



PUIDEN RAVINNEPUUTOKSET – METSÄNKASVATTAJAN RAVINNEOPAS

Antti Reinikainen
Heikki Veijalainen
Hannu Nousiainen

VANTAAN TUTKIMUSKESKUS



**PUIDEN RAVINNEPUUTOKSET -
METSÄNKASVATTAJAN
RAVINNEOPAS**

**Antti Reinikainen
Heikki Veijalainen
Hannu Nousiainen**

Kansikuva:

Yläkuvassa kuusen ravinnepuutosoireistoa oksissa: (vas) normaali, K-puutos ja N+P+K-puutos. Alakuvassa männyn ravinnepuutosoireistoa neulasissa. Ylärivissä (vas): ylirehevä, normaali ja N-puutos, alarivissä (vas): Mg- puutos, N+Mg-puutos sekä N+P-puutos.

Lukijalle

Ravinteet ovat metsän tuotantoa rajoittava voimavara. Niiden riittävydestä, keskinäisistä suhteista ja kierron toimivuudesta riippuu, saavutetaanko se tuotannon määrä ja laatu, joka muiden kasvutekijäin asettamissa rajoissa on mahdollista. Kasvupaikan lämpöoloihin voidaan vaikuttaa vain vähän. Sen sijaan monen kasvupaikan vesitaloutta voidaan säädellä ojittamalla ja ravinnetaloutta lannoittamalla. Lannoituksesta onkin muodostunut, ensin puutarha- ja maataloudessa, mutta 1960-luvulla myös metsätaloudessa, varteenotettava keino säädellä kasvutapahtumia.

Tässä kirjassa tarkoituksena on johdella lukija silmävaraisen tarkastelun pohjalla tunnistamaan metsäpuiden tavallisimmat ravinnepuutosoireet. Siinä annetaan lisäksi ohjeet havaintojen tarkistamisesta kemiallisten analyysien perusteella. Koska kullakin metsikkökuvioilla voi olla sille ominainen ravinneongelma, kannattaa metsänomistajan perehtyä maillaan esiintyviin ravinnepuutoksiin huolellisesti. Kirjasta on toivotavasti apua myös yksittäisten piha- ja puistopuiden hoidossa. Nehän joutuvat usein kasvamaan poikkeuksellisissa olo-

suhteissa. Metsätaloudessa sama koskee pellonmetsitysalueiden ja muiden aiemmin puuttomien maiden istutettuja puus- toja. Tämän oppaan valokuvat 2a ja 7f ovat A.Reinikaisen, kuva 7d H.Veijalaisen, muut H.Nousiaisen ottamia, samoin kansikuvat. Puutosoireiden määrittämisen suoritti A. Reinikainen.

Kirjan syntymiseen tässä muodossa ovat vaikuttaneet prof. Eero Paavilaisen kannustus ja prof. Seppo Kauniston, prof. Juhani Päiväsen ja MMT Pekka Tammisen tekemät asiapitoiset korjaus- ehdotukset. Parhaat kiitoksemme kaikille kirjan syntyyn myötävaikuttaneille.

Vantaalla 12.6. 1998

*Antti Reinikainen
Heikki Veijalainen
Hannu Nousiainen*

SISÄLTÖ

JOHDANTO

RAVINTEET PUIDEN KASVUTEKIJÄNÄ

PUUTOSOIREIDEN ESIINTYMISESTÄ

MITEN OIREITA HAVAINNOIDAAN

MIHIN OIREHAVAINTOJA VOIDAAN KÄYTTÄÄ

RAVINTEET JA PUUTOSOIREET

PÄÄ- JA SIVURAVINTEET

TYPPI

FOSFORI

KALIUM

KALSIUM

MAGNESIUM

RIKKI

HIVENRAVINTEET

BOORI

RAUTA JA MANGAANI

KLOORI

MOLYBDEENI

SAMANAIKAISET PUUTOKSET

MYRKYTYSTILAT

RAVINTEET

MUUT ALKUAINET

NEULAS- JA LEHTIANALYYSI

NÄYTTEENOTTO

ANALYSOINTI

ANALYYSIN TULKINTA

KIRJALLISUUS

JOHDANTO

Lannoituskokeista havaittiin nopeasti, että kangasmaan metsissä typen niukuus rajoittaa monilla kasvupaikoilla puuston kasvua (75, 76). Turvemailla kasvua rajoittavat yleisimmin fosfori ja kalium, joskus myös typpi (19, 39, 40, 52, 67). Perusparannustoimenpitein, erityisesti metsäojituksella metsänkasvatukseen on otettu myös sellaisia kasvupaikkoja, joilla ravinteiden puutos ja epätasapainoiset ravinnesuhteet olivat tavallisia. Tällaisia alueita on metsätalouden käytössä kasvupaikkatyyppin perusteella arvioituna yli 2 milj. hehtaaria, kun koko metsäojituspinta-ala 8. VMI:n mukaan on yli 5,7 milj. hehtaaria. Siitä luokiteltiin varsinaiseksi turvemaaksi 4,7 milj. hehtaaria ja ojitetuksi kankaaksi noin 1,0 milj. hehtaaria.

Lannoituskokeita tehtiin pääpuulajiellemme metsä- ja suotyypikohtaisesti. Näin saatiin selville, mistä ravinteista kullakin kasvupaikalla oli tavallisimmin puutosta. Niinpä lannoitusohjeet (52) ja lannoitustarpeen määrittäminen perustuvat edelleenkin ensisijaisesti kasvupaikkatyyppeihin (18). Tämän lisäksi on ravinediagnostiikkaan kehitetty tarkennus- ja apumenetelmiä. Niistä tärkeimpiä ovat kemialliset maa- ja kasvianalyysit sekä kasvien ulkoisten puutosoireiden havainnointi.

Vähintään kerran lannoitettuja metsiä on maassamme n. 3 milj. hehtaaria, mistä yli puolet on turvemailla. Huippuluvustaan 244.000 hehtaaria (1975) vuotuiset lannoituspinta-alat ovat pudonneet 4000-5000 hehtaariin (1992-93), mutta ovat jälleen kasvamassa. Taloudellisten ja ympäristöllisten seikkojen paineessa metsänlannoitus on yhä harvemmin laajoilla aloilla suuriin kasvunlisäyksiin täh-

tävää massatoimintaa. Sitä useammin se on tilapäisen ravinnepuutoksen tai häiriintyneen ravinnetasapainon korjaamista, usein jonkin aiemman hoito- tai parannustoimenpiteen tuloksen pelastamiseksi. Nyt, kun vanhimmat lannoituskokeet ovat jo yli 40-vuotiaita, voidaan osoittaa, millä kasvupaikoilla ja millaisissa puustoissa lannoitus on ollut myös taloudellisesti kannattava sijoitus (2, 24, 25, 35, 36).

Tutkimustietoa puulajiemme ravinnepuutosoireista on kertynyt yli kolmen vuosikymmen ajalta sen jälkeen, kun ensimmäiset tulokset Leivonmäen Kivisuolta julkaistiin (57-59). Metsätuhojen tunnistamisopaat (1, 14, 15, 33, 42) ovat yleensä keskittyneet hyönteis- ja sienituhojen kuvaamiseen. Bioottisten metsävaurioiden tunteminen onkin välttämätöntä ravinnepuutosoireita tunnistettaessa (32). Niinpä esimerkiksi Metsänterveysopasta (42) voi suositella käytettäväksi rinnan tämän kirjan kanssa. Kasvien ravinnepuutosoireista on ulkomailta ilmestynyt värikuvaoppaita (4, 5, 15, 47, 78), joissa on kuvattu myös eräitä metsissämme kasvavien puiden oireita. Suomessa joitakin valokuvia metsäpuiden ravinnepuutosoireista on julkaistu osana E. A. Jamalaisen peltokasvien puutostauteja käsittelevää teosta (59). Niitä on kuvailtu myös uusimmissa lannoitusoppaissa (52) ja metsäpuiden fysiologiaa käsittelevässä oppikirjassa (55, 61).

On selvää, että puutostilan mahdollisimman varhaisesta toteamisesta on etua. Kasvuhäiriötilanteissa vain oireiston varhainen toteaminen mahdollistaa torjunnan (20, 21, 74). Oireiden ilmestyessä on toimittava nopeasti. Pitkään kituneet puut elpyvät hitaasti, eikä niiden elvyttäminen lannoittamalla ole läheskään aina edes biologisesti mahdollista

(51). Eräiden kasvupaikkojen on todettu tarvitsevan jatkuvaa ravinnetilan seuranta. Ravinnetalouden hoito on nähty myös tulevaisuuden keinona hoitaa metsätuhoja ja torjua tuhoallisuuden lisääntymistä. Terveyslannoituksen onnistuminen edellyttää entistä tarkempaa ravinnetilan määrittämistä. Tarvetta lisää se, että tällaisia lannoituksia käytetään useimmin kasvupaikoilla, joilla pintakasvillisuuteen perustuva luokitus ja lannoitusohjeiden käyttö on vaikeata tai mahdotonta. Niitä ovat esim. aikaisemmin lannoitetut metsät, metsitetyt pellot, voimakkaasti muokatut kasvupaikat ja turvetuotannosta vapautuneet suopohjat. Terveyslannoitusta ryhdyttiin tutkimaan vasta 1990-luvun alussa, joten tulokset ovat vielä vähäisiä. Tässä lannoitusmuodossa ensisijaisena tavoitteena ei ole lisätä puuston kasvua, vaan säilyttää metsien elinvoimaisuus.

Tämän kirjan tarkoituksena on esitellä metsiemme pääpuulajeilla tavatut ravinnepuutosten ja tasapainohäiriöiden ulkoiset oireet eli symptomit lähinnä maastossa tapahtuvaa tunnistamista varten. Tavoitteena on myös, että kirjan käyttäjä voisi joko itse tunnistaa havaitsemansa ongelman tai lähteä tuloksellisesti selvittämään sitä. Oireiden kuvaukset perustuvat ensisijaisesti kotimaisiin tutkimustuloksiin (30, 53, 57-61, 66, 74) ja havaintoihin. Niiden puuttuessa nojautaan em. ulkomaisiin kokoomateoksiin. Oirekuvauksen lisäksi kerrotaan pääpiirtein oireiden fysiologisesta taustasta ja todennäköisimmistä esiintymispaikeista. Oireisiin perustuvassa diagnostiikassa käytetään nykyisin rinnasteisena menetelmänä kasvianalyysin sovelluksia, neulasanalyysejä männyn ja kuusella sekä koivun lehtianalyysejä. Tämän vuoksi esitetään myös neulasten ja lehtien näytteenotto-ohjeet ja analyysien

tulkinnassa tarvittavat raja-arvot. Kemiallinen maa-analyysi, johon ravinnetilan määrittäminen peltoviljelyssä pääasiassa perustuu, voi tulla kyseeseen ennestään puuttomilla kasvupaikoilla. Sen suorittamisessa tarvitaan asiantuntija-apua, koska näytteiden otto ja analyysit voidaan tehdä monella eri tavalla.

RAVINTEET PUIDEN KASVUTEKIÖINÄ

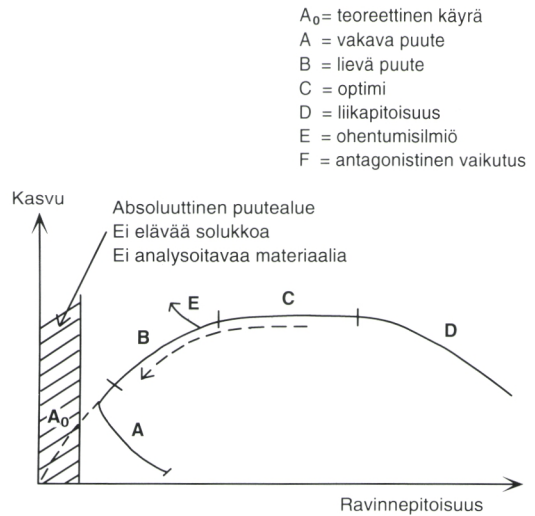
Rakenneraaka-aineiden, hiilen (C), hapen (O) ja vedyn (H) lisäksi puu tarvitsee ravinteita. Pääravinteita ovat typpi (N), fosfori (P) ja kalium (K), sivuravinteita kalsium (Ca), magnesium (Mg), rikki (S) sekä natrium (Na) ja hivenravinteita boori (B), rauta (Fe), mangaani (Mn), sinkki (Zn), kupari (Cu), koboltti (Co), pii (Si), kloori (Cl) ja molybdeeni (Mo). Kasvi tarvitsee ja ottaa pää- ja sivuravinteita 100-1000 kertaa enemmän kuin hivenravinteita. Hivenravinteiden pitoisuus on yleensä vain muutamia miljoonasosia kuiva-aineesta (65).

Pää- ja sivuravinteista kolmella epämetallilla (typpi, fosfori ja rikki) on suuri merkitys valkuaisaineiden rakenneosina. Alkali- ja maa-alkalimetalleilla (kalium, kalsium ja magnesium) taas on hallitseva rooli solujen neste- ja elektrolyyttitasapainon ylläpitäjänä. Lisäksi kaikki ravinteet osallistuvat aineenvaihduntaan entsyymien ja hormonien avainatomeina tai niiden toiminnan aktivaattoreina ja katalysaattoreina (55).

Puutosten ilmenemisen ja oireiden esiintymisen kannalta yksi ravinteiden tärkeä ominaisuus on niiden liikkuvuus kasvissa. Se tarkoittaa ravinteen siirtymisnopeutta sekä mahdollisuutta siirtyä kasvinosista toisiin, esim. vanhenevista uusiutuviin osiin. Pää- ja sivuravinteet voidaan jakaa karkeasti kolmeen ryhmään:

erittäin liikkuvat (typpiyhdisteet ja kalium), kohtalaisen liikkuvat (fosfori, rikki, magnesium) ja huonosti liikkuva (kalsium) (9, 41). Liikkuvuudella tarkoitetaan tällöin ravinteiden kykyä siirtyä haihtumisvirtauksesta nilaan, jota pitkin ravinteet siirtyvät käyttöpaikoille, mm. takaisin juuristoon. Nilassa helppoliikkeisiä ovat P, K, Mg ja S, kun taas suurelta osin lähes liikkumattomia ovat esim. Ca ja B (17). Tärkein tapahtuma juurten ravinteiden oton laantuessa, itämisvaiheessa tai kukkimisvaiheen lisääntyneitä ravinnetarpeita tyydytettäessä on remobilisaatio (16) eli ravinteiden siirto uusille käyttöpaikoille. Tunnetuin ja säännöllisin ravinteiden remobilisaatio tapahtuu syksyllä lehtien kellastuessa. Puutosoireiden näkyminen vanhoissa lehdissä ja yleensä koko kasvissa osoittaa ravinteiden (N, P, K, Mg) voimakasta remobilisaatiota. Jos oireet sijoittuvat uusiin lehtiin ja näkyvät vain muutamassa oksassa (S, Fe, Cu, Mn, vanhoissa puissa myös Mg) tai kasvupisteiden lähelle (Ca, B), on se osoitus ravinteiden vähäisestä remobilisaatiosta. Hivenravinteista Fe, Cu ja B (valtaosa) sitoutuvat solujen rakenneosiin sekä pieniin molekyyliin. Liukoinen osa boorista liikkuu sitä vastoin vieläkin helpommin kuin kalium. Proteiineihin ja muihin suuriin molekyyliin sitoutuvat kasvisoluissa mm. kaikki metalliryhmän hivenravinteet (7).

