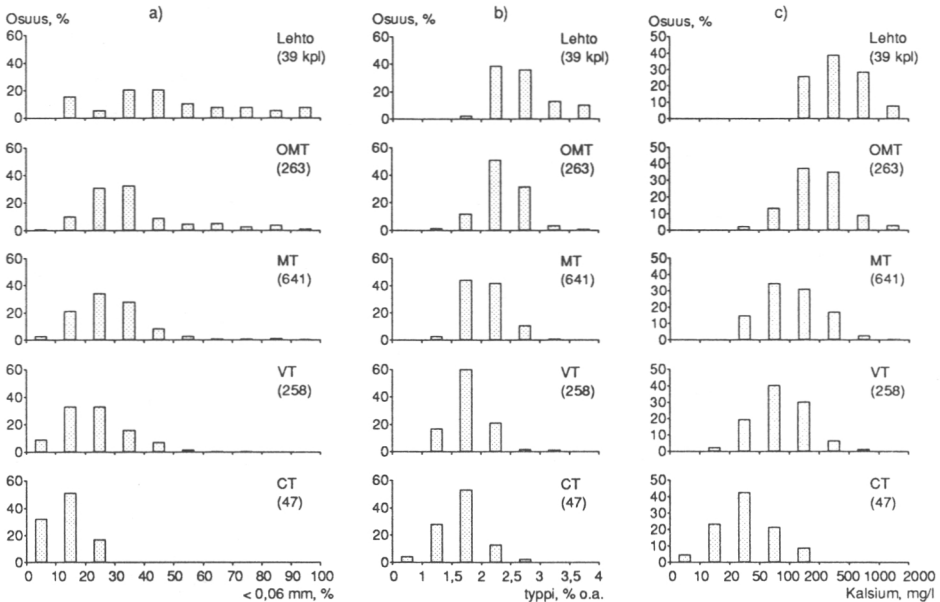


Kuva 10. Humuskerroksen pH ja kokonaistyyppi pääpuulajeittain.

puiden vaikutus maaperän lämpöoloihin ja kemiallisiin ominaisuuksiin on havupuita edullisempi. Tuoreilla ja lehtomaisilla kankailla pitäisi viljavuuden säilyttämiseksi suosia lehtipuita havupuusukupolven jälkeen. Käytännön todisteena lehtipuiden edullisesta vaikutuksesta ovat myös nopeakasvuiset, koivikoihin ja lepikoihin perustetut kuusikot.

## Metsätyyppi ja maaperätunnukset

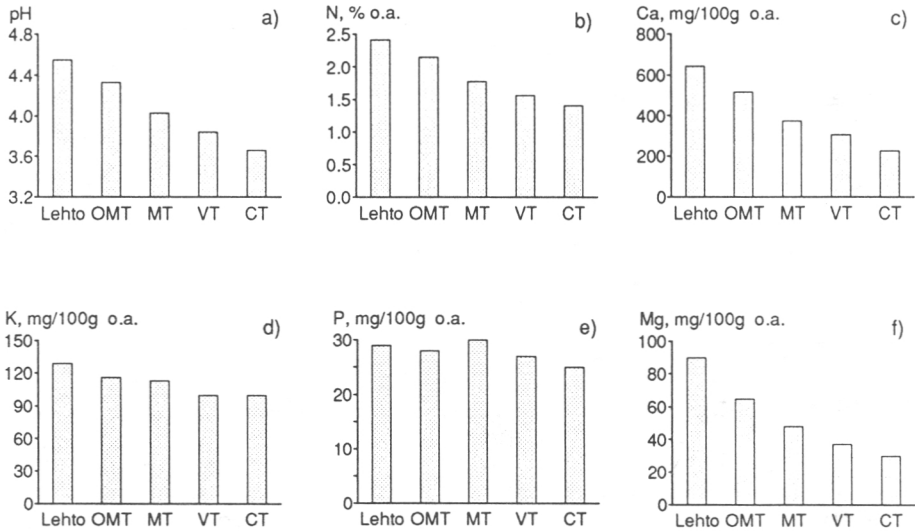
Metsätyyppit eroavat toisistaan paitsi pintakasvillisuuden myös keskimääräisten maaperän ominaisuuksien suhteen. Riipuvuudet ovat kuitenkin luonteeltaan tilastollisia, ts. yksittäisiä tapauksia on lähes mahdotonta sijoittaa yhden ominaisuuden perusteella oikeaan metsätyyppiin. Kuvista 11a, 11b ja 11c tämä ilmenee kivennäismaan hienojen lajitteiden sekä kalsium- ja typpipitoisuuden osalta. Humuskerros kuvastaa viljavuutta yleensä paremmin kuin kivennäismaa. Kuvan 12 arvoista on yritetty laskennallisesti poistaa lämpösumman, soistuneisuuden, puulajin ja kehitysluokan vaikutus. Ravinnepitoisuudet on laskettu humuskerroksen orgaanisesta aineesta. Typpipitoisuus erosi odotetusti selvimmin metsätyypeittäin.



Kuva 11. Kivennäismaan viljavuustunnusten jakaumia metsätyypeittäin.

- Hienojen lajitteiden (<0,06 mm) osuus.
- Kokonaistyyppi.
- Uuttuva kalsium.





Kuva 12. Humuskerroksen viljavuustunnuksia metsätyypeittäin.

- a. pH.
- b. Kokonaistyyppi.
- c. Uuttuva kalsium.
- d. Uuttuva kalium.
- e. Uuttuva magnesium.
- f. Uuttuva fosfori.

Ns. erotteluanalyysin mukaan olennaisin tieto metsätyyppien eroista sisältyi humuksen osalta tyyppipitoisuuteen ja humuksen paksuuteen ja kivennäismaan osalta magnesium-, typpi- ja kalsiumpitoisuuteen. Erottelu onnistui laskennallisesti kuitenkin melko huonosti. Keskimäärin vain 66 % koealoista osui oikeaan metsätyyppiin. Yksinomaan fysikaalisilla maaperätunnuksilla - humuskerroksen paksuus, raekoostumus, kivisyys ja orgaanisen aineen osuus - metsätyyppien erottelu onnistui vielä paljon huonommin, onnistumissadannes oli 47.

Maaperätunnuksilla on oma merkityksensä arvioitaessa metsän kasvupaikkojen viljavuutta, vaikka ei samassa suhteessa kuin viljelysmailla. Maaperätunnusten suuri vaihtelu metsämailla suosii toisaalta ominaisuuksiltaan toisistaan selvästi

poikkeavien luokkien muodostamista. Viljavuuden maaperäkomponentista tiedetään toistaiseksi melko vähän. Metsämaan tuntemusta olisi kuitenkin pyrittävä parantamaan paitsi ravinteiden myös haitallisten tai maaperän toimintaan liittyvien alkuaineiden osalta.

### Kirjallisuus

- Heikurainen, L. 1973. Soiden metsänkasvatuskelpoisuuden laskentamenetelmä. Summary: A method for calculation of the suitability of peatlands for forest drainage. Acta Forestalia Fennica 131. 35 s.
- Hägglund, B. 1981. Evaluation of forest site productivity. Forestry Abstracts 42. Review Article 11: 515-527.
- & Lundmark, J.-E. 1981. Handledning i bonitering med Skogshögskolans boniteringssystem. 1. Definitioner och anvisningar. Skogstyrelsen, Jönköping. 53 s.
- Kuusela, K. 1977. Suomen metsien kasvu ja puutavaralajirakenne sekä niiden alueellisuus vuosina 1970-1976. Summary: Increment and timber assortment structure and their regionality of the forests of Finland in 1970-1976. Folia Forestalia 320. 31 s.
- Lipas, E. 1985. Kasvupaikan puuntuotoskyvyn ja lannoitus-tarpeen arviointi maan ominaisuuksien avulla. Summary: Assessment of site productivity and fertilizer requirement by means of soil properties. Folia Forestalia 618. 16 s.
- Salminen, S. 1981. Vuosien 1971-75 valtakunnallisia metsävaratietoja karttamuodossa. Summary: A cartographic presentation of forest resources in Finland 1971-75. Folia Forestalia 483. 42 s.
- Viro, P.J. 1951. Nutrient status and fertility of forest soil. I. Pine stands. Selostus: Metsämaan ravinnesuhteet ja viljavuus I. Männiköt. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 39(4). 54 s.