Kasvin ottaessa eri ravinteita ne valikoituvat solukoihin suhteissa, jotka yleensä poikkeavat maassa vallitsevista ravinteiden määrsuhteista. Ravinteiden tehon kasvutekijänä ratkaisevat kasvualustasta kelpoissa muodossa saatava määrä sekä käyttökelpoisten molekyylien määrä ja toimivuus kasvin sisäisessä fysiologisessa ympäristössä. Kutakin ravinnettä voidaan ajatella kasvutekijänä, jonka suhteen puun kasvu ja elinvoimaisuus nou-



Kuva 1. Yleinen kasvumalli

dattavat kuvan 1. esittämää yleistä mallia. Kellokäyrä kuvaa, kuinka kasvi sekä puutoksen (a-b) että ylimäärän (d) alueella reagoi voimakkaasti ravinteiden saannin (pitoisuuden) muutokseen. Saannin ollessa optimissa (c) kasvu ei muutu pitoisuuden muuttuessa. Käyrän alueilla b ja d kasvi voi kasvun muutoksen lisäksi osoittaa erityisiä ulkoisia oireita. Tällaiset poikkeavuudet kasvin ulkonäössä (lehtien värioreet, häiriintynyt kasvutapa, yms.) aiheutuvat teorian mukaan vakavista poikkeamista ravinteiden saannissa tai kuljetuksessa. Toisaalta on todettava, että jokaisen kasvutekijän vaikutus riippuu myös muiden kasvutekijöiden tilasta. Ravinteille näitä yhdysvaikutteisia tekijöitä ovat erityisesti muut ravinteet, happamuus, vesitalous ja ilmastotekijät. Kuvaan 1 voidaan merkitä luotettavimmin kiinteä asteikko tietyn ravinteiden pitoisuusvaihtelulle vain silloin, kun muiden tekijöiden vaikutukset ovat hallinnassa. Myöskään ulkoisten puutosoireiden esiintyminen ei ole kaavamaisesti sidottu tiettyyn ravinnepitoisuuden vaihteluvälisiin. Erityisesti ravinnepitoisuuksien suhteet voivat vaikuttaa oireiden ilmene-



a



b

Kuva 2 a- b. Vanhat rämemännyn (kuva 2a) muistuttavat oireistoltaan kalliomäntyä (kuva 2b).

miseen. Täten kuvan 1 x-akselille voitaisiin yksittäisen ravinteen sijaan ajatella myös yhdysvaikutteisten ravinteiden määräsuhde.

PUUTOSOIREIDEN ESIINTYMISESTÄ

Kasvi ilmentää kasvualustansa tilaa esiintymisellään, kasvullaan, ulkoasullaan ja sen poikkeavuuksilla. Luonnossa kasvien kasvupaikan valinta on lajin vaatimusten ja kilpailun ohjaama. Tästä seuraa, että kasvyhteisöt, joiden perusteella Suomessa kasvupaikkatyytit määritetään, kuvastavat varsin hyvin myös ravinteisuutta (taulukot 1-2). Nimenomaan kilpailu huolehtii siitä, että kasvilaji harvoin voi kasvaa sillä pitoisuusalueella, jolla ravinteen puutosoireet voisivat ilmetä. Paremmiin kyseisiin olosuhteisiin sopeutuneet lajit syrjäyttävät sen. Luonnossa puutosoireita näyttää esiintyvän enemmälti vain jonkin kasvutekijän suhteen niin äärevillä kasvupaikoilla, että kilpailu on niillä heikkoa. Maa- ja metsätaloudessa säädelään kasvualustojen vesi- ja ravinnetilaa ja luodaan usein edellytykset ravinnepuutosoireiden ilmenemiselle. Esim. metsäpuiden ravinnepuutoksista useimmat on

huomattu ja kuvattu lannoituskokeiden tai käytännön lannoitustoiminnan yhteydessä. Myös laskeumat ovat nykyisin muuttamassa maaperää niin, että uusia ravinnehäiriöitä on jo tavattu. Ravinnepuutosten tunnistaminen on tullut tärkeämmäksi puiden vaurioriskin kasvaessa. Luontaiset ravinnepuutokset on erotettava ympäristövaurioista. Toisaalta on huomattava, että monet ympäristövauriot ilmenevät ravinteiden ja veden saannin vaikeutumisena, hyönteis- ja sienituhoriskin kasvuna jne.

Taloudellisesti tärkeiden puulajiemme - männyn, kuusen ja koivulajien - kasvupaikkavalikoima on laaja. Kasvun vaihtelulla ne ilmentävät mm. kasvupaikkajensa ravinteisuuden vaihtelua. Lähinnä kasvun määrän ja jakauman muuntelusta seuraa puun ulkoasun normaalina pidetty vaihtelu. Nykyisin tiedetään, että esim. rahkarämeen vanhan männyn ulkoasu (kuva 2a) on pääosin seurausta kasvualustan niukkaravinteisuudesta, juuriston hapen puutteesta sekä valoisasta kasvuympäristöstä. Kalliolla kasvavan männyn lähes samanlainen ulkoasu (kuva 2b) syntyy osin samoista, osin eri syistä, joista mainittavin on kuivuus. Kuvatunlaista

Taulukko 1. Ravinnepuutosten ja ulkoisten oireiden esiintyminen kivennäismaan kasvupaikkatyypeillä

Tyyppi	N	P	K	Mg	B
Karukko (CIT)	●	-	-	●	-
Kuiva (CT)	●	-	-	○	(°)
Kuivahko (VT)	○	-	-	○	(°)
Tuore (MT)	○	○	-	-	(°)
Lehtomainen (OMT)	-	○	-	-	-
Lehto (OMaT)	-	-	-	-	-

Lähde: Viro 1950, lievät Mg-puutostilat kirjoittajien arvioita

● = Ankara puutos

○ = Lievä puutos

(°) = Puutosoireita epätasapainoisen lannoituksen yhteydessä

- = Ei puutoksia

Taulukko 2. Ravinnepuutosten ja ulkoisten oireiden esiintyminen turvemilla ojikoiden ja muuttumien kasvupaikkatyypeillä

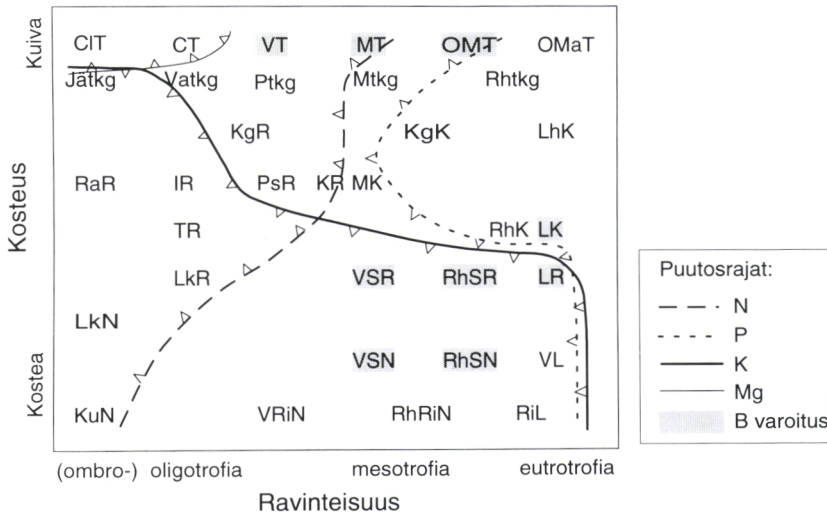
Ravinteisuus- luokka	Pää- muoto	N	P	K	B
Rahka (Ra)-	Neva (N)	●	●	○	-
	Räme (R)	●	●	(°)	-
Tupasvilla (T), isovarpu (I)-	Neva (N)	●	●	○	(°)
	Räme (R)	●	●	(°)	(°)
Piensara (Ps), puolukka (P)-	Neva (N)	○	●	●***	(°)
	Räme (R)	●	●	(°)***	(°)
	Korpi (K)	○*	●	(°)	-
Suursara (Ss), mustikka (M)-	Neva (N)	-	●	●	○
	Räme (R)	○*	●**	●	○
	Korpi (K)	_*	○	○***	-
Nevaruoho, metsäruoho (Rh)-	Neva (N)	-	●	●	●
	Räme (R)	-	○**	●	●
	Korpi (K)	-	-	_****	-
Lehto (Lh), letto (L)-	Neva (N)	-	●	●	●
	Räme (R)	-	●**	●	●
	Korpi (K)	-	-	-	-

Selitykset, ks. taulukko 1

*) Ohutturpeisuus ja pohjoinen sijainti lisäävät N-puutoksen riskiä

**) Lettoisuus, nevaisuus, karhunsammaleisuus, rimpisyys ja siniheinäisyys lisäävät P-puutoksen riskiä

***) Lettoisuus, nevaisuus ja karhunsammaleisuus lisäävät K-puutoksen riskiä



Kuva 3. Ravinnepuutosten todennäköisin esiintymisalue metsä- ja suotyypeillä sekä turvekankailla. Kasvupaikkatyytit on järjestetty siten, että ravinteisuus lisääntyy vasemmalta oikealle ja kuivuus alhaalta ylös. Väkäset rajaviivassa osoittavat puutosalueen suuntaan.

kasvupaikan 'karuutta' selittävät siis osittain ravinne-ekologiset tekijät. Tällaiseen kitukasvuisuuteen liittyy harvoin spesifisesti tunnistettavia puutosoireita.

Tässä kirjassa ravinnepuutosoireella tarkoitetaan kasvin ulkoasun sellaisia poikkeavuuksia, joiden pääasiallinen syy on ravinne-ekologinen tekijä. Hyväksyttävää syy-yhteyden varmistusmenetelmiä ovat lannoituskokeet ja kasvianalyysin sovellukset, harvemmin pelkkä kemiallinen maa-analyysi. Yleensä puutosoireen aiheuttajaksi hyväksytään se ravinne, joka lannoituskokeessa poistaa oireen ja kohottaa lehtien ravinnepitoisuuden tyydyttävälle tasolle. Näin varmistettuja oireita kutsutaan spesifisiksi oireiksi. Oireen kehitykseen voivat vaikuttaa myös muut tekijät, esim. kosteus- tai lämpöolot. Kasvun määrää käsitellään tässä oppaassa epäspesifisenä yleisoireena, mutta kasvun laadullinen häiriö voi olla spesifinen puutosoire. On mahdollista, että useamman epäspesifisen oireen säännöllinen esiintyminen muodostaa

spesifisen oireyhtymän eli syndrooman. Spesifisten oireiden väliset erot voivat puilla olla pieniä. Varsinkin havupuilla näyttää olevan taipumusta reagoida moniin ympäristön poikkeavuuksiin ulkoisesti jokseenkin samalla tavalla. Tämä tekee oireiden tarkan kuvaamisen tarpeelliseksi. Esimerkiksi neulasten kellastuminen (kloroosi) ja kuoleminen (nekroosi) voi aiheutua monista syistä. Ravinnepuutosten lisäksi mm. kuivuus, kylmyys, laskeuma, kasvitaudit, tuholaiset sekä kasvinosien vanheneminen voivat olla syynä lehtien ja neulasten värikoihin.

Useamman ravinnepuutoksen yhtäaikaista esiintyminen ei ole harvinaista. Tällöin kasvissa voi ilmetä useita oireita samanaikaisesti tai ne voivat peittää toisiansa. Paha ravinnehäiriö saattaa altistaa kasvin tuholaisille, jolloin myös tuho ja puutosoire voivat yhdistyä ja vaikuttaa toistensa ulkoasuun. Usean ravinteiden samanaikaisissa puutostapauksissa on tavallista, että yhden puutoksen poistaminen (yksipuolinen lannoitus) paljastaa jonkin

toisen puutostilan, joka rajoittaa puuston elintoimintoja.

Puutosoireiden esiintymisellä on selvä syy-yhteys luontaiseen kasvupaikkavaihteluun (taulukot 1-2). Esim. typen puutoksen todennäköisyys on suurin kuivilla kankailla ja karuilla rämeillä. Vastaavasti oireiden esiintyminen lehtomaisilla kankailla tai rehevissä korvissa on epätodennäköistä normaalien kasvukausien jälkeen. Perusorientoitumista varten esitetään kuva 3. Epätasapainoisen lannoituksen tai jonkin luontaisen muutoksen seurauksena (esim. kesätulva, kesän yli pysynyt routa) oireita esiintyy myös annetun kasvupaikkavalikoiman ulkopuolella.

MITEN OIREITA HAVAINNOIDAAN

Jotta maastossa havaitut oireet kyettäisiin tunnistamaan tämän oppaan perusteella, on poikkeavuuksien tarkkailussa ja inventoinnissa hyvä noudattaa systemaattisesti tiettyjä sääntöjä:

1. Määritetään oireilevan puuston ikä, koko tai kehitysluokka, tiheys ja puulajisuhteet. Mitä tuhoja puustossa esiintyy, mitä tuhoa oireet lähinnä muistuttavat?

2. Tutkitaan, missä kasvinosassa oire ilmenee. Määritetään oirehtivien neulasten, lehtien tai muiden kasvinosien ikä, sijainti latvuksessa, sijainti oksissa (kärki vai tyvi) sekä havupuilla vuosikasvaimen osa (kärki, keskiosa, tyvi). Lehdistä määritetään oirehtiva osa (kärki, reunat, suonten välit, lehtisuonet jne).

3. Kuvataan oireet sanallisesti; väri ja värisävy, värirajat (jyrkkiä vai vähitellen vaihtuvia), silmu ja kasvuhäiriöiden laatu. Piirroukset ja värivalokuvat ovat hyödyllisiä.

4. Merkitään muistiin ensimmäisen oirehavainnon päivämäärä ja oireissa mah-

dollisesti havaittujen muutosten ajankoh- ta. Määritetään oireen yleisyys metsikössä.

5. Tehdään merkinnät kasvupaikasta ja ympäristöstä: metsä- tai suotyyppi, (niukka- vai runsasravinteinen kasvupaikka) metsänhoito- ja parannustoimenpiteet, erityisesti lannoitukset, kasvupaikkailmaston ja vesitalouden poikkeavuudet, mahdolliset laskeuman lähteet ja etäisyys niihin.

6. Otetaan oksanäytteitä oirehtivista puista.

7. Jos on tarpeen varmistaa oirehavainto analyttisesti, voidaan ottaa lehti- tai neulasnäytteet, teettää analyysit ja tulkita tulokset myöhemmin kirjan lopussa esitettyjen ohjeiden mukaisesti.

Oirehavainnot on helpointa tehdä pienikokoisista puista, joissa ne useimmiten myös esiintyvät selvimpinä. Puutostilat vaihtelevat metsikkökuvioittain, niin että samalla ojitetulla suolla saattaa esiintyä monenlaisia ravinnepuutosyhdistelmiä ja myös puutoksettomia kuvioita. Sama koskee kangasmaan metsiä, joissa metsikkökuviot ovat usein paljon laajempia kuin turvemaidella. Näin ollen puutosoireita kannattaa tarkkailla jo taimikkovaiheessa ja merkitä ne muistiin kuvion tarkkuudella, vaikkapa metsätaloussuunnitelmaan sitä mukaa, kun niitä löytyy. Varttuneessa puustossa näkyy samoja oireita kuin taimikoissa, mutta niiden havaitsemiseen tarvitaan kiikaria tai oksanäytteen ottamista. Pällekkäiset ankarat ravinnepuutokset aiheuttavat helposti havaittavaa puuston kitukasvuisuutta. Pitkään kitunutta, vanhaa puustoa ei kuitenkaan ole yhtä helppoa elvyttää kuin nuorta metsää. Senkin vuoksi ravinnepuutosoireita kannattaa tarkkailla ensisijaisesti nuorissa puustoissa.

MIHIN OIREHAVAINTOJA VOIDAAN KÄYTTÄÄ

Varma oirehavainto voi antaa aiheen ravinnetaloutta tasaavaan, kasvua parantavaan tai metsän elinvoimaa ylläpitävään lannoitukseen. Epävarman havainnon voi varmistaa analyttisesti. Yleensä ensimmäisten puutosoireiden ilmaantua vasta lähestymässä kasvua oleellisesti rajoittavaa puutostilaa, joten aikaa lannoitusten suorittamiseen on usein riittävästi. Varttuneissa puustoissa oireiden havaitseminen on vaikeata. Niinpä metsänomistaja ei yleensä havaitse riukuasteen ohittaneissa puissa esiintyvää latvakatoa, ennenkuin sitä on yli 20 % puista. Sellainen metsänomistaja, joka säännöllisesti seuraa puiden kasvun edistymistä, havaitsee ensimmäisenä puustoa uhkaavat vaarat. Hänelle jää aikaa ottaa selvälle, mikä puustoja vaivaa.