Teuvo Levula

## MAANMUOKKAUS METSÄN UUDISTAMISEKSI

### Johdanto

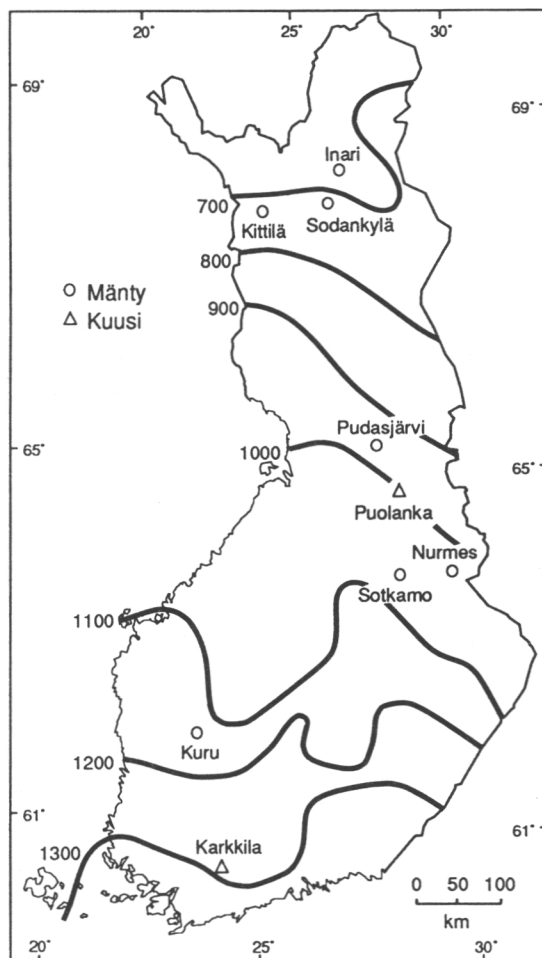
Metsämaan muokkauksella pyritään parantamaan maan ominaisuuksia puiden kasvun kannalta, parantamaan taimien kilpailukykyä pintakasvillisuutta vastaan ja helpottamaan viljelytyötä. Kohottamalla taimi maanpinnan tasoa ylemmäksi voidaan lieventää hallatuhoja. Useissa tutkimuksissa voimaperäinen muokkaus on lisännyt taimien kasvua ja parantanut elossapysymistä (Mälkönen 1976, Pohtila 1977, Levula & Heikkilä 1979, 1981, Levula 1988). Toisaalta on esitetty muokkauksen lisäävän ravinteiden huuhtoutumista (Rosén & Lundmark-Thelin 1986, Mälkönen 1983) sekä aiheuttavan kasveille käyttökelpoisen fosforin vähentymistä ja haitallisten aineiden, kuten alumiinin liukoisuuden lisääntymistä (Tikkanen 1985). Muokkaus lisää viljelyalojen taimikoiden perkaustarvetta (Raulo & Mälkönen 1976), mutta lisääntynyt luontainen taimiaines lisää taimikoiden tiheyttä ja antaa perkaajalle enemmän vaihtoehtoja.

Vuodesta 1973 lähtien on Metsäntutkimuslaitoksen ja metsähallituksen yhteistyönä tehty koesarjaa, jonka avulla selvitetään muokkauksen ja lannoituksen vaikutuksia pitkän ajan kuluessa. Pohjois-Suomen vanhimmat kokeet on inventoitu 13 vuoden ja Etelä-Suomen kokeet 8 vuoden kuluttua viljelystä. Tässä työssä tarkastellaan näiden inventointien tuloksia.

### Kokeet

Koealueet sijaitsevat eri puolilla Suomea (kuva 1). Kokeet perustettiin maan ja maaston puolesta mahdollisimman yhtenäisille moreenikankaille. Kokeet muokattiin ja lannoitet-

tiin 1-2 vuoden kuluttua avohakkuusta ja viljeltiin kouli-  
tuilla taimilla seuraavana keväänä. Koejärjestelynä käytet-  
tiin split plot -menetelmää (esim. Jeffers 1960, s. 42-49).  
Pääkäsittelynä on kolme muokkaustapaa: 1) muokkaamaton, jos-  
sa taimet istutettiin kourukuokalla tehtyyn pieneen kiven-  
näismaahan ulottuvaan laikkuun, 2) metsänviljelyauraus teh-  
tiin telaketjuvetoisilla raskailla palleauroilla ja 3) se-  
koitusmuokkaus, joka tehtiin vanhimmilla kokeilla auruksen  
jälkeen ketjujyrsimellä ja Kurun sekä Karkkilan kokeilla  
hydraulisella lautasauralla.



Kuva 1. Koealueiden sijainti. Käyrien päissä olevat luvut tarkoittavat keskimääräisiä lämpösummia (d.d.).