Metsikkökuvioiden hoitotoimet voidaan asettaa kiireellisyysjärjestykseen oireiden esiintymisalan ja voimakkuuden mukaan. Jos oireet ovat lieviä, tai niitä esiintyy vain muutamissa puissa, tilanteen kehitystä voidaan seurata perättäisin oirehavainnoin Oirehavaintojen perusteella voidaan määrittää myös laskeumahaitta-alueiden pinta-alat tai havaita maastoon joutuneiden haitallisten aineiden "kaatopaikat". Oirehavaintojen tekeminen säästää analyysikuluja vähentämällä tarvittavia näytemääriä.

RAVINTEET JA PUUTOSOIREET

Pää- ja sivuravinteet

Typpi (N)

Typpi kuuluu jokaisen kasvisolun rakenneaineisiin. Sitä on kasveissa ravinteista eniten (yleensä 2-5 % lehtien kuiva-aineesta, metsäpuissa alle 2 %). Sitä on jokaisen solun aminohapoissa, proteiineissa, nukleiinihapoissa, amideissa, monissa alkaloideissa, glykosideissa, kasvuhormoneissa jne. Typpi on selvimmän kasvun määrään vaikuttava ravinne. Se on mm. lehtivihreän tärkeä osa. Tyypin puutos ilmenee eri kasvinosien heikentyneenä kasvuna.

Mänty: Spesifisenä typen puutosoireena on koko latvuksen alueella ilmenevä neulasten kellanvihreä-keltainen kloroosi, joka on tasaista neulasen kaikissa osissa (kuva 4a). Joskus neulaset ovat latvuksen yläosassa vihreämmät kuin alaosassa. Kloroosiin liittyy aina heikko kasvu sekä neulasten lyhyys ja hentous, siis vähäinen biomassa. Neulaset ovat yleensä sitä pienemmät, mitä keltaisempi väritys on. Kellertävyys ja keltaisuus ilmestyvät uusiin neulasiin pituuskasvun päättyessä silloin, kun normaalien neulasten tulisi muuttua alkukesän vaaleanvihreistä syvän vihreiksi. Elokuussa nuorimmat neulaset erottuvat puun kalpeimpana neulasvuosikertana. Fysiologisesti kloroosi typen puutoksessa aiheutuu viherhiukkasten vähenemisestä. Typpilannoitus lisää nopeasti lehtivihreän määrää neulasissa.

Männyn neulasten vihreys syvenee metsätyypin viljavuutta myötäillen. Varsinaisia typen puutosoireita tavataan vain karukkokankailla (CIT) ja joskus kuivilla

Kuva 4 a- d. Typen puutos eri puulajeilla.

a. Männyllä typen puutosoireita havaitaan, jos neulasten N-pitoisuus on alle 1,30% (Äänekoski, Hietama). Oikealla normaali latva (Vantaa, Tikkurila).



a

b. Kangasmailla männyn typen puutos on tyypillisimmillään paljastetuilla sorapinnoilla yms. (Äänekoski, Hietama).



b

c. Kuusella typen puutoksessa neulasten N-pitoisuus on alle 1,25 % (Äänekoski, Hietama). Oikealla normaali (Vantaa, Tikkurila).



c

d. Hieskoivuilla typen puutoksessa lehtien N-pitoisuus voi olla yli 2 %. (Äänekoski, Hietama), oikealla normaali (Vantaa, Tikkurila).



d

kankailla (CT). Tavallisia ne ovat humuksettomalle alustalle (hylätyt sorakuopat (kuva 4b), tien penkat jne.) syntyneissä taimikoissa. Karuimpien rämeiden (RaR, KeR) männyt ovat neulasistoltaan kellanvihreitä. Männyen normaaliin vuosirytmiiin kuuluva talvinen kellertyminen on helpoimmin havaittavissa näillä kasvupaikoilla. Sitä edistää typen ja fosforin samanaikainen puutos karuilla soilla.

Lannoituskokeiden ja neulasanalyysin mukaan piilevää tai lievää typen puutosta esiintyy kivennäismailla vielä MT-kankaillakin, Etelä- ja Keski-Suomen rämeillä piensara- puolukkatasolle (KR, LkSR) saakka ja vielä mustikkakorvisakin, erityisesti PK- ja tuhkalannoituksen jälkeen. Pohjois-Suomessa typen puutosta tavataan yleisesti vielä suursaratason rämeiden ja nevojen ojitusalueilla, kylmän kesän jälkeen viljavammillakin kasvupaikoilla. Niinpä kylmän ja vähälumisen talven 1986/87 jälkeen Pohjois-Suomen turvemaidella esiintyi erään neulasanalyysiaineiston mukaan typen puutosta 46,9 % tutkituista tapauksista. Etelä-Suomessa vastaava osuus oli samaan aikaan vain 20,2 % (71).

Typen puutoksen selvät värioireet ovat aina merkki ankarasta puutoksesta ($N < 1,0$ %). Puutosrajat on määritetty eri tavalla turvemaidella ja kangasmailla, mutta ankaran puutoksen ylärajat ($N = 1,2-1,3$ %) ovat ilmeisesti vain eri suuntaisia pyöristyskäsityksiä (taulukot 4-5).

Typen puutos torjutaan typpilannoituksella. Typeä (alkuaineksi laskettuna) tarvitaan lannoituskerralla 50-150 kg/ha. Kivennäismailla kuivuus ja huuhtoutuminen voivat alentaa N-lannoituksen tehoa karukko- ja kuivilla kankailla eli juuri kasvupaikoilla, joilla puutos on voimakkainta. Turvemaidella ongelmana voi olla nitraattitypen huuhtoutuminen tai yli-ikäiset rämemänniköt, joihin lannoitus

ei juuri tehoa. Vanhemmilla ojitusalueilla typen lisäystarve näyttää vähenvän. Turvekangasvaiheessa suomensien typen puutos saattaa poistua suhteellisen karuiltakin kasvupaikoilta turpeen omien typpivarojen vapautuessa mikrobitoiminnan seurauksena puiden käyttöön. Niinpä karuille ojitetuille turvemaidelle (tupasvilla-piensarataso) suositellaan typpilannoitusta yleensä vain osana ensimmäistä lannoitusta, mikäli puusto on suhteellisen nuorta ja täystiheää. Rahkaiset ja rahkamättäiset ojitusalueet ja erityisesti niiden aukkoiset tai vanhat puustot ovat taloudellisesti lannoituskelvottomia, vaikka kärsivätkin selvästi mm. typen puutoksesta. Näihin karuimpiin suometsiin perustetuissa kokeissa lannoitusvaikutus on lähes aina ollut lyhytaikainen ja vähäinen.

Käyttökelpoisia typpilannoitteita ovat Suomensalpietari (26-0-1), urea (46-0-0) ja metsän NP-lannos (25-3-0) kangasmailla ja soistuvilla kankailla sekä suometsien Y-lannos (13-5-11) ojitetuilla soilla. Kuivimmille kasvupaikoille soveltuu parhaiten hidasliukoinen Metsän kestopannos (Kemifix), jonka N-pitoisuus on 35 %.

Kuusi: Typen puutosoireisto on samanlainen kuin männyllä (kuva 4c). Kloorosin ilmestymisajasta ei ole havaintoja, mutta vuosirytmii muistuttanee männyyn vastaavaa. Typen puutosta näkyy kuusissa kangasmailla vain kuivien kankaiden kituvissa aliskasvoksissa ja muilla kuuselle huonosti sopivilla kasvupaikoilla. Esimerkiksi humuksettomien tienpientareiden kuusen taimet osoittavat usein typen puutosta. Turvemaidella typen puutosta oirehtivat kuuset ovat tavallisia Pohjois-Suomen mustikka-/suursaratason ja sitä karummissa korvissa, etenkin räaseikkökorvissa ja korpirä-

meillä. Myös Etelä-Suomen sarakorpien kitukasvuiset kuuset ovat monesti neulasistoltaan kellertävämpiä kuin viljavien kasvupaikkojen puut. Turvemaiden kuusikoissa typen puutosta voi esiintyä osalla mustikkakorvista ja sitä karummilla kasvupaikoilla vielä turvekan-gasvaiheessa (48).

Kuusen neulasten typpipitoisuudet ja raja-arvot ovat hiukan erilaisia kangasmailla ja turvemailla (taulukot 4 ja 5). Erot aiheutuvat osittain näytemetsiköiden kokoeroista ja erilaisesta näyte-oksen valinnassa.

Typpilannoituksella saadaan kuusen kasvu kangasmailla paranemaan voimakaimmin pituusboniteeteilla H100=21-26, jotka vastaavat kasvupaikkavaihtelua karu VT- karu MT. Hyvällä MT:llä ja sitä viljavammilla paikoilla typpilannoitus lisää kasvua selvästi vähemmän kuin em. karummilla kasvupaikoilla (75). Kuusen typen puutosta on yritetty poistaa suometsissä samoilla lannoitteilla kuin männykin. Toistaiseksi se on koeolosuh-teissa osoittautunut kannattavaksi vain Etelä- ja Keski-Suomessa (2). Syynä epäonnistumisiin saattaa olla Itä- ja Pohjois-Suomen koekuusikoiden korkea ikä lannoitushetkellä, joskus myös ojastojen heikko kunto (48).

Koivut: Raudus- ja hieskoivulla typen puutosoireet muistuttavat havupuiden oireita (60). Kellanvihreä, koko lehtilapaa tasaisena kattava kloroosi erottuu ankan typen puutoksen alueilla varsinkin keskikesällä lehtien normaalisti ollessa syvän vihreitä. Kitukasvuisuus, vähäinen pituuskasvu ja lehtien pieni koko liittyvät aina näihin värioireisiin (kuva 4d).

Molemmat koivulajit karttavat typpi-köyhimpiä kasvupaikkoja. Puutosoireita tavataan vain karuimpien kasvupaikkojen yksittäisissä heikkokasvuissa puis-

sa karukkokankailla, kuivilla kankailla sekä ojitetuilla rahkaisilla soilla. Humuksettomilla, karuilla kasvu-paikoilla myös koivut voivat havupuiden tavoin oirehtia typen puutosta. Lannoituskokeiden mukaan piilevää typen puutosta voi esiintyä koivuilla vielä mustikkakorvissakin (48).

Koivun lehdissä typpipitoisuus on korkeampi kuin vastaavien kasvupaikkojen havupuiden neulasissa. Kahdesta hieskoivukokeesta kivennäismaalla saatiin keskiarvoiksi 1.76 ja 1.86 %, ja eräältä turvemaan lannoituskokeelta tuli 200 puukohtaisen näytteen keskiarvoksi peräti 2.53 %. Typen puutoksen lehti-analyttisiä raja-arvoja ei ole suomalaisesta aineistosta määritetty. Kangasmail-la typpilannoitus lisää molempien koivulajien kasvua erityisesti taimikkovaiheessa (77).

Nuorissa turvemaan koivikoissa lannoitustulokset ovat yleensä lupaavia (28,50), jopa parempia kuin samanikäisissä männiköissä. Ainakin rauduskoivu tarvitsee NPK-lannoituksen suokasvu-paikalla, jossa männylle riittää PK-lannoitus (3). Vanhemmissa suokoivikoissa lannoitusvaikutukset ovat jääneet vähäisiksi, erityisesti Pohjois-Suomessa (48). Typpiannoksen lisääminenäkään ei näytä parantavan lannoitustulosta enää varttu-neissa suokoivikoissa.

Fosfori (P)

Elävän solun energiatalous perustuu nukleosidifosfaattien ATP, ADP ja AMP muodostamaan energian varastointi- ja siirtojärjestelmään. Fosforia esiintyy myös proteiineissa ja hiilihydraateissa. Sillä on tärkeä osuus myös eliöiden geneettisessä biokemiassa. Erilaisten kasvatapahtumien lisäksi fosfori on tärkeä mm. siementen itämisessä ja kypsy-

sessä. Vaikka fosforipitoisuudet kasvisa ovat pienet (keskimäärin noin 1/10 typpipitoisuuksista), puutos näkyy ensisijaisesti kasvun heikkenemisenä ja eri kasvosien yleisenä kitukasvuisuutena.

Mänty: Fosforin puutos vaikuttaa männyllä selvimmin kasvun määrään ja laatuun. Neulasten värioireet ovat harvinaisia tai vaikeita tulkita. Pituuskasvu on P-puutoksessa vähäistä, kasvaimet ovat ohuita ja heikon puutumisen vuoksi mutkaisia. Neulaset jäävät lyhyiksi (1-4 cm). Sadan neulasen kuivamassa on alle 1,5 g, kun se hyvässä fosforitilanteessa on 2-3 g. Neulasten perusväri on kuitenkin yleensä jokseenkin normaali. Elossa olevien neulasvuosikertojen määrä on fosforin puutostilassa keskimäärin alentunut. Vihreätä neulasmassaa on usein syyskesällä jäljellä alle kaksi vuosikertaa.

Spesifisiä oireita männyn neulasissa tavataan voimakkaassa fosforin puutoksessa kolmea eri tyyppiä:

I. Sirkkataimilla ja nuorilla taimilla (0-2 v), erityisesti taimitarhoissa, mutta myös metsittyvillä turvemaidella, esiintyy nuorten neulasten violetti, korkeaan antosyaanipitoisuuteen liittyvä väritys (4). Hallalla lienee osuutensa sen syntyyn.

II. Turvemaiden metsänviljelyalueiden ja joskus myös kivennäismaan aurasalojen 1-4-metrisissä taimikoissa tavataan kasvukauden alkaessa ilmestyvä ja sen mittaan säännömukaisesti kehittyvä neulas-, silmu ja kasvainoireisto. Latvakasvainten ja joskus myös ylimpien sivukasvainten neulaset muuttuvat äkillisesti joko kärjestä tai kokonaan ruskeiksi (nekroottisiksi) eli kuolevat. Yleensä männyn neulaset ovat kasvaimen koko pituudelta yhtä nekroottiset (kuva 5a), mutta nekroosi voi rajoittua vain kasvainten eteläpuolen (paahteisen sivun)

neulasiin. Neulasen ruskean ja vihreän osan välinen raja on jyrkkä ilman kloroottista välivyöhykettä (vrt. kaliumin puutos). Kasvaimen kaikkien neulasten kuollessa kärkisilmu voi säilyä elossa ja kehittyä uudeksi latvakasvaimeksi.

III. Ääritapauksissa myös kärkisilmu ja sivusilmut kuolevat (kuva 5b). Kasvukauden kuluessa oireiston kehitys riippuu alkutilanteesta. Täysin nekroottiset neulaset varisevat, mutta osittain elävät voivat säilyä sellaisina syksyyn asti. Myös kasvain kärkisilmuineen voi kuolla, jolloin pääangan kasvu päättyy. Seuraavana kesänä jokin ylimpien sivuhaarojen kärkisilmuista pyrkii korvaamaan tuhoutuneen latvakasvaimen. Syntyy ns. ohituskasvaimia. Latvanekroosin toistuksessa puu saa tasalatuksisen pensasmaisen ulkoasun. Se eroaa boorin puutoksesta kärsivästä puusta (vrt. kuva 8 a) mm. heikon kasvun, hentojen oksien ja latvakadon erilaisen syntymekanismien puolesta.

Kuvatun latvakato-oireiston liittymisen fosforin puutokseen on osoitettu sekä lannoituskokein että neulasanalyytisesti (57, 58). Samalla on voitu todeta kevättalven ja kevään lämpöolojen merkitys sen synnylle (31). Vähäsateinen, aurinkoinen ja kylmä huhtikuu sekä kovat hallat heti kasvukauden alettua saavat aikaan ns. pakkaskuivumisen fosforin puutoksesta kärsivien mäntyjen nuorimmissa osissa.