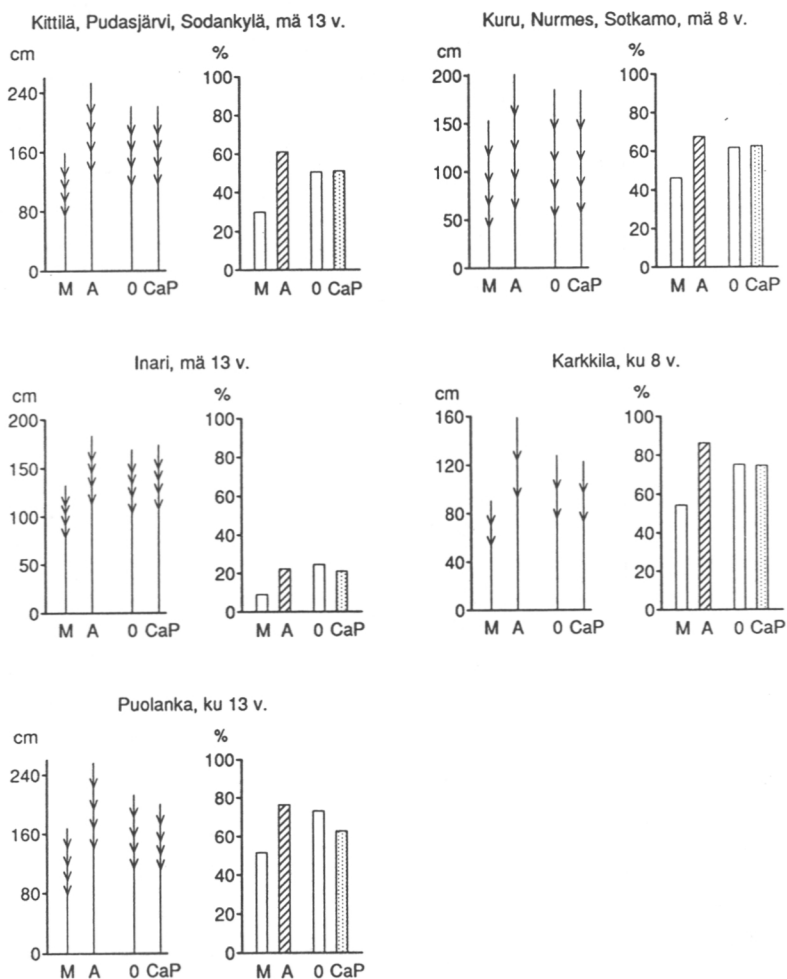
Alakäsittelynä on neljä lannoitustapaa: lannoittamaton, "peruslannoitus", pelkkä typpilannoitus ja peruslannoituksen lisäksi moniravinnelannoitus. Peruslannoituksessa maahan kylvettiin hajalevityksenä 3000 kg kalkkikivijauhetta ja 800 kg raakafosfaattia hehtaarille. Auratuille koealoille peruslannoitus tehtiin ennen aurausta; auratuille ja jyrstyille aloille aurauksen jälkeen ennen jyrshintää. Kolmen vuoden kuluttua istutuksesta annettiin typpilannoituksena 22 g oulunsalpietaria ja moniravinnelannoituksena 30 g typpirikasta Y-lannosta tainta kohti. Myöhemmin typpi- ja NPK-lannoitus uusitaan viiden vuoden välein hajalevityksenä. Koealojen koko on 50 x 50 m, paitsi Puolangan kokeella 36 x 36 m ja Karkkilan kokeella 40 x 40 m. Toistojen määrä on neljä, paitsi Puolangan kokeella on kolme toistoa. Tässä työssä tarkastellaan tuloksia neljältä koejäseneltä: muokkaamaton, aurattu, lannoittamaton ja peruslannoitus. Näin vertailuun on saatu mukaan kalkitus, joka liittyy tämän tiedonannon muihin teemoihin.

#### Taimikoiden alkukehitys

Kokeille istutettujen taimien elossaoloa ja kasvua on inventoitu 2, 8 ja 13 kasvukauden kuluttua viljelystä. Suuren taimimäärän (n. 35 000 kpl kokeella) vuoksi mittauksissa käytettiin 25 %:n systemaattista otosta siten, että esim. koealalla olevista 12 aurausjäljestä inventoitiin toisella, kuudennella ja kymmenennellä olevat taimirivit.

Jo kahden vuoden kuluttua istutuksesta taimet olivat kasva-  
neet paremmin auratuilla kuin muokkaamattomilla koealoilla  
kaikilla kokeilla. Auras paransi taimien elossapysymistä  
Lapissa ja eteläisen Suomen kokeilla. Nurmeksen ja Sotkamon  
kokeilla taimia oli elossa yli 90 % kaikilla muokkaustavoil-  
la. Myöhemmissä inventoinneissa taimien kasvu kaikilla  
kokeilla oli edelleen selvästi parempi ja eläviä taimia oli  
enemmän auratuilla kuin muokkaamattomilla koealoilla. Tu-  
lostien esittämiseksi kokeet ryhmiteltiin siten, että Sodan-

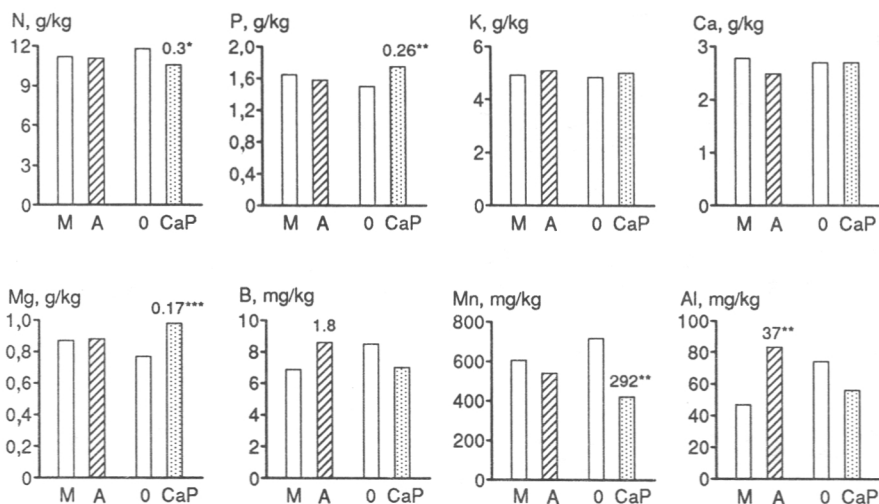
kylän, Kittilän ja Pudasjärven 13-vuotiaat männiköt muodostavat yhden ryhmän, Sotkamon, Nurmeksen ja Kurun 8-vuotiaat männiköt toisen. Koekohtaisina esitetään Inarin koe, joka sijaitsee metsänviljelyn marginaalialueella, sekä Puolangan ja Karkkilan kuusikokeet. Muokkauksen kuolleisuutta vähentävä ja kasvua lisäävä vaikutus on tilastollisesti merkitsevä kaikilla kokeilla. Peruslannoituksen vaikutukset olivat vähäisiä. Ainoastaan Puolangan kuusikokeella lannoitus heikensi taimien elossaoloa (kuva 2).



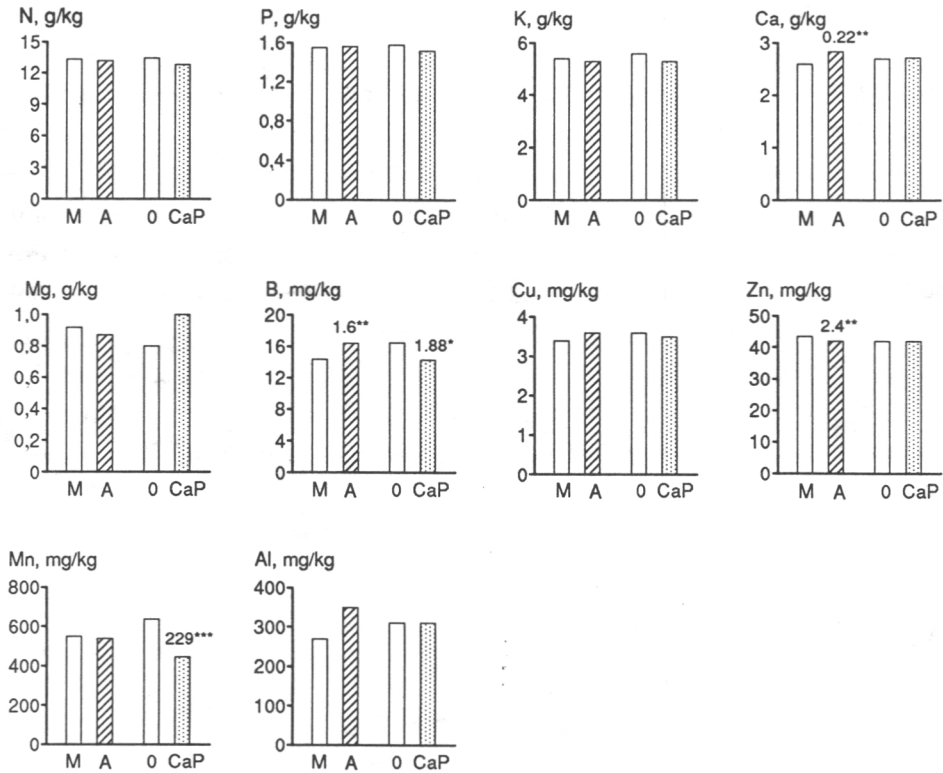
Kuva 2. Taimien pituuskehitys ja elossaoloprosentti eri kokeilla. M = muokkaamaton, A = aurattu, O = lannoittamaton ja CaP = 3000 kg kalkkikivijauhetta ja 800 kg raakafosfaattia hehtaarille.

## Taimien ravinnetila

Kokeilta on otettu neulasnäytteitä sekä toisen että kolmannen inventoinnin jälkeisenä myöhäissyynä. Kultakin koealalta otettiin näytteeksi 15:den arvotun taimen 3-vuotista etelänpuoleisista oksista edellisenä kesänä kasvatteja neulasia. Muokkaus lisäsi kuusikokeella neulasten boori- ja alumiinipitoisuuksia, peruslannoitus lisäsi fosfori- ja magnesiumipitoisuuksia mutta vähensi typpi- ja mangaanipitoisuuksia (kuva 3). Mäntykokeella Kurussa muokkaus lisäsi neulasten kalsium-, boori- ja alumiinipitoisuuksia; lannoitus lisäsi magnesium- ja pienensi mangaanipitoisuuksia (kuva 4).



Kuva 3. Neulasten ravinnepitoisuudet eri käsittelyillä 13-vuotiaassa kuusikossa Puolangalla. Selitykset kuten kuvassa 2.