Ojitettujen turvemaiden männiköissä on todettu heikosti havaittavaa 1-vuotiaitten neulasten kärkikalvetusta (kloroosia). Neulasen kellanvalkea kärki on 1-3 mm:n pituinen ja samanlainen koko kasvaimen mitalta. Kyse on tuskin varsinaisesta viherkadosta, jota kasveilla hyvin harvoin on todettu P-puutoksen yhteydessä. Neulasen kärjen värittömyys on ehkä yhteydessä runsaaseen kuolleiden



a



b



c

Kuva 5 a-f. Fosforin puutosoireet

a. Männyn fosforin puutos; P-pitoisuus alle 1,6 g/kg, huomaa oksien hento rakenne ja neulasten enneaikainen karsiminen (Muhos, Jylkynrimpi)

b. Ankarassa fosforin puutoksessa (neulasten P alle 1,3 g/kg) varsinkin männyn taimet saavat kärsiä latvakoista useina peräkkäisinä vuosina (Muhos, Jylkynrimpi).

c. Männyn fosforin puutos liittyy usein kaliumin puutukseen (Muhos, Jylkynrimpi)

d. Myös kuusella fosforin ja kaliumin puutos esiintyvät usein yhdessä (Muhos, Jylkynrimpi). Kuusella neulasten P-pitoisuus on fosforin puutoksessa alle 2,3 g/kg. Ankarassa puutoksessa kuusen taimilla on usein vain 1- 3 elävää neulasvuosikertaa (ks. kannen kuva ylärivissä oikealla).

e-f. Koivulajeilla fosforin puutukseen liittyy usein ruskeanpunainen antosyaniiniväritys e = raudus, f = hies (Muhos, Jylkynrimpi)



d



e



f

tukisolujen muodostumiseen kitukasvuissa fosforin puutosneulasessa. P-lannoitus poistaa oireen, mutta saattaa tuoda tilalle varsin samannäköisiä lieviä kaliumin puutosoireita. Epäspesifiset P-puutokseen liittyvät kasvun poikkeamat ja muut spesifiset neulasoireet voivat muodostaa helpokosti tunnistettavan oireyhtymän (kuva 5c).

Lähes kaikki havainnot männyn fosforinpuutosoireista on tehty ojitetuilta turvemailta. Niillä fosfori onkin yleisimmin ja voimakkaimmin kasvua rajoittava tekijä, monin paikoin selvä kasvun minimitekijä. Neulasanalyysin mukaan fosforin puutosta esiintyi 62,7 %:ssa turvemaan lannoittamattomista, metsänomistajan ongelmallisiksi arvioimista kasvupaikoista (71). Yleisimmin fosforin puutosta esiintyi karujen suometsien harvaksi jääneissä taimikoissa. Ravinteiksi luokitelluista suokasvupaikoista fosforin puutoksesta kärsi yli 40 %. Lannoituskokeiden tulokset tukevat näitä havaintoja.

Fosforilannoitus poistaa fosforin puutosoireet ja lisää männyn kasvua kaikilla sille luontaisesti soveltuvilla suokasvupaikoilla. Nevaisuus ja rämeisyys lisäävät puutosta ja siten myös lannoitustarvetta. Fosforiköyhimpiä ovat rimpiset, rahkaiset ja lettoiset suot, joilla myös kuvattu oireisto varmimmin näyttäytyy. Pienikin P-määrä hidasliukoisessa muodossa (raakafosfaattia 200 kg/ha = P 30 kg/ha) riittää parantamaan kasvua ja pitämään oireet loitolla vuosikautia. Samalla puuston kasvu lisääntyy, ellei joku muu minimitekijä sitä estä. Fosfori annetaan suometsiin yleisesti PK-lannoksena, johon on lisätty pieni määrä booria.

Oireiden esiintyminen on männyllä aina merkki ankarasta fosforinpuutoksesta. Laajassa ojitettujen turvemaiden

aineistossa neulasten kärkikalvetus yleistyivät neulasten talvisen P-pitoisuuden laskeutumisessa alle 1,2 g/kg. Ankaran puutoksen ja samalla lannoitustarpeen raja on asetunut arvoon 1,3 g/kg (49). Kangasmaiden männyllä raja-arvona on käytetty, ehkä erilaisen näytteenottostandardin vuoksi alempia arvoja (taulukot 4-5). Pakkaskuivumisneuroosia ja latvakatoja taas esiintyi Kivisuon koekentän taimikon puissa, joiden 1-vuotisten neulasten P-pitoisuus oli kasvukaudella 0,2 g/kg. Jo pitoisuudessa 0,4 g/kg taimet olivat oireettomia (58).

Kuusi: Kuusi karttaa turvemaiden fosforiköyhimpiä kasvupaikkoja ja jää niillä huonokasvuisiksi (kuva 5d). Siksi sen oireistoa on luonnossa vain satunnaisesti nähtävillä. Useammin oireita tavataan turvemaiden, erityisesti metsitettyjen suopeltojen tai suopohjien istutustaimissa ym. turvepaljastumille syntyneissä taimissa. Fosforin puutoksesta kärsivät kääpiökasvuiset ja lyhytneulasiset kuusen taimet osoittavat vastaavia neulasten värioireita kuin samojen kasvupaikkojen männyt. Kuusella on voitu todeta keväisen violetin antosyaaniväriytyksen edeltävän neulasneuroosia, joka aiheuttaa neulasneuroosia, joka aiheuttaa neulasneuroosia. Joskus tällaiset taimet säilyvät elossa yhden elävän neulasvuosikerran turvin (59). Kasvupaikat, joilla fosforinpuutoksen oireita kuusella esiintyy, ovat myös hallanarkuatensa vuoksi sille huonosti sopivia. Ilmeisesti kuusen oireilla on syy-yhteys alhaisiin lämpötiloihin. Kuusen fosforinpuutosoireilla ei ole käytännön merkitystä lannoitustarpeen määrittämisessä.

Fosforilannoituksella on voitu parantaa kuusen kasvua ojitetuissa karuimmista korvissa (piensara/puolukka-mustikkataso) sekä typpilannoituksen yhteydessä jonkin verran myös monenlaisissa kangasmaiden kuusikoissa. Erityisesti

Etelä-Suomen kangasmaan kuusikoissa fosforilannoitus saattaa monissa tapauksissa antaa kohtalaisen kasvunlisäyksen, vaikka näillä kasvupaikoilla ei yleensä havaita puutosoireita. Fosfori annetaan suometsiin PK-lannoksena ja kangasmaiden puutosalueille NP-lannoksena. Yksipuoliseen fosforilannoitukseen turvemailla liittyy aina vakava kaliumin puutoksen riski.

Laajahkoissa turvemaiden aineistoissa keskimääräiset fosforipitoisuudet olivat kuusella 2,24 g/kg (72) ja männyllä 1,36 g/kg (49). Turvemaan kuusille ankaran P-puutoksen rajaksi on esitetty arvoa 1,70 g/kg (72). Toistaiseksi ei tiedetä, missä kuusen neulasten fosforipitoisuudessa näkyviä puutosoireita alkaa esiintyä.

Koivut: Hieskoivu saattaa kasvaa luontaisesti varsin fosforiköyhilläkin suokasvupaikoilla. Rauduskoivu karttaa niitä, mutta taimettuu turvemaan paljastumille, ja sitä on viljelty jonkin verran suopelloille. Koivujen heikko kasvu ja kitulias ulkonäkö (kuva 5e-f) näillä kasvupaikoilla on osaltaan fosforin puutoksen aiheuttamaa. Spesifisenä fosforin puutosoireena koivuilla on kuvattu lehtien värisävyn muutoksia ja nekroosia (60). Heikkokasvuisten ja pienilehtisten hieskoivujen lehdet ovat fosforiköyhimmillä turvemailla likaisen harmahtavat. Rauduskoivun lehdet muuttuvat vastavassa tilanteessa sinertävän vihreiksi. Värisävyn muutoksiin liittyy molemmilla lajeilla epäsäännöllinen lehtien reuna- nekroosi ilman kloroottista välivaihetta. Nekroosia voi esiintyä yksittäisissä lehdistä kaikkialla taimen latvuksessa. Lehtien varhainen variseminen heinä- elokuussa kuuluu myös samaan oireistoon.

Koivuissa on keskimäärin alemmat fosforipitoisuudet turvemailla kuin kan-

gasmailla (taulukko 6). Molempien koivulajien lehtien fosforipitoisuudet ovat korkeammat kuin havupuiden neulasten, yleensä 2,0-4,0 g/kg. Puutosrajaksi, ilmeisesti rauduskoivulle, on esitetty arvoa 2,0 g/kg (43). Hieskoivun ankarassa fosforin puutoksessa turvemailla lehtien fosforipitoisuus oli 1,0 g/kg, kun se PK-lannoitetulla koealalla oli 2,3 g/kg (58). Voisi olettaa, että hieskoivulla fosforinpuutosraja on alempi kuin rauduskoivulla.

Kalium (K)

Monien kasvien lehdet sisältävät kaliumia verraten paljon, usein 20-50 g/kg. Suomännyn neulaset sisältävät kaliumia typen jälkeen toiseksi runsaimmin, yleensä 4-5 g/kg. Muilla puulajeilla kaliumipitoisuudet ovat normaalisti jonkin verran korkeampia.

Kalium ei sitoudu kasvin orgaanisiin rakenteisiin, vaan liikkuu tehokkaasti K⁺-ionimuodossa. Kaliumia esiintyy yleensä eniten kasvupisteiden lähellä. Aineenvaihdunnan vilkastuessa sitä tarvitaan lisää. Se on tärkein kasvin vesitaloutta (osmoosia ja ilmarakojen toimintaa) ja aineiden kuljetusta säätelevä ravinne. Veden kulku, haihdutuksen säätely ja nestejännitys ovat kunnossa, kun kaliumia on riittävästi saatavissa. Kaliumin puutoksessa vähenevät sokerien, aminohappojen ja monien muiden aineenvaihduntatuotteiden määrät (65). Kalium osallistuu myös fotosynteesiin, energia- aineenvaihduntaan ja orgaanisten aineiden synteeseihin lukuisien entsyymien aktivaattorina. Energia-aineenvaihdunnassa kalium osallistuu fosfaattien esteröintiin. Kaliumia on pidetty yleisesti ravinteena, joka voi lisätä kasvien vastustuskykyä kuivuus-, sieni- ja hyönteistuhoja vastaan. Maaperän runsas nat-

rium voi vähentää kaliumin puutosoireita, mutta natrium ei kykene korvaamaan kaliumia sen eri käyttöpaikoilla.

Mänty: Maa- ja neulasanalyysitulosten ja oirehavaintojen mukaan usein vasta ankara kaliumin puutos heikentää puuston kasvua merkitsevästi ja toisinaan myös nopeasti (49, 57). Kaliumin puutos näkyy neulasten viherkatona eli kloroosina. Tämä värioire on täsmällisesti kuvattavissa ja puidemme ravinnepuutosoireista helpoimmin tunnistettavissa. Puhtaan keltainen kärkikloroosi ilmestyy uusiin neulasiin syyskuussa. Männyllä se on aluksi voimakkainta kasvaimen kärkiosan neulastihentymässä ja lievempää kasvaimen tyviosan neulasissa (kuva 6a). Puun talveentuessa kloroosi heikkenee. Se peittynee kausiluonteiseen talvikellertävyyteen. Uudelleen se tulee selvänä esiin vasta vuoden vanhoissa neulasissa heinä-elokuussa. Tällöin sen voimakkuus kuvaa puutoksen astetta: ankarassa puutoksessa kasvaimen ylimmät neulaset ovat kärjestä 1/3-2/3 mitaltaan kloroottiset. Raja neulasen vihreän ja kellastuneen osan välillä on liukuva, ja kloroosi etenee neulasen reunoja myötäillen. Loppukesällä neulasten kärjet alkavat kuivua, siis muuttuvat nekroottisiksi. Kaliumin puutoksessa neulasen vihreän ja nekroottisen osan väliin jää kloroottinen vyöhyke, jota ei esiinny fosforin puutosnekroosissa. Oireisto esiintyy neulasen ja kasvaimen tasolla samantapaisena kaikenikäisissä männyissä. Usein puun kasvu on varsin hyvä voimakkaasta kloroosista huolimatta.

Neulaskloroosin ja -nekroosin ohella kaliumin puutos aiheuttaa kasvainten kärkiosan neulasten ja kärkisilmujen kuolemia latvuksen ylimmissä osissa jopa suhteellisen varttuneissa (10-15 m) turvemaan männyissä. Tätä vaihetta

edeltävä neulaskloroosi voi pitkistä puista jäädä huomaamatta. Silmu- ja latvakato näyttää ilmestyvän äkillisesti. Se on usein merkki metsikön kaliumtalouden häiriintymisestä. Oireisto muistuttaa ulkoasultaan boorin puutosta, mutta eroaa siitä kloroosin ja usein selvemmin heikentyneen kasvun puolesta.

Männyn K-puutoksen oireita on Suomessa tavattu vain turvemailla. Keski-Euroopassa ja Skandinavian eteläosissa kaliumin puutosta voi esiintyä huuhtoutuneilla kivennäismailla, jotka Suomesakin happaman laskeuman vuoksi ovat silmällä pidettäviä riskialueita. Kaliumvarat ovat vähäisimmät nevaisilla suotyypeillä (kuva 6b), joiden ojitusalueilla puutosriski kasvaa puuston varttuessa ja sitoessa yhä suuremman osan kasvupaikan kaliumista sisäiseen kiertoonsa. Vesiliukoisena ravinteena kalium huuhtoutuu saraturpeissa helposti puiden ulottumattomiin. N- ja P-lannoitukset kärjistävät kaliumin puutosta ja oireita. Metsitetyillä suopelloilla kaliumin puutosoireet ovat tavallisia, ja turvesoiden pohjilla niitä esiintyy lähes aina. Alun perin nevaisilla, ojitetuilla soilla kaliumin niukkuus on usein voimakkain kasvua rajoittava ravinne-ekologinen tekijä. Suhteellisen laajan neulasanalyysitutkimuksen mukaan kaliumin puutos oli fosforin jälkeen toiseksi yleisin ravinnepuutos (42,8 %) lannoittamattomissa suometsissä, joita metsänomistajat pitivät ongelmakohteina (71).

Suomännyn neulasten K-pitoisuudet vaihtelevat välillä 2,15-7,30 g/kg. Ankaria puutosoireita esiintyy alle 3,5 g/kg pitoisuuksissa, lieviä usein välillä 3,5-4,5 g/kg. Kun pitoisuus on yli 4,5 g/kg, männyt ovat oireettomia. Optimipitoisuus asettuu välille 4,5-6,5 g/kg (49,64). Neulasten kaliumpitoisuus seuraa kiinteästi



a



b



c



d

Kuva 6 a-e. Kaliumin puutosoireet

a. Männyllä kaliumin puutokseen liittyy neulasten K-pitoisuus alle 4,5 g/kg, ankarassa puutostilassa pitoisuus on alle 3,5 g/kg, kuvassa alle 3,0 g/kg (Utajärvi, Karjosuo)

b. Noin 12-15 vuotta PK-lannoituksen jälkeen alkaa näkyä kaliumin puutosoireita, vaikka kasvu jatkuu vielä hyvänä (Muhos, Jylkynrimpi)

c. Kuusen lievässä kaliumin puutoksessa neulasten K-arvot ovat alle 6,2 g/kg, ankarassa puutostilassa alle 5,2 g/kg. Näkyväksi oire tulee kuusella, kun K-pitoisuus laskee alle 4,0 g/kg. Se kertoo selvästä kaliumin puutoksesta ylispuumänniköissäkin (Muhos, Oisava).

d. Hieskoivu ankaralta kaliumin puutosalueelta. Huomaa lehden kupristuminen ja kiiltävä pinta (Utajärvi, Karjosuo)

oireasteen muutoksia ainakin elokuussa (58).

Ojitetuilla turvemailla eniten käytetty kaliumlannoite on kalisuola (KCl), jossa on kaliumia 40-50 %. Nykyisin sen voi korvata metsän kali-hivenlannoksella (K 30%), joka valmistetaan myös kalisuolasta. Se poistaa puutosoireet jo pieninä annoksina. Myös kaliumsulfaattia (K 40 %) voidaan käyttää. Käytännössä suometsät lannoitetaan useimmiten PK-lannoitteilla, jolloin K-määräksi suosituksissa tulee 40-80 kg/ha. Myös puun tuhka ja hidasliukoinen metsäbiotiitti (0-3-5) poistavat tehokkaasti kaliumpuutoksen.