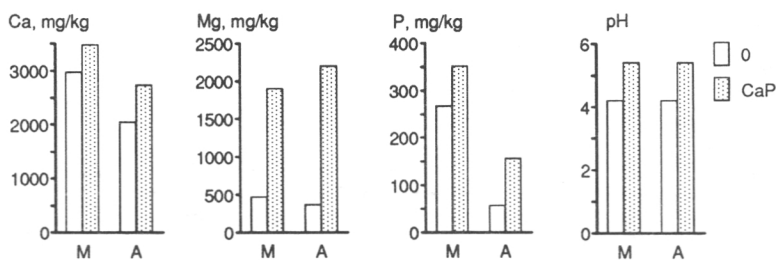
Kuva 4. Neulasten ravinnepitoisuudet eri käsittelyillä 8-vuotiaassa männikössä Kurussa. Selitykset kuten kuvassa 2.

#### Maan ravinnetila

Puolangan kuusikokeelta otettiin maanäytteet 14 vuotta muokkauksen ja kalkituksen jälkeen. Näytteet otettiin systemaattisesti 20 näytesteestä kultakin koelalalta. Auruilta koelaloilta otettiin näytteet humuskerroksen päällä olevasta kerroksesta, humuskerroksesta ja 0-30 cm kivennäismaasta, mikäli näitä kerroksia näytepaikassa oli. Muokkaamattomilta koelaloilta otettiin näyte humuskerroksesta ja 0-30 cm kivennäismaata. Lisäksi jokaiselta koelalalta otettiin neljästä kuopasta näytteet seuraavista kerroksista: palle, humus-, huuhtoutumis- ja rikastumiskerrokset ja pohjamaa.



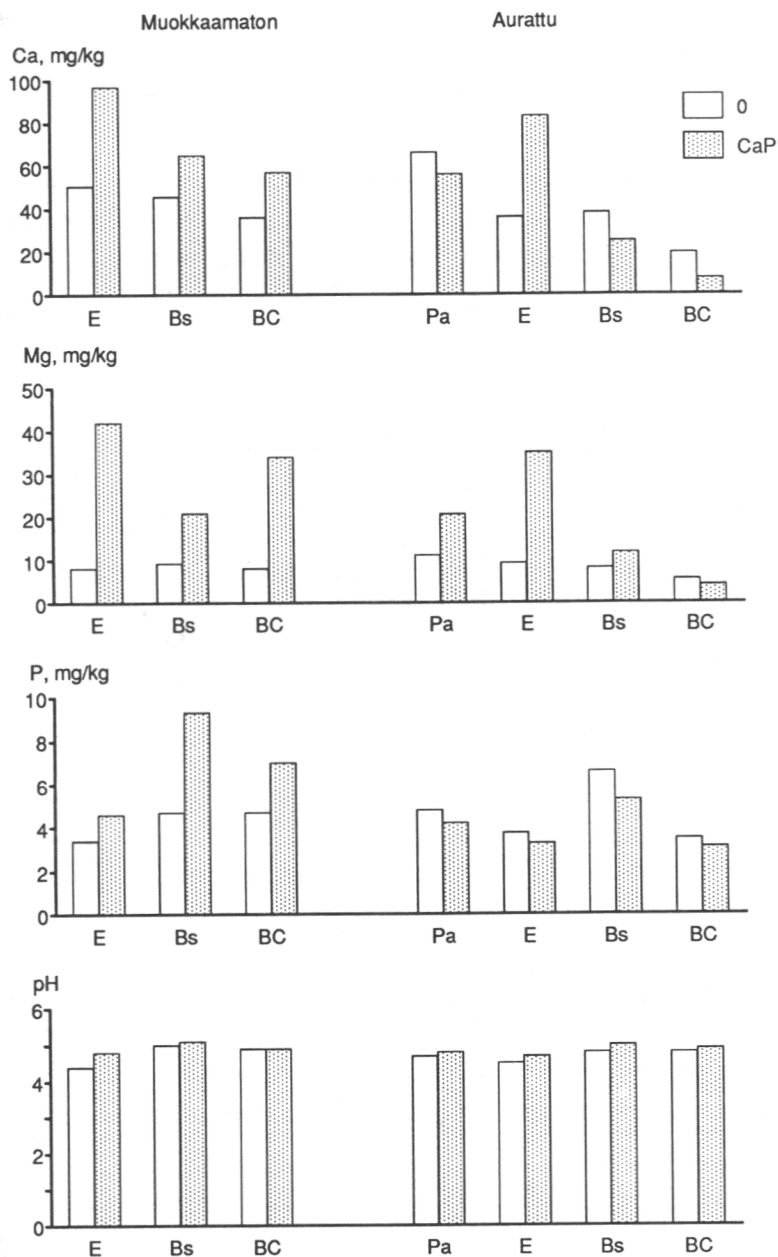
Näytteet analysoitiin Metsäntutkimuslaitoksessa käytetyillä menetelmillä (Halonen ym. 1983). Auras alensi humuskerroksen käyttökelpoisen fosforin määrää; peruslannoitus lisäsi fosforin, kalsiumin ja magnesiumin määrää sekä alensi humuskerroksen happamuutta yhden pH-yksikön verran. Auras ei vaikuttanut humuskerroksen happamuuteen (kuva 5). Muokaus ei vaikuttanut kivennäismaan käyttökelpoisten ravinteiden määrään, sen sijaan peruslannoitus näkyi kalsiumin, fosforin ja magnesiumin lisääntymisenä (kuva 6).