Kuusi: Myös kuusen spesifisenä K-puutoksen oireena on neulaskloroosi (kuva 6c). Se poikkeaa ulkoasultaan ja esiintymistavaltaan männyn kloroosista. Se on helpoimmin tunnistettavissa elokuussa, jolloin vuoden vanhat neulaset ovat kauttaaltaan kellertäviä - puhtaan keltaisia. Samaan aikaan vanhemmat ja uusimmat neulaset ovat vihreitä tai ainakin selvästi vihreämpiä kuin edellisellä kesänä syntyneet neulaset. Syys-lokakuussa kloroosi ilmestyy myös uusiin neulasiin, mutta samalla koko neulasiston värierot tasaantuvat ja puu talvehtii kauttaaltaan lievästi kellertävänä. Tällöin ja vielä seuraavan kasvukauden alussa-kin oireisto muistuttaa typen puutosta.

Kuusen kaliumin puutosoireita on Suomessa tavattu vain turvemailla ja niillä useimmiten taimikoissa ja aliskasvosissa. Todennäköisimpiä esiintymispaikkoja ovat keskiravinteisten nevaisten korprien ja rämeiden (VSK, RhSK, RhSR) ojitusalueet, joiden kasvupaikkatyyppi on Ptkg(II) tai Mtkg(II). Voimakasta kaliumin puutosta on Ruotsissa tavattu myös taimitarhassa kasvavissa kuusen taimissa (6). Alikasvoskuuset

paljastavat kaliumin puutoksen herkemmin kuin saman kasvupaikan mänty tai hieskoivu (61,63). Myös metsitetyillä suopelloilla kuusen kaliumin puutos on tavallinen (23).

Kuusen neulasten kaliumpitoisuus vaihtelee väljemmissä rajoissa kuin männyn ja on keskimäärin paljon korkeampi. Laajassa turvemaiden aineistossa vaihteluväli oli 2,3-12,9 g/kg ja keskiarvo 6,75 g/kg (72). Tässä aineistossa neulasten kaliumpitoisuus selitti ravinteista parhaiten kuusen kasvua. Ankaran kaliumin puutoksen rajaksi esitetään 5,20 g/kg ja lievän 6,20 g/kg. Turvemaan alikasvoskuusissa näkyvän kaliumpuutoksen raja oli 4,0 g/kg (63). Muilta kasvupaikoilta sitä ei tunneta. Kuusen neulasten suhteellisen korkeat kaliumpitoisuudet, sen kasvun kiinteä riippuvuus neulasten kaliumpitoisuuksista, korkealle asettuvat puutosrajat sekä oireiden esiintyminen suokasvupaikoilla viittaavat siihen, että kuusi tarvitsee enemmän kaliumia kuin mänty.

Koivut: Raudus- ja hieskoivun oireet kaliumin puutoksessa ovat samanlaiset kuin lukuisien lehtipuulajien oireet hyvin vaihtelevissa kasvuympäristöissä (4, 47, 60). Koivuihin ilmestyy keskikesällä lehtien reunakloroosi, joka alkaa vanhimmista lehdistä. Sitä edeltää usein lehden reunojen käpertyminen yläpinnan puolelle (kuva 6d). Kloroosi alkaa lievästi kellertävyytenä, joka syvenee 2-3 viikossa puhtaan keltaiseksi. Samalla lehden laidat alkavat kuivua, siis muuttua nekroottisiksi. Raja lehtilavan keltaisen ja vihreän osan välillä on liukuva, ja kloroosi myötäilee pääsuonia korkeintaan loivina lahdekkeina (vrt. magnesiumin puutos). Oireiden helposti tunnistettava vaihe rajoittuu muutamaan keski- ja loppukesän viikkoon, koska nor-

maali syyskellastuminen peittää oireet.

Koivujen kaliumpuutosoireiden esiintyminen rajoittuu meillä turvemaille. Riskialueita ovat samat kasvupaikat kuin männyllä ja kuusella. Rauduskoivun oireet ovat suopohjilla ja suopelloilla selvemmät kuin hieskoivun. Leivonmäen Kivisuon lannoituskoekentällä voitiin todeta, että K-lannoitus paransi selvemmin rauduskoivun kuin hieskoivun taimettumista ja alkukehitystä. Koivulajien välillä ei ollut suurta eroa oireiden esiintymisessä tällä jokseenkin kaliumköyhällä kasvualustalla. Molempien lajien oireet reagoivat lannoitukseen samalla tavalla (57).

Koivun lehtien kaliumpitoisuudet ovat keskimäärin vielä korkeampia kuin kuusella (taulukot 4-6). Erillisistä suppeista turvemaan aineistoista raudukselle saatiin keskiarvoja K 9-10 g/kg ja hieskoivulle K 6-8 g/kg. Samoilla kasvupaikoilla näkyviin oireisiin liittyi selvästi alentunut lehtien kaliumpitoisuus (58).

Kalsium (Ca)

Viljelykasvit sisältävät kalsiumia metallisista kationiravinteista keskimäärin eniten (5-120 g/kg), mutta tavallisimmat metsäpuumme alle 7 g/kg.

Kasvin aineenvaihdunnassa kalsium edistää mm. juurten kasvua, itämistä sekä soluseinien välilevyjen ja solukalvojen muodostumista. Se voi vähentää muiden alkuaineiden myrkyllisyyttä. Kalsiumin puutos estää solujen pituuskasvua ja aiheuttaa mm. kärkisilmujen kuolemista, monilatvaisuutta ja juurten heikkokasvuisuutta. Kuusella esiintyy kasvavan vuosikasvaimen taipumista ja voimakasta neulaskatoa, lehtipuilla nuorten lehtien kuppimaisuutta ja harmahtavan ruskeita täpliä (4). Ylimääräinen kalsium siirtyy nuoremmista kasvinosista

vanhempiin. Havupuissa sitä kertyy kaarnaan.

Kalsiumin lisäys (kalkitus) voi vähentää kasvualustan happamuutta. Muutos vaikuttaa epäsuorasti muiden ravinteiden toimintaan maaperässä ja kasveissa.

Metsiä muodostavat havupuumme ovat erinomaisesti sopeutuneet happamaan maaperään. Siihen liittyvät myös männyn neulasten erityisen matalat kalsiumpitoisuudet (1,2-3,5 g/kg) (taulukot 4-5). Koivun lehtien kalsiumpitoisuus on jo paljon korkeampi (5-12 g/kg).

Kokeissa, joista vanhimmat Suomessa ovat yli 60 vuoden ikäisiä, kalkitus ei ole lisännyt sen paremmin kangasmetsien kuin suometsienkään kasvua. Mitään muutakaan kalsiumin puutokseen tai happamuushaittoihin viittaavaa ei ole havaittu. Hyötyä kalkituksesta on ollut vain, jos kalkki on voitu sekoittaa metsänviljelyn yhteydessä puiden kasvualustaan (27). Turvemaille käytetyissä fosforilannoitteissa ja tuhassa soille on viety suuria kalsiummääriä kalsiumfosfaattina ja kalsiumoksidina. Kun kalkitusta on käytetty PK-lannoituksen lisänä, puuston kasvunlisäys on ollut satunnaista (19). Voimakas kalkitus turvemaille voi aiheuttaa kaliumin ja boorin puutosta sekä kasvuhäiriöitä (53).

Magnesium (Mg)

Monien viljelykasvien ja hedelmäpuiden lehdet sisältävät magnesiumia normaalisti kasvaessaan 3-25 g/kg, mutta metsäpuumme vain 1,0-3,2 g/kg.

Toisin kuin kalsium, magnesium voi siirtyä vanhemmista lehdistä uudempiin. Se esiintyy pääosin Mg²⁺-ionina. Aktiivisen magnesiumin valtaosa on viherhiukkasissa. Siitä noin puolet tarvitaan lehtivihreämolekyylin keskusatomeiksi. Lisäksi magnesium on monipuolinen

entsyymien aktivaattori. Sitä tarvitaan ns. Blackmannin reaktiossa (solunsisäinen CO_2 -sitoutuminen pimeässä) edistämään karotenoidisynteesiä ja solujen turpoamista (Ca/Mg/K-tasapaino). Magnesium on sekä kaliumin että kalsiumin antagonisti. Magnesiumin puutos pysäyttää proteiinisynteesin, jolloin myös lehtien klorofyllipitoisuus alenee. Magnesiumin puutoksen yleinen oire onkin lehtivihreän väheneminen, viherkato eli kloroosi. Magnesiumpuutos voi aiheutua maaperän happamuudesta, poikkeuksellisen runsaasta NH_4 -typen, kaliumin, kalsiumin tai raskasmetallien saannista (41,65).

Mänty: Neulasten magnesiumin puutosoire (kullankeltainen kärkikloroosi) muistuttaa jossain määrin kaliumin puutosoiretta. Magnesiumin puutoksessa neulasen kärkiosa, joskus suuri osa neulasesta on sävyllään kullan-, jopa oranssinkeltainen. Männyllä kloroosi on jokseenkin tasavahva kasvaimen kaikissa neulasissa. Sen raja neulasen vihreään osaan on jyrkkä (kuva 7a). Kloroosi ilmestyy uusiin neulasiin jo keskikesällä ja sen esiintyminen latvuksessa on laikuittaista. Osa oksistosta on vihreätä ja osa kloroottista (kuva 7b). Samannäköistä oireyhtymää, jossa kloroottisen osan korvaa nekroottinen osa, on esitetty myös SO_2 -myrkytysoireena (4).

Kloroosina näkyvä magnesiumin puutos on tavallinen ravinnepuutos Tsekinmaassa ja hyvin tunnettu myös muualla Keski-Euroopassa (22). Suomessa se on ilmeisesti harvinainen ilmiö. Sitä on tosin tavattu paikoitellen karuimpien kantojen (CIT, CT) vanhoista puista, erityisesti paljailta sorapinnoilta, mutta myös vastaavien kasvupaikkojen taimikoista. Havaintoja on myös Harjavallan lähimetsistä, missä sen arvellaan aiheutuneen voimakkaasta raskasmetalli-las-

keumasta. Lisäksi magnesiumin puutoksesta on analyysein varmistettuja havaintoja turkistarhojen lähellä kasvavista taimista ja nuorissa puista (11). Siellä sen arvellaan aiheutuvan ammoniumtypestä kuten voimakkaasti tyypellä lannoitetuissa metsissäkin. Magnesiumin puutoksesta turvemaan männyllä on havainto keskiravinteiselta, ojitetulta suolta voimakkaan typpilannoituksen yhteydessä (kuva 7c).

Suomessa ei ole voitu osoittaa laajalaisesti esiintyvää, männyn kasvua rajoittavaa magnesiumin puutosta. Turkistarhojen lähiympäristössä männyn taimien neulasissa alin magnesiumipitoisuus oli 0,35 g/kg (11). Arvoja Mg 0,6-1,0 g/kg pidetään turvemailla jo arveluttavan alhaisina (taulukko 4). Männyn neulasten magnesiumipitoisuudet ovat meillä varsin korkeita, jos niitä verrataan kirjallisuudessa esitettyihin puutosraja-arvoihin (taulukko 4).

Kuusi: Magnesiumin puutoksen kloroosi muistuttaa kaliumin puutoksen vastaavaa oiretta myös kuusella (kuva 7d). Syyskesällä 1-vuotiaat ja sitä vanhemmat neulaset ovat kloroottiset, mutta keltaisuus rajoittuu neulasen kärkeen ja tyvi on vihreä. Ankarassa puutoksessa neulasten kärkiä kuolee. Tätä nekroosia esiintyy siellä täällä eri ikäisissä neulasissa. Myös kuusen magnesiumin puutosoireet esiintyvät latvuksessa laikuittain.

Kuusen magnesiumin puutosoireet ovat tunnettuja Keski-Euroopassa sekä Skandinavian etelä-osissa. Niillä saattaa olla yhteys suureen typpilaskeumaan. Etelä-Suomessa on toistaiseksi tehty vain muutama havainto magnesiumin puutosta muistuttavista oireista. Tammisaaren havainto (kuva 7d) osoittautui magnesiumin puutokseksi myös neulasanalyyysin perusteella.



a



b



c

Kuva 7 a- f. Magnesiumin ja mangaanin puutosoireet.

a. Männyn voimakas magnesiumin puutos (Mg alle 0,60 g/kg) on helppo tunnistaa jyrkästä värirajasta kullankeltaisen ja tummanvihreän välillä edellisenä kasvukautena syntyneissä neulasissa. Männyllä sitä on tavattu ankarasta typen puutostilanteista (Utajärvi, Rokua).

b. Erittäin harvinainen magnesiumin puutos turvemaan kuusella (Tammissaari)

c. Harvinainen männyn magnesiumin puutos turvemaalla. Koeala on saanut tuhka- ja typpilannoituksen (Kannus, Laiskavesi)

d. Magnesiumin puutos esiintyy laikuittain isojenkin mäntyjen oksistossa (Utajärvi, Rokua).

e. Koivuilla magnesiumin puutos näytetään nekroosiin johtavana reunakloroosina, alla terve vertailuksi (Kannus, turkistarha)

f. Mangaanin puutos männyllä. Vertailuna oireeton latva (Uurainen, Kilpisuo)



d



e



f

Kuusen kasvua rajoittavaa magnesiumin puutosta ei meillä ole todettu, vaikka magnesium on ollut mukana eräissä kangasmaan kokeissa. Kangasmaiden optimiarvoiksi on esitetty neulasten magnesiumpitoisuuksia 0,5-1,0 g/kg (taulukko 4) tai 0,8-1,0 g/kg (22). Nämä raja-arvot eivät perustu Suomessa tehtyyn tutkimukseen. Suometssissä nuorien kuusien neulasten magnesiumpitoisuus on harvoin (5 % tapauksista) alle 0,75 g/kg. Varttuneemmissa puustoissa vastaava arvo on 1,00 g/kg (taulukko 5). Nämä rajat alittavia arvoja voidaan pitää arveluttavan alhaisina (72).

Koivut: Harvalukuiset maastohavainnot koivulajiemme magnesiumin puutoksesta osoittavat, että oireet ovat identtiset kaksisirkkaisten lehtipuiden ja ruohojen vastaavien oireiden kanssa (4). Lehtien kloroosi alkaa lehtilavan reunoilta, kuten kaliumin puutoksessakin, mutta on kirkkaamman keltainen ja etenee syvemmälle suonten väleihin. Suonia myötäilee kuitenkin vihreä vyöhyke. Ankarassa puutostilassa koivulla nekroosi alkaa lehden reunoista (kuva 7e).

Raudus- ja hieskoivun magnesiumin puutoskloroosia on Suomessa tavattu vain turkistarhojen tyyppipäästöjen vaikutuspiirissä ja muutamilla soiden ojitusalueilla. Usein on samoilla paikoilla todettu männyn magnesiumin puutos ja oireita mm. pajulajeissa. Koivun lehtien magnesiumpitoisuus on keskimäärin paljon korkeampi kuin havupuiden. Ojitetun turvemaan (n=50) hieskoivunäytteissä magnesiumpitoisuus vaihteli välillä 2,2-5,9 g/kg ja oli keskimäärin 3,6 g/kg (Reinikainen, julkaisematon aineisto). Kivennäismaan rauduskoivulle saatiin keskiarvo 3,5 g/kg (vrt. taulukko 6). Koivuille ei ole määritetty magnesiumin puutosrajoja.

Oulunsalpietari sisälsi magnesiumia 2-3 %, koska tyypilannoituksen tiedettiin usein indusoivan magnesiumin puutosta. Nykyisessä Suomensalpietarissa magnesiumipitoisuus on 1 %. Suomessa ei ole suositeltu metsien Mg-lannoituksia, mutta monet terveyslannoitteet sisältävät magnesiumia 4-7 %. Tuhkalannoituksessa puusto saa tavallisesti magnesiumia 75-175 kg/ha.

Rikki (S)

Rikkiä on havupuiden neulasissa hiukan vähemmän kuin muita sivuravinteita (0,9-1,1 g/kg), muissa kasveissa ilmeisesti enemmän (55). Maassa rikkiä on sulfaattina suhteellisen paljon. Kasvi käyttää rikin pääasiassa valkuaisaineisiin ja sulfolipidien osana kalvorakenteisiin. Rikkipitoisten aminohappojen on havaittu vaikuttavan kasvin raskasmetallien sietokykyyn. Rikkiä on myös useissa koentsyymeissä ja prosteettisissa ryhmissä. Peltokasveissa puutoksesta seuraa valkuaispitoisuuden aleneminen ja typen puutoksen tapaisia oireita. Rikin puutos ehkäisee rikkipitoisten proteiinien valmistuksen, minkä seurauksena lehtien klorofyllipitoisuus alenee ja muiden proteiinien osuus lisääntyy. Samalla soluihin kasaantuu liukoisia orgaanisia tyyppiyhdisteitä.

Suomen metsämaissa rikin puutosta tuskin esiintyy. Kaliumsulfaattina rikkiä on käytetty suometsien lannoituskokeissa suuria määriä ilman havaittavaa eroa lannoitustulokseen, joka on saatu kaliumkloridilla (50). Neulasanalyyseissa on jäljitetty pikemminkin liian rikin haitallisia tasoja kuin hyvän kasvun takaavaa rikkitasoa. Normaleina voitaneen pitää neulasten rikkipitoisuuksia 0,9-1,2 g/kg. Puutosoireita ei metsistämme tunneta. Toisaalta kokonaisrikin pitoisuus ei vält-

tämättä ole paras mahdollinen rikin puutoksen osoittaja (13). Ulkomaisten kuvausten mukaan puiden lehdet ovat vaaleita, käyristyneitä tai keltaisia. Lehtisuonet voivat olla keltaisempia kuin lehtilapa (4).

Hivenravinteet

Hivenravinteet ovat booria (B) ja klooria (Cl) lukuunottamatta metallikationeja. Hivenravinteet osallistuvat aineenvaihdunnassa pääasiassa kahteen tehtävään: ne toimivat tehomolekyylien (entsyymit, hormonit) aineosina ja entsyymien aktivaattoreina. Niiden puutos ilmenee reaktioiden hidastumisena ja katkoksina, joista seuraa aineenvaihdunnan välituotteiden puutetta tai kasautumista.

Hivenravinteiden saatavuuteen ja käytökelpoisuuteen vaikuttavat maan fysikaaliset ja kemialliset olosuhteet, mm. happamuus ja hapetus-pelkistystilanne sekä usein myös biologiset reaktiot. Niinpä kasvualustan muuttuminen happamaksi voi lisätä lähes kaikkien hivenravinteiden huuhtoutumisriskiä. Siten hapan laskeuma voi ensin parantaa hivenravinteiden saatavuutta, mutta voimakkaan huuhtoutuman vallitessa se voi johtaa myös puutostiloihin. Poikkeuksen muodostaa vain molybdeeni (Mo), jonka liukoisuus vähenee happamuuden lisääntyessä.

Lehtibiomassan kasvaessa varsinkin hivenaineiden pitoisuus siinä alenee, vaikka kasvu voi aluksi jatkua hyvänäkin (ohentumisilmiö). Pääravinteiden puutokset voivat peittää hivenpuutoksen. Toisaalta lannoitus pääravinteilla voi paljastaa hivenravinnepuutoksia, joita ei muuten ehkä koskaan havaittaisi.

Suomessa suometsien hivenravinnepuutoksia etsittiin jo 1950-luvulla, mutta järjestelmällisesti niitä on tutkittu vas-

ta 1970-luvun puolivälistä alkaen oirehavaintojen, neulasanalyysien ja lannoituskokeiden avulla. Tutkimus tiivistyi Metsäntutkimuslaitoksessa erityiseksi kasvuhäiriö-projektiksi, jossa vuosina 1976-88 selvitettiin mm. oireistoja, neulasten kriittisiä raja-arvoja ja puutoksille alttiita kasvupaikkoja sekä torjuntakeinoja (74). Alkususäyksen hanke sai lannoitustutkimusten yhteydessä havaitusta oireyhdistymästä, jota neulasanalyysitulosten, lannoituskokeiden ja oireiden ulkoasun perusteella arveltiin boorin puutokseksi (20, 68). Lähes kaikki seuraavan katsauksen tiedot puiden hivenravinteiden puutoksista ja niiden esiintymistodennäköisyydestä Suomessa perustuvat mainitun kasvuhäiriöprojektin tutkimustuloksiin (20, 21, 30, 53, 54, 62, 66, 69, 70).

Monet puutosoireet ovat yhteisiä usealle hivenravinteelle. Niinpä heikentynyt pituuskasvu ja kloroosi mainitaan lähes kaikkien hivenravinteiden puutostiloissa. Sen vuoksi on usein tarkasteltava oireyhdistymiä, jotta päästään oikeaan diagnoosiin (taulukko 3). Ongelmaksi jää edelleen mm. se, että monet oireista liittyvät vain tiettyyn puutosvaiheeseen. Metsikön kehittyessä oireet voivat hävitä, muuttua tai pahimmassa tapauksessa puut voivat jopa kuolla.

Useimmat seuraavassa esitettävät hivenravinteiden kotimaiset puutosrajat ovat alustavia, koska selviä puutosgradientteja ei ole ollut käytettävissä niitä määritettäessä. Yleensä ne osoittavat vain arvoja, joiden alapuolella olevat pitoisuudet ovat harvinaisia nykytietämyksen mukaan. Siksi raja-arvon alittavia pitoisuuksia nimitetäänkin arveluttavan alhaisiksi, kunnes kasvutunnuksiin, oireisiin ja lannoituskokeisiin perustuvat raja-arvomääritykset on tehty.

Boori (B)

Maataloudessa boori on pitkään tunnettu hivenravinteena, jonka puutos on yleistä ja oireet spesifisiä. Monien viljeltyjen kasvien lehtien booripitoisuus ylittää 40 mg/kg. Tiedetään myös, että puutosalttius vaihtelee kasviryhmittäin. Kaksisirkkaiset ovat herkempiä boorin puutokselle kuin yksisirkkaiset. Puutosriski on suurin orgaanisilla mailla. Boorin puutostilassa ligniinisynteesi ei toimi normaalisti, johtosolukoiden erilaisuus, pölytys ja kasvusolukoiden toiminta häiriintyvät. Niinpä juurien kärjissä pituuskasvu korvautuu paksuuskasvulla. Jo muutaman tunnin puutostilan jälkeen aiheutuu korjautumattomia vaurioita, joihin on havaittu liittyvän aukiin ja fenoleiden kasautumista. Boori osallistuu myös biologisten kalvojen toimintaan ja edistää fosforin ottoa kasvu- alustasta. Puutosoireita ovat verson kasvupistetuhot, neulasten ja juurien onteloituminen ja kehityshäiriöt (74). Kasvupistetuhojen seurauksena syntyy useille puulajeille 'noidanluuta'- ja 'haikaranpesä'-latvuksia (4).

Boori tunnetaan myös hivenravinteena, jolla puutoksen ja myrkytystilan välijoillakin kasveilla on kapea. Jo muutaman kilon liika-annos hehtaarille voi kohottaa pitoisuudet lehdissä haitallisen korkeiksi. Metsäpuilla yliannostusongelmat ovat vähäisiä.

Mänty: Kasvuhäiriötä edeltää usein poikkeavan voimakas kasvu. Neulaset ovat pitkiä ja paksuja, samoin oksat ja latvakasvaimet. Varsinainen häiriö puhkeaa keväällä tai kesällä. Latvakasvaimessa, usein myös ylimmässä oksakiehkurassa kärkikasvupisteitä tai silmuja kuolee tai vaurioituu. Vakavammassa tilanteessa koko edellisen vuoden ylimmät

kasvaimet tai niiden yläosat kuolevat ja varistavat nekroottiset neulasensa. Silmunekroosin alkua näkyy halkaistun kärkisilmun ytimen ruskettumisena jo ennen uusien neulasten kehittymistä. Kasvupisteiden kuolemista seuraa toisinaan lyhytversojen kärkisilmujen puhkeaminen, mikä ei ole normaalia. Latvakatapultauksissa jotkut terveysilmuisista yläoksista muodostavat korvaavia latvakasvaimia (ohituskasvaimia) seuraavalla kasvukaudella. Tästä saa alkunsa monihaaraisen, päältä tasaisen tai pyöristyneen latvuksen kehittyminen (kuva 8a). Latvuksen lopullinen asu riippuu toistuvien latvakatojen kestosta ja lumen mahdollisesti murtamien ohituskasvainten määrästä.

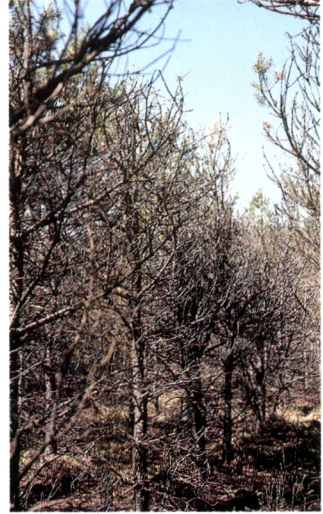
Kasvuhäiriö voi olla krooninen, vuosia tai vuosikymmeniä kestävä (kuva 8b) tai lyhyt ja akuutti, 1-2 vuodessa korjautuva tai puun kuolemiseen johtava (kuva 8c). Kasvuhäiriön edetessä kasvaimissa ja neulasissa voi esiintyä myös muita oireita: runsaskasvuille esivaiheille ovat ominaisia kurkkumaisesti paksuntuneet tai litistyneet (laakautuneet) kasvaimet, nivelvälien lyhentymisen takia syntyvät neulas- ja kasvainsykeröt sekä kasvainten syksyinen myöhäiskasvu. Krooniseen vaiheeseen taas liittyy neulasten epämuodostumia, lyhyitä, litistyneitä ja käyristyneitä neulasia sekä joskus lyhytversojen kärkisilmujen puhkeamista jo kuluvan kasvukauden kasvaimissa. Monet oireista (esim. kuva 8d) liittynevät häiriintyneeseen pääraivintetasapainoon, erityisesti typen runsauteen. Yleensä kasvu ja kokonaisbiomassan tuotos alenevat jyrkästi kasvuhäiriön muuttuessa krooniseksi. Edellä kuvattu oireisto (taulukko 3) on kokonaisuutena (syndroomana) yhdistetty neulasanalyysien ja lannoituskokeiden tulosten perusteella boorin puutokseen.



a



b



c



d



e



f

Kuva 8 a- f. Ravinneperäiset kasvuhäiriöt ja usean ravinteen puutokset.

a. Boorin puutostila on useissa tapauksissa kasvuhäiriöiden syynä. Lopulta sienitaudit voivat tappaa kasvuhäiriöpuuston lähes kokonaan (Muhos, Tahvola)

b. Aina kasvuhäiriöpuussa ei näy kuolleita oksia (Muhos, Hanhisuo)

c. Kuolleisuus kasvuhäiriöalueella voi olla yli 99 % (Leivonmäki, Kivisuo)

d. Pahimmissa tapauksissa oireet ovat hälyttävän voimakkaita (Muhos Tahvola)

e. Niukkaravinteisen suon heikkokasvuinen mänty kärsii kaikkien pääravinteiden puutoksista sekä happamasta kasvupaikasta. Oksat ovat ohuita, neulaset pieniä, usein kellahtavan ruskeita. Niiden pääravinnepitoisuudet ovat hyvin alhaisia (ainakin N ja P), mutta B-pitoisuus voi olla korkea (Muhos, Jylkynrimpi)

f. Hieskoivua saattaa esiintyä heikkokasvuisten mäntyjen joukossa. Huomaa pyöreä latvus, joka aiheutuu lähinnä heikentyneestä pituuskasvusta. Jos esiintyy latvakatoja, on syytä epäillä kasvuhäiriötä (Muhos, Jylkynrimpi).

Lisäksi tunnetaan joukko mikroskooppisia oireita (30, 53), joista mainittakoon hypertrifiset solut ja ontelot silmuissa, neulasissa ja juurissa sekä epänormaalin ohutseinäiset sklerenkyymisolut neulasissa. Usein johtojänteen solut eivät näytä olevan ollenkaan yhteydessä yhteyttävään solukkoon. Johtojänteiden määrä voi olla myös normaalia suurempi.

Männyn neulasten booripitoisuudet vaihtelevat erittäin väljästi (1-30 mg/kg). Booripitoisuuksissa alle 5 mg/kg esiintyy yleensä kasvuhäiriöoireita. Pitoisuudet 5-10 mg/kg on todettu korkean häiriöriskin indikaattoriksi (62,74). Ankan puutoksen rajaksi on esitetty 7 mg/kg. Oireisiin ja häiriöriskiin liittyvät tyypillisesti myös ohituskasvaimien neulasten kohonneet pääravinnepitoisuudet ($N > 1.7\%$, $P > 1,8$ g/kg, $K > 5,0$ g/kg), jotka myös selittävät häiriötä edeltävää korkeata biomassan tuotosta.

Boorin puutokseen liittyvää männyn kasvuhäiriötä esiintyy monenlaisilla kasvupaikoilla. Yhteistä niille on kasvualustan suhteellisen korkea ravinteisuus ja/tai kasvua lisäävät metsäparannustoimenpiteet. Korkein riski boorin puutokseen näyttää olevan saraisten ja ruohoisten suotyyppien (VSR, VSN, RhSR, RhSN) PK- tai NPK-lannoitetuilla ojitusaluilla (37). Metsitetyillä suopelloilla boorin puutoksesta aiheutuvat kasvuhäiriöt ovat yleisiä (23). Niitä esiintyy myös usean typpilannoituskerran jälkeen erityisesti kangasmaiden varttuneissa puustoissa Suomen ja Ruotsin pohjoisosissa. Niiden yhteydessä esiintyy myös paleltumisvaurioita (45, 46).

Männyn boorin puutos voidaan torjua ja kasvuhäiriö ainakin alkuvaiheissa korjata booripitoisilla lannoitteilla (12, 69, 70, 74). Boorin lähteenä voidaan käyttää lannoiteboraattia, kolemaniittia, uleksiittia, solubooria, booraksia tai puun tuh-

kaa annoksina, joissa on booria noin 1 kg/ha. Suometsien PK-lannoitteet ovat vuodesta 1976 lähtien sisältäneet booria 0,15-0,20 %. Puun tuhkan ja monihivenlannoitteiden hyvä teho kasvuhäiriön torjunnassa (70,74) antaa aiheen epäillä, että yleisnimellä kasvuhäiriö kuvattuun oireyhtymään liittyy myös muiden hivenravinteiden puutosta.

Kuusi: Boorin puutoksen aiheuttama kasvuhäiriö kuusella koostuu samoista oireista kuin männyllä. Latvakasvaimen ja yläoksienn kärkekasvainten kuoleminen joko silmuasteella tai kesken kasvun synnyttää tasalatvaisen, kulmikkaan latvuksen, joka eroaa hallan vaurioittamien kuusten pyöristyneestä ulkonäöstä. Hallanarkuus on toisaalta tavallista kasvupaikoilla, joilla on myös kasvuhäiriöriski.

Kuusen kasvuhäiriötä esiintyy usein samoilla suokasvupaikoilla kuin männyllä (66). Se on männyn häiriötä harvinaisempi. Kivennäismailla kalkitus yhdistettynä NP-lannoitukseen on aiheuttanut boorin puutosta ja kasvuhäiriötä (38). Myös joitakin luontaisia kuusen boorinpuutosalueita tunnetaan. Niitä esiintyy laidunmailla, rantaniityillä ja muuallakin, missä boorin huuhtoutumisriskiä voi arvella suureksi. Kuusen ankan boorin puutoksen rajaksi on määritetty 6-8 mg/kg (66).