Kuva 5. Humuskerroksen happamuus ja uuttuva fosforin, kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet eri käsittelyillä. Selitykset kuten kuvassa 2.

#### Tarkastelua

Sammal- ja humuskerrokset eristävät tehokkaasti lämmön johtumista. Muokattu maa lämpenee enemmän (Leikola 1974), humuksen hajoaminen nopeutuu ja humukseen varastoituneet ravinteet muuttuvat kasveille käyttökelpoiseen muotoon. Maan lämpeneminen parantaa juurten kasvua (Rikala ym. 1989). Aurauksella on myös kuivatusvaikutus (Ritari & Lähde 1978). Maahiukkasten välissä oleva tila on veden ja ilman täyttämä. Suomen metsämaissa veden osuus on tästä maan huokostilasta usein liian suuri, jolloin juurten ja mikrobien kasvu vaikeutuu. Muokkauksella saatu kasvun paraneminen johtunee useimmin juuri maan lämpenemisen ja kuivumisen aiheuttamasta juurten kasvun paranemisesta ja mikrobien lisääntyneen ha-



Kuva 6. Kivennäismaan eri kerrosten happamuus ja uuttuvan fosforin, kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet eri käsittelyillä. E= huuhtoutumiskerros, Bs= rikastumiskerros, BC= pohjamaan yläosa ja Pa= aurauspalle.

joitustoiminnan (Voss-Lagerlund 1976) aiheuttamasta ravinteiden lisääntymisestä maavedessä (Mälkönen 1983). Tässä tutkimuksessa kuusen taimien kasvu ja elossapysyminen parani myös Karkkilan kuusikokeella, joka on lehtomaisella kankaalla. Kuusentaimien parempi menestyminen auraspalteella saattaa näillä viljavimmilla paikoilla johtua siitä, että taimi tasamaata korkeammalle istutettuna ei jää pinta-kasvillisuuden alle niin pahoin kuin laikkuun istutettu taimi. Myös keväthallojen tuhot ovat palteessa lievempiä (Starr ym. 1982). Kuitenkin tällä kokeella taimet kasvoivat auran palteessa pituutta v. 1987 noin 30 cm ja laikussa noin 15 cm. Tätä eroa ei voi selittää enää yli metrin mittaisilla taimilla pintakasvillisuuden kilpailulla, vaan muokkauksen maassa aiheuttamilla muutoksilla. Aurauksen vaikutuksesta juuriston syvyysjakauma muuttui siten, että juuria oli auratussa maassa paljon syvemmällä kuin muokkaamattomassa maassa.

Peruslannoitus lisäsi kuusen taimien kuolleisuutta Puolangan kuusikokeella. Kangasmaiden kalkituskokeissa on erityisesti kuusten kasvu alentunut kalkituksen vaikutuksesta (Derome ym. 1986). Samoilla kokeilla on todettu kalkituksen aiheuttavan kasvuhäiriöitä. Tämän arvellaan johtuvan siitä, että kalkitus heikentää boorin saatavuutta (Lipas 1990). Tässäkin aineistossa kuusen neulasten booripitoisuudet ovat hieman alentuneet kalkituilla koealoilla ja booritaso on kokonaisuudessaan alhainen.

Aurasalojen männyntaimien kuolleisuutta on erityisesti Lapissa selitetty taimien ravinnetilan epätasapainolla, joka johtuisi siitä, että podsolimaannoksessa rikastumiskerroksessa olevat alumiini- ja rautasaostumat joutuvat aurattaessa pintamaahan (Tikkanen 1985). Alumiini voisi tällöin myrkyllisessä  $Al^{3+}$  muodossa kertyä juurten pinnalle ja kuoreen sekä haitata kasvien ravinnetaloutta (Clarkson 1967, Jensen ym. 1989).

Tässä tutkimuksessa auras lisäsi neulasten alumiinipitoisuuksia selvästi, mutta ei vähentänyt muiden ravinteiden pitoisuuksia. Neulasten alumiinipitoisuuden noususta ei aiheutunut haittaa taimien kehitykselle.