Koivut: Koivulajien, kuten myös muiden lehtipuiden, boorin puutokseen liittyvän kasvuhäiriön oireisto on peruspiirteiltään samanlainen kuin havupuiden (74). Lähtökohtana on kärkikasvupisteiden tuhoutuminen, josta seuraa toistuva ohituskasvainten muodostuminen ja tasalatvaisuus tai latvuksen luutamaisuus. Turvemaan hieskoivulla tällainen oireisto on verraten tavallinen männyn boorinpuutosalueilla. Rauduskoivu ei näillä ojitusaluilla yleensä kasva, mutta rauduksen viljelyalueilla, etenkin peltohei-

toilla, boorin puutosta voi esiintyä (23). Hieskoivun lehtien B-pitoisuuden on todettu kasvuhäiriöpuissa olevan koko kasvukauden ajan alle 10 mg/kg, elokuun alussa jopa alle 3 mg/kg (10).

Rauta (Fe) ja mangaani (Mn)

Rauta ja mangaani ovat hivenravinteita, joita happamat maaperämme sisältävät suhteellisen paljon. Metsäpuumme saavat niitä runsaasti sekä kangas- että turvemailla. Lämpimämmän ilmaston alueilla näiden ravinteiden puutostiloja on tavattu kalkkiperäisillä maannoksilla. Lisäksi tunnetaan ns. fysiologinen puutos, mikä tarkoittaa häiriötä Fe- ja Mn-aineenvaihdunnassa. Nämä hivenravinteet osallistuvat solujen hapetus-pelkistystapahtumien moniin entsyymaattisiin reaktioihin. Suuri osa (80 %) vihreiden lehtien raudasta on viherhiukkasissa. Mangaani toimii pääasiallisesti metalloproteiineissa, joita on kaikissa solukoissa. Monien viljelykasvien rautapitoisuus on korkeampi, mutta mangaanipitoisuus sama tai alempi kuin havupuilla.

Raudan ja mangaanin puutos ilmenee yleensä neulasten ja lehtien viherkatona puun viimeksi syntyneissä osissa (taulukko 3). Suomesta on havainto erään ojitetun turvemaan lannoitetun männyn taimikon oireista (Reinikainen, julkaisematon), jotka vastaavat keskieurooppalaisia kuvauksia Fe- ja Mn-kloroosista (esim.15). Männyllä nuorimmat kasvaimet olivat kauttaaltaan vaalean vihreät - kellanvalkeat ja saman kasvupaikan (ITR-muuttuma, NPK-lannoitettu) hieskoivuissa havaittiin koko latvuksessa nuorten lehtien kellanvalkea suonten välien kloroosi. Männyn neulanalyysi osoitti, että kaikissa oireasteissa (normaali lievä tai

ankara kloroosi) pääraavinne- ja booritalanne oli kunnossa. Rautapitoisuudet olivat merkittävästi alemmat kuin laajassa turvemaiden vertailuaineistossa (Fe 64 mg/kg), mutta paljon keskieurooppalaisten esittämän korkeimman puutosrajan (Fe 10 mg/kg) yläpuolella. Myös mangaanipitoisuudet alenivat merkittävästi oireastetta myöten (Mn 340-503 mg/kg), mutta olivat silti turvemaiden keskimääräisten arvojen (Mn 330-380 mg/kg) yläpuolella. Taimien pituuskasvu oli myös merkittävästi vähentynyt (kuva 7 f). Tällainen oireisto on silmällä pitämisen arvoinen mm. peltojen metsitysalan kasvussa.

Metsäojitetuilla turvemailla mangaanipitoisuuden vaihtelu männyn ja kuusen neulasissa on laajempaa kuin millään muulla ravinteella ehkä booria lukuunottamatta (taulukko 5). Vaihtelun on todettu liittyvän pohjaveden korkeuteen ja pintaturpeen happitilanteeseen. Ojastojen kunnan heiketessä mangaanipitoisuudet yleensä kohoavat (69). Kesätulvan jälkeen koivun lehdissä on todettu jopa mangaanimyrkytystä osoittavia arvoja (54).

Kupari (Cu) ja sinkki (Zn)

Yleensä viljelykasvien lehtien kuparipitoisuus (8-65 mg/kg) on paljon korkeampi, mutta sinkkipitoisuus (10-80 mg/kg) sama tai jopa alempi kuin metsäpuilla. Kupari vastaa elävien solujen sisällä tapahtuvasta hapetuksesta monien eri entsyymien välityksellä. Se vaikuttaa myös hiilihydraattien ja typen aineenvaihduntaan, ligniinisynteesiin sekä erityisesti pölytyksen onnistumiseen. Sinkki on myös välttämätön monien entsyymien

Taulukko 3. Hivenravinteiden tavallisimmat puutosoireet havupuiden kasvaimissa, neulasissa ja silmuissa

OIRE	B	Cu	Zn	Mn	Fe	Mo
Kasvaimet						
-heikentynyt pituuskasvu	+	+	+	+	+	
-latvakato	+		+		+	
-latvan kärkikato	+	+	+			
-oksien kärkikato	+			+		
-ohituskasvaimet	+	+	+			
-pensastuminen	+	+	+			
-latvakasvaimen mutkaisuus	+	+				
-ytimen nekroosi	+					
-kuoren halkeilu,korkkiutuminen/runko	+					
-pystyt ,ohuet oksa			+			
Neulaset						
-lyhyitä kasvainten kärkiosassa	+		+			
-lyhyitä		+		+	+	
-pitkiä						+
-eripituisia	+					
-paksuja ja taipuneita	+					
-nekroosia	+	+	+			
-kärkinekroosia	+	+	+			
-vanhat nekroottisia				+		
-kloroosia	+	+	+			+
-kärkikloroosia		+	+			
-nuoret kloroottisia				+	+	
-nekroosi-ja kloroosivöitä	+					
-varisevat runsaasti		+	+	+		
-varisevat kasvaimen kärjestä	+					
-nuoret kiertyneitä,lyhyitä,nekroottisia					+	
-yhteenkasvaneita	+	+	+			
-neulasruusukkeita	+		+	+		
-ainoat neulaset ruusukkeessa			+			
-pihkavuotoa	+			+		
-alastaipuneita kasvainten kärjessä		+				
-kiertyneitä kasvainten kärjessä		+				
-sinipunaisia tai punaruskeita, sinertäviä		+				
-vanhat harmaanvihreitä					+	
-sinivihreitä	+					+
-kuolleet punaruskeita			+			
Silmut						
-silmukato tai-häiriö	+				+	
-leposilmujen puhkeaminen	+				+	

Suopeltojen viljavuusanalyysien perusteella tunnetaan Suomessa kuparin puutoksen riski (34). Sen esiintyminen liittyy vuosittain toistettuihin pääravinnelannoituksiin. Niinpä hienofosfaattiin lisättiin kuparia 1960-luvulla. Suometsissä yleisesti käytetyn P-lannoituksen tiedetään puolestaan heikentävän sinkin saantia. Lisäksi on kertynyt havaintoja suometsien vähäisistä Zn-varoista (29). Kupari ja sinkki on myös neulasanalyttisesti osoitettu alttiiksi ohentumisilmiölle, josta ei niin selvästi kuin boori ja mangaani (69). Mahdollisia kuparin ja sinkin puutoksia on siten osattu tarkkailla ja ottaa huomioon mm. kasvuhäiriötutkimuksissa ja lannoituskokeissa.

Havu- ja lehtipuilta kuparin ja sinkin puutoksen oireita on kuvattu etupäässä Suomen olosuhteista poikkeavilla kasvu- paikoilla. Kuparin puutoksen näkyvimpiä oireita ovat häiriöt verson kasvusuunnan säätelyssä, josta seuraa versoston koukeroisuutta ja riippaoksaisuutta. Myös neulasten ja kasvusolukoiden kärkinekroosia esiintyy (taulukko 3).

Sinkin puutoksessa havupuiden tyypillisin oire on kasvainten nivelväliden lyhentymisestä aiheutuva neulastihentymisen (ruusukkeet ja sykeröt) muodostuminen. Lehtipuilla esiintyy pienilehtisyyttä ja raudan puutosta muistuttavaa kloorosia. Männyn taimikoissa havaitaan silloin tällöin yksittäisiä puita, joissa esiintyy edellä kuvatun kaltaisia poikkeavuuksia. Usein havainnot on tehty kasvuhäiriötaimikoissa tai muuten olosuhteissa, joissa pääravinteiden runsaus tai epätasapaino on todennäköinen (lannoitusalat, pellot). Mitään kemiallisesti varmistettua näyttöä kuparin tai sinkin puutoksen oireista ei ole saatu. Suomessa männyn ja kuusen neulasista analysoidut alimmat kuparipitoisuudet ovat selvästi muualla määritetyn puutosrajan

(2 mg/kg) alapuolella (taulukot 4-5). Kuparilannoituksella on muutamassa turvemaan kokeessa saatu männyn kasvu paranemaan (70). Kuparin mahdollista puutosta ja sen oireita on syytä tarkkailla etenkin metsitettäessä turvemaiden peltoja Keski- ja Pohjois- Pohjanmaalla.

Sinkin puutos on neulasten ravinnepitoisuuksien perusteella arvioituna epätodennäköisempää kuin kuparin puutos. Kangasmaan männylle ja kuuselle muualla määritetyt puutosrajat ovat suuruusluokaltaan 5-20 mg/kg (taulukko 4). Suomalaisissa turvemaiden aineistossa sinkkipitoisuudet ovat yleisimmin olleet männyllä 45-50 mg/kg ja kuusella 23-28 mg/kg (taulukko 5). Hieskoivun lehdisissä on todettu suuri ero kivennäismaan (Zn 133 mg/kg) ja turvemaan (Zn 58 mg/kg) välillä (taulukko 6).

Kloori (Cl)

Kloori on luonnossa yleinen alkuaine, jota maaperä, kasvit ja usein myös sadevesi sisältävät liukoisena Cl⁻-ionina. Kasvit tarvitsevat klooria osmoosin ja sähköisten varausten säätelyyn. Fotosynteesissä Cl⁻-ioni on välttämätön irrotettaessa happea vedestä. Yleensä kasvien Cl⁻-pitoisuus on 2-20 g/kg, vaikka normaaliin kasvuun päästään pienemmillä pitoisuuksilla (55). Puutosoireena tunnetaan lehden reunojen lakastuminen erityisesti korkeissa lämpötiloissa ja voimakkaassa valaistuksessa. Juurien pituuskasvu estyy, mutta samalla syntyy runsaasti lyhyitä sivujuuria (41). On epätodennäköistä, että suhteellisen mereisessä ilmastossamme metsäpuilla ilmeneisi kloorin puutosta. Puutosoireita ei ole puulajeillamme kuvattu, joten käytettävissä ei ole puutosraja-arvojaakaan.

Molybdeeni (Mo)

Kasvien typpiaineenvaihduntaan (nitrogenaasi- ja nitraattireduktaasientsyymit) vaikuttava Mo-puutos on varsin epätodennäköinen puulajeillamme, jotka käyttävät tehokkaasti ammoniumtyyppiä. Harvat havupuilta ulkomailla kuvatut puutosoireet muistuttavat typen puutosta. Neulasten suuri pituus erottaa sen muiden hivenravinteiden puutoksista (taulukko 3). Vähäisessä kotimaisessa neulasanalyysiaineistossa männyllä todetut Mo-pitoisuudet (1-2 mg/kg) ovat varsin korkeita verrattuina monien vaatelioiden viljelykasvien Mo-pitoisuuksiin. Raja-arvomäärityksiä metsäpuilla ei ole tehty.

Samanaikaiset puutosoireet

On suhteellisen yleistä, että samalla kasvupaikalla esiintyy samanaikaisesti useiden ravinteiden puutostiloja. Puus- to on näissä tapauksissa kitukasvuista, ja ravinnepuutosoireet näkyvät epäselvinä tai voivat jäädä kokonaan huomaamatta.

Turvemailla tavataan yleisenä männyn ja kuusen NPK-puutosta (kuva 8d), joka lienee tavallisin karujen soiden ravinnepuutos heti ojituksen jälkeen. Jokaisen suometsän omistajan tulisi tuntea tämä oireyhdistelmä. NPK-puutostapauksissa fosforin puutos on melkein aina voimakkaampi kuin kaliumin puutos. Ainakin Etelä-Suomessa typen puutos näyttää väistyvän, jos ojustot vain pidetään kunnossa riittävän pitkiä aikoja. On todennäköistä, että karujen kasvupaikkojen hieskoivut kärsivät myös monista päällekkäisistä ravinnepuutoksista (kuva 8e)

Etelä- Suomen karuimmilla nevoilla ja rämeillä kuten monilla kangasmailla voidaan puhua NP-puutoksesta (26, 50). Turvemailla tärkeämpi minimitekijä on aina fosfori, kun se kangasmailla ja soistuvilla kankailla on typpi. Myös karujen kasvupaikkojen, esim. rämeiden kuusissa tavataan NP-puutosyhdistelmää (72).

Runsastyyppisillä, usein saraturpeisilla soilla esiintyy erittäin yleisesti männyn ja kuusen PK-puutosta (kuva 5c). Tällaisilla soilla kaliumin puutos on usein voimakkaampaa kuin fosforin puutos.

On tavallista, että yksipuolisen pääravinnelannoituksen seurauksena paljastuu muiden ravinteiden indusoituja puutosoireita. Niinpä NP- tai P-lannoituksen seurauksena syntyy puustoa pahoin vaurioittava kaliumin puutos, jota esiintyy erityisesti tehokkaasti ojitetuilla kalvakkanevoilla. Paljon laaja-alaisempi ravinneperäinen kasvuhäiriö oli usein seurausta pääravinteilla suoritetuista lannoituksista.

Teoriassa ratkaisu päällekkäisiin ravinnepuutoksiin on seoslannoitteiden käyttö, joka ei kuitenkaan ole osoittautunut taloudellisesti järkeväksi yleisratkaisuksi metsätaloudessa.

MYRKYTYSTILAT

Ravinteet

Ravinteiden yliannostuksen ja aineenvaihdunnalle vieraiden aineiden aiheuttamat myrkytystilat ovat mahdollisia erilaisten päästölähteiden lähimetsiköissä, joskus myös taimitarhoilla ja lannoitetuissa metsissä. Ravinteiden yliannostus voi aiheuttaa myrkytystiloja (Cu, B), talveentumisongelmia (N), indusoituja ravinnepuutoksia (N, P, K) ja lisätä sieni- ja hyönteistuhoriskejä.

Seuraavat myrkytysoireiden kuvaukset perustuvat osin ulkomailla viljelykasveilla tehtyihin havaintoihin (4):

Typpi: Tavallisia ovat tumman vihreät lehdet, joissa esiintyy reuna- ja kärkikloroosia ja -nekroosia. Nekroosi voi levitä pahassa yliannostustilanteessa yli koko lehden. Hyönteis-, sieni- ja bakteerituhot voivat yleistyä.

Fosfori: Yliannostustilanteessa ilmaantuu muita ravinnepuutoksia. Usein esiintyy myös hivenravinnepuutoksia (Zn, B, Cu, Mn) sekä kalsiumin puutosta. Monilla kasveilla esiintyy harmaata tai valkoista kärki- ja reunanekroosia. Lehdissä voi näkyä myös nekroottisia pisteitä tai laikkuja.

Kalium: Äärimmäisen voimakas K-lannoitus voi aiheuttaa Mg- ja Ca-puutosta ja lehtien ennen aikaista varisemista. Suometsissä se saattaa kärjistää fosforin puutosta.

Kalsium: Ylikalkituksen oireena tunnetaan kloroosi. Usein ilmaantuu B-, Fe-, Mn- Zn- ja Cu-puutoksia. Magnesiumköyhällä mailla voi Ca-ylimäärä indusoida myös Mg- puutosta.

Magnesium: Esim. serpentiinikivilajien alueilla maaperä voi sisältää haitallisen korkeita Mg-pitoisuuksia. Seurauksena on kasvun taantuminen Ca/Mg-epätasapainon vuoksi, Mn-puutos ja juuristovauriot.