Tässä tarkastelluista yhdeksästä muokkauskokeesta on maanalyyysituloksia vain Puolangan kuusikokeelta. Auranpalteen humuskerroksessa käyttökelpoisten ravinteiden pitoisuudet olivat alhaisempia kuin koskemattomassa humuskerroksessa. Humuskerros on auratessa ja sen jälkeen sekoittunut osittain kivennäismaan kanssa, joten koskemattoman ja auranpalteen humuskerroksen vertailu ei ole yksiselitteistä. Ravinteiden huuhtoutuminen ei näy kuitenkaan alempien maakerrosten ravinnelisäyksinä. Peruslannoituksena annettua kalsiumia, magnesiumia ja fosforia on kulkeutunut maassa alaspäin, erityisesti muokkaamattomilla koealoilla. Se, että lannoituksessa annettuja ravinteita löytyi alemmista maakerroksista vähemmän auratuilla aloilla, johtunee em. juuristojen erilaisuudesta ja puiden paremmasta kasvusta. Tämä merkitsee sitä, että avohakkuun jälkeen pitäisi alueelle saada nopeasti hyvin kasvava puusto.

Jos hyvä kasvu merkitsee sitä, että puut voivat hyvin, auras on ollut hyvä menetelmä myös puiden terveyden kannalta. Kun kalsium-, magnesium- ja fosforilannoituksesta oli enemmän haittaa kuin hyötyä puiden kasvulle ja elossapysymiselle, merkinnee se sitä, ettei näiden kokeiden maaperässä ole puutetta näistä ravinteista.

## Kirjallisuus

- Clarkson, D. T. 1967. Interactions between aluminium and phosphorus on root surfaces and cell wall material. *Plant and Soil* 27: 347-356.
- Derome, J., Kukkola, M. & Mälkönen, E. 1986. Forest liming on mineral soils. Results of Finnish experiments. National Swedish Environmental Protection Board. Report 3984. 107 s.
- Halonen, O., Tulkki, H. & Derome, J. 1983. Nutrient analysis methods. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 121:1-28.
- Jensen, P., Pettersson, S., Drakenberg, T. & Asp, H. 1989. Aluminium effects on vacuolar phosphorus in roots of beech (*Fagus sylvatica* L.). *J. Plant Physiology* 134:37-42.
- Jeffers, J. N. R. 1960. Experimental design and analyses in forest research. Stockholm. 172 s.
- Leikola, M. 1974. Muokkauksen vaikutus metsämaan lämpösuhteisiin Pohjois-Suomessa. Summary: Effect of soil preparation on soil temperature conditions of forest regeneration areas in Northern Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 84(2). 64 s.
- Levula, T. 1988. Kulotus ja muokkaus maankunnostusmenetelmänä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 300:15-30.
- & Heikkilä, R. 1979. Maankäsittelyn vaikutus männyn- tai mien alkukehitykseen Lapissa. Rovaniemen tutkimusaseman tiedonantoja 18. 12 s.
- & Heikkilä, R. 1981. Maanmuokkauksen vaikutus männyn- tai mien alkukehitykseen Pohjois-Karjalassa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 11. 12 s.
- Lipas, E. 1990. Kalkituksen aiheuttama boorinpuute kangasmaan kuusikossa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 352 22 s.
- Mälkönen, E. 1976. Markberedningens ekologi och inverkan på planteringsresultatet. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Redogörelse 6:11-15.
- 1983. Maan kunnostaminen metsänuudistamisessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 124:6-16.
- Pohtila, E. 1977. Reforestation of ploughed sites in Finnish Lapland. Seloste: Aurattujen alojen metsänviljely Lapissa. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 91(4). 98 s.
- Raulo, J. & Mälkönen, E. 1976. Koivun luontainen uudistuminen muokatulla kangasmaalla. Summary: Natural regeneration of birch (*Betula verrucosa* Ehrh. and *B. pubescens* Ehrh.) on tilled mineral soil. *Folia Forestalia* 252:15 s.
- Rikala, R., Ryyppö, A. M. & Vapaavuori, E. M. 1989. Effect of root temperature on net photosynthesis and growth of shoots and roots in pine seedlings by the time of bud burst. OECD Photosynthesis Workshop. Lahti, Finland, 12-16, August, 1989.

- Ritari, A. & Lähde, E. 1978. Effect of site preparation on physical of the soil in a thick-humus spruce stand. Seloste: Muokkauksen vaikutus paksusammalkuusikon maan fysikaalisiin ominaisuuksiin. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 92(7). 36 s.
- Rosén, K. & Lundmark-Thelin, A. 1986. Hyggesbruket och markvården. Skogsfakta 9:42-48.
- Starr, M., Levula, T. & Heikkilä, R. 1982. Männyn ja kuusen taimien alkukehitys muokkaus- ja lannoituskokeilla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 51. 16 s.
- Tikkanen, E. 1985. Aurasalueen heikkokuntoisten männyn-taimien ravinnetaloudesta Pohjois-Suomessa. Abstract: Nutrient metabolism of weakened Scots pine saplings on a ploughed site in Northern Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 186. 23 s.
- Voss-Lagerlund, K. 1976. Effect of soil preparation on the bacterial population in forest soil. Seloste: Muokkauksen ja lannoituksen vaikutus metsämaan mikrobistoon. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 86(7). 35 s.



ISBN 951-40-1136-8  
ISSN 0358-4283