Rikki: Rikkivetyä (H_2S) saattaa muodostua hapettomissa olosuhteissa, esimerkiksi kesätulvan aikana. Sen seurauksena voi syntyä Fe-puutos. Suora SO_2 -myrkytys näkyy ruskeina tai punertavan ruskeina epäsäännöllisinä laikkuina lehdissä, joiden reunat ovat usein vaaleat. Neulaset ruskettuvat ja kuolevat. Kauempana päästölähteistä hapan sade, joka sisältää mm. rikkidioksidia tai rikkihapoketta, aiheuttaa K- ja Mg-puutosta, mutta toisinaan myös Ca- ja Zn-puutosta. Toisinaan

kaikki neulaset varisevat, ja puut kuolevat suhteellisen laajoillakin alueilla pahimpien päästölähteiden ympäristössä. Usein suuriin rikkipäästöihin liittyy raskasmetalli- ym. päästöjä.

Boori: Myrkytysoireet alkavat vanhojen lehtien reunoista ja kärjistä, jotka muuttuvat nekroottisiksi. Esiintyy kasvupisteiden tuhoutumista. Joskus näkyy kapea keltainen juova vihreän ja ruskean lehdenosan välillä. Koivuilla, jotka kasvoivat Inkoon hiilivoimalan lähellä kivihien tuhalla, suurin analysoitu lehtien B-pitoisuus oli 228 mg/kg. Tervalepällä vastaava pitoisuus oli 451 ja männyllä 468 mg/kg. Boorinsietäjillä se voi olla yli 500 mg/kg. Myrkytysoireet Inkoossa olivat selviä.

Kloori: Ylimääräinen kloori aiheuttaa havupuilla neulasten muuttumisen ruskeiksi- punaruskeiksi ennen varisemista. Lehtipuilla suolahappomyrkytys aiheuttaa lehtien reunojen nekroosin; ne voivat olla osin käpristyneitä. Suolahappolaskeuma (HCl) aiheuttaa ruskehtavaa nekroosia lehtien kärjissä ja reunoissa. Kloorikaasu aiheuttaa lehtien ja neulasten haalistumisen. Havupuut tiedetään herkiksi kloorin ylimäärille, mutta ainakin mänty näyttää sietävän erittäin suuria kloridiannoksia maahan annettuna (50). Tienvarsitaimikoiden suolavauriot ovat NaCl-myrkytyksen vaikutuksia.

Molybdeeni: Myrkytystilan oire on keltainen tai oranssinkeltainen kloroosi ruskehtavin tai violetein pilkuin. Se alkaa nuorista lehdistä. Pituuskasvu tyrehtyy. Oireyhtymään liittyy silmujen avautumattomuutta, leposilmujen puhkeamista, paksuoksisaisuutta ja toisinaan vanhojen lehtien reheväkasvuisuutta.

Kupari: Kuparimyrkytys muistuttaa Fe-puutosta. Kloroosi esiintyy usein kuitenkin vain lehden yhdellä pinnalla (kaksisirkkaisella kasveilla), mikä ei ole tyyppillistä Fe-kloroosille. Suuret Cu-annokset voivat johtaa myös Mn-puutukseen. Myrkytystilassa neulasten Cu-pitoisuus suometsissä on yli 10 mg/kg, jos kuparia on joutunut suoraan maahan. Raja-arvo on korkeampi, jos kupari on levinnyt alueelle ilman kautta (73). Metallisulattojen lähimetsissä esiintyy usein monien raskasmetallien aiheuttamia myrkytystiloja.

Rauta: Rautamyrkytyksen oireita ei juuri luonnossa tunneta. Astiakokeissa rautamyrkytys aiheuttaa taimien lakastumisen ja suurilla liika-annoksilla puuntaimien nopean kuoleman. Suuret rautamäärät esim. turpeen tuhkassa voivat indusoida ankaran fosforinpuutoksen suopuustoihin. Ns. rautasoita välteltiin, kun soita ojitettiin maatalouskäyttöön.

Mangaani: Myrkytysoireita esiintyy happamilla kasvupaikoilla. Ne alkavat vanhemmista lehdistä nekroositäplinä tai monisävyisenä kloroosina lehtien kärkiosissa ja lehtien reunoissa. Se muuttuu nekroosiksi, joka leviää koko lehdelle. Oire leviää nopeasti myös nuoriin lehtiin, jos myrkytystila on vakava. Rauduskoivulla on todettu kasvuhäiriötä muistuttava oireisto, johon liittyi lehtien erittäin korkeita (yli 3000 mg/kg) Mn-pitoisuuksia (54).

Sinkki: Myös sinkkimyrkytys on harvinainen luonnossa muualla paitsi Zn-esiintymien, kaivosten ja sinkkiä käsittelevien teollisuuslaitosten lähistöllä sekä alueilla, joilla esiintyy suuria Zn-pitoisen lentotuhkan laskeumia. Zn-myrkytys saattaa aiheutua putkistosta kasteluveteen liuenneesta sinkistä, galvanoiduista kasvihuonerakenteista tai Zn-pitoisesta jäteliitteestä. Oireet muistuttavat

Fe- ja Mn-puutoskloroosia. Loppuvaiheessa esiintyy punaisen ruskeaa täplä-mäistä nekroosia ja lehden reunanekroosia. Jos P/Zn-suhde on alle 50, tavataan myös fosforin puutosta. Suomänniköissä päästölähteen lähistöllä Zn-myrkytys on todennäköinen, jos neulasten Zn > 175 mg/kg. Vastaava neulasanalyytinen myrkyllisyysraja Zn-sulfaatilla lannoitetussa suometsässä oli 100 mg/kg (73).

Muut alkuaineet

Alumiini (Al). Runsas vapaan alumiinin (Al^{3+}) määrä on haitallista happamilla mineraalimailla, mutta ei happamilla turvemaileda. Se vahingoittaa erityisesti puuden juuria ja heikentää kalsiumin, magnesiumin, fosforin ja joskus myös kaliumin ottoa. Myös Fe-puutoskloroosia saattaa esiintyä. Yleisesti kasvit ovat hidaskasvuisia, ja tummanvihreissä lehdisissä voi esiintyä reuna- ja kärkinekroosia. Versot voivat olla punertavia.

Arseeni (As). Vanhoissa lehdissä näkyy punaruskeita täpliä.

Koboltti (Co): Myrkytys on harvinainen. Se muistuttaa Fe-puutekloroosia, ja voi johtaa nekroosin kautta kasvin kuolemiseen.

Nikkeli (Ni): Nikkeli on noin 8 kertaa myrkyllisempi kuin sinkki vastaavissa pitoisuuksissa. Akuutti nikkelimyrkytys aiheuttaa Fe- ja Mn-puutekloroosia muistuttavan tilanteen. Lehdet muuttuvat täysin keltaisiksi tai valkoisiksi. Nekroosi alkaa lehtien reunasta. Voimakas tai pitkävaikutteinen nikkelimyrkytys tappaa kasvin. Neulasten nikkeli-pitoisuus >30 mg/kg osoittaa myrkytystilaa suomänniköissä, jotka saa nikkeliä jatkuvasti ilman kautta. Jos nikkeli on joutunut suoraan maahan, myrkyllisyysraja näyttää olevan rämementyjen neulasissa 5,0 mg/kg (73).

Natrium (Na): Suuret natriumyhdisteiden määrät maassa saattavat aiheuttaa kaliumin, magnesiumin ja fosforin puutosta estämällä niiden saantia. Suuret NaCl- (ruokasuola) määrät aiheuttavat lehtien ja neulasten kärkinekroosin (tavallisesti ilman kloroottista vaihetta) tai veden saannin vaikeutumisesta aiheutuvaa fysiologista kuivumista.

Fluori (F): Eräät F-yhdisteet ovat myrkyllisiä. Yleisimmin niitä joutuu luontoon savukaasujen mukana. Lehtipuilla lehtien reunat käpertyvät lusikkamaisesti ylöspäin, reunoihin syntyy jyrkkäräjäinen nekroosi. Havupuilla terveiden neulasten sekaan ilmestyy kloroosia, kärkinekroosia ja ruskeita neulasia. Nuorimmat osat ovat nekroottisia, punaruskeita. Ne menettävät neulasensa ennen aikaisesti, joten latvuksesta tulee harsu. Puhdas fluori aiheuttaa kloorimyrkytyksen kaltaisia oireita.

Cadmium (Cd), kromi (Cr), elohopea (Hg) ja lyijy (Pb) aiheuttavat Fe-kloroosin tapaisen oireiston. Vakavissa tapauksissa esiintyy reuna- ja suontenvälistä nekroosia, vakavassa Cr-myrkytyksessä lehdet ovat pieniä, punaruskeita, sinipunaisia ja nekroottisia. Suuret Pb-määrät voivat aiheuttaa Ca-puutoksen. Kaikki vakavat raskasmetallimyrkytykset ovat tappavia. Niiden haittavaikutus maaperässä saattaa kestää vuosikymmeniä. Pahimmat ongelmat näyttävät kuitenkin rajoittuvan suhteellisen suppeille alueille päästölähteiden ympäristöön.

NEULAS- JA LEHTIANALYYSI OIREHAVAINTOJEN TUKENA

Neulas- ja lehtianalyysin käyttö on usein ainoa mahdollisuus selvittää puutos- tai myrkytysoireiden aiheuttaja. Myrkytystä epäiltäessä on syytä kerätä osin vahingoittuneita lehtiä tai neulasia. Puutosoireiden aiheuttajaa etsittäessä vastaavat neulaset on syytä poistaa näytteestä. Näytekin on esim. latvakatota-pauksissa hyvä ottaa puutosalueella kasvavista tervelatvaisista puista.

Näytteenotto

Lehtinäytteet kerätään elokuun alkupuoliskolla, neulasnäytteet talvella joulukuun alun ja maaliskuun lopun välisenä aikana, jolloin ravinnepitoisuudet pysyvät metsissämme suhteellisen kauan lähes muuttumattomina. Muina vuoden aikoina muutokset ravinnepitoisuudessa voivat olla nopeita ja sääolosuhteista riippuvia. Havupuiden lepokauden aikana otetun näytteen ja lehtipuiden kasvukauden loppupuoliskolla otetun näytteen katsotaan kuvastavan suhteellisen hyvin edeltäneen kasvukauden aikana tapahtunutta ravinteiden ottoa. Mikäli puu ei ole saanut tarpeeksi jotain ravinnetta, sen pitoisuus lehdissä (joita neulasetkin ovat) jää normaalia alemmaksi. Tämä näyttää pätevän erikoisen hyvin, kun kyseessä ovat pääravinteet. Metsikkökuvioilta valitaan 5-10 vallitsevan (tai tutkittavan) latvuserroksen puuta, joista otetaan 1-2 ylimmän oksakiehkuran etelänpuoleista oksaa (suositus turvemaan puustoille). Kangasmaiden metsiköistä otetaan viimeisen neulasvuosikerran neulasia parista oksasta latvuksen ylimmästä kolman-

Taulukko 4. Neulanalyysin tulkinnessa tarvittavia arvoja, kangasmaan metsät (talvinäyte latvuksen yläkolmanneksesta)

Ravinne	Ankara puutos	Sopiva (optimi)	Keskiarvo	Minimi	Maksimi
Mänty					
N %	1,10-1,30	1,50-2,10	1,23	0,74	2,25
P g/kg	0,8-1,2	1,4-1,8	1,46-1,52	0,98	3,00
K g/kg	3,0-4,1	5,0-7,0	4,82-4,87	3,10	8,00
Ca g/kg	1,0-2,1	yli 3,1	1,85-2,28	1,14	4,24
Mg g/kg	0,3-0,7	0,5-1,0	0,99-1,07	0,52	1,48
S g/kg	0,5-0,9	yli 0,9	0,94	0,66	1,42
B mg/kg	alle 4,0	yli 8,0	12,1	3,6	27,6
Cu mg/kg	1,9-3,0	?	2,6 -3,2	0,8	5,9
Zn mg/kg	alle 5,0	?	40-46	25,5	61
Mn mg/kg	alle 7,0	?	409-555	157	767
Fe mg/kg	27-30	?	46,4	24,3	148
Kuusi					
N %	1,0-1,3	1,3-1,5	1,21-1,37	0,62	2,10
P g/kg	0,8-1,4	1,2-1,5	1,57-1,67	1,01	2,32
K g/kg	2,4-6,0	4,5-6,0	5,05-5,81	3,49	8,50
Ca g/kg	1,0-2,0	2,0-3,0	4,46-4,71	1,67	7,38
Mg g/kg	0,3-0,8	0,8-1,0	1,14-1,22	0,71	1,65
S g/kg	0,5-0,9	yli 0,9	0,98	0,75	1,25
B mg/kg	4,0-5,0	8-25	10,9-12,6	3,3	27,7
Cu mg/kg	2,0-3,0	yli 3,0	2,0	1,0	3,5
Zn mg/kg	13-20	yli 25	32,9	16,0	63,7
Mn mg/kg	10-20	80- 500	713	216	1399
Fe mg/kg	alle 17	?	37,0	20,6	107

Lähteet: Brække (1994), Mälkönen (1991), Raitio (1994)

neksesta. Lehtipuista näyte otetaan latvuksen yläosan sisäosista. Näytelehdet irrotetaan oksan keskivaiheilta kuluneen kasvukauden aikana syntyneestä versosta. Viimeksi syntyneet lehdet ja verson vanhimmat lehdet poistetaan näytteestä. Suometsissä vältetään ojanvarsipuita. Sekametsissä näyte otetaan ensin puulajista, jonka ravinneongelmat ensisijaisesti kiinnostavat tai ratkaisevat metsikön taloudellisen tuotoksen. Oksanäyte voidaan ottaa oksasahalla tai leikkurilla, yläoksanäyte myös oksakoukulla tai kaadetuista puista. Mitä ylempää näyte otetaan, sitä paremmin analyysitulokset ennustaa puuston kasvua.

Metsikkökuvion näytepuista kertyvä näyte kerätään paperipussiin. Muovipussissa se saattaa homehtua ja mennä käyt-

tökelvottomaksi. Pussiin merkitään aika, paikka ja näytenumero. Näytteiden otto- paikat merkitään muistiin. Neulasten annetaan kuivua puhtaassa paikassa huoneenlämmössä, kunnes ne on helppo irrottaa rangoista. Lehdet voi riipiä irti rangoista jo maastossa.

Analysointi

Laboratoriosta voidaan pyytää pää- ja sivuravinneanalyysi (N, P, K, Ca, Mg) tai kalliimpi täysanalyysi, jolloin saadaan tulokset lisäksi myös hivenravinteista. Myös rikki-, raskas-metalli yms. analyysejä voi ehdottaa tehtäväksi. Analyysipyyntöön liitetään tarpeelliset tiedot puuston koosta, puulajisuhteista, kunnosta (terve/sairas), tuho-oireista, .

Taulukko 5. Neulasanalyysin tulkinnessa tarvittavia arvoja, suometsät (ylimmästä oksakiehkurasta talvella otettu näyte)

Ravinne	Ankara puutos	Optimi	Keskiarvot	Minimi	Maksimi
Mänty					
N %	alle 1,20	1,30-1,80	1,40-1,44	0,97	2,25
P g/kg	alle 1,30	1,6-2,2	1,35-1,65	0,87	4,05
K g/kg	alle 3,50	4,5-6,5	3,72-4,81	2,15	9,22
Ca g/kg	?	1,8-3,5	1,61-2,44	1,20	3,5
Mg g/kg	alle 0,6	yli 1,0	1,11-1,61	0,35	1,70
S g/kg	?	alle 1,3	0,94-1,09	0,70	1,34
B mg/kg	alle 5,0	10-30	9,6-15,6	0,8	468
Cu mg/kg	alle 2,0*	3-6	3,2-3,6	1,4	7,5
Zn mg/kg	alle 40*	40-200	45,4-48,3	25	120
Mn mg/kg	alle 100*	300- 600	328-381	160	1600
Fe mg/kg	?	?	56-64	30,8	139,8
Kuusi					
N %	alle 1,15	1,25 -1,91	1,28-1,31	0,84	1,98
P g/kg	alle 1,70	2,30-3,5	1,74-2,24	0,85	4,76
K g/kg	alle 5,20	6,20-12,36	5,46-6,74	1,79	12,90
Ca g/kg	?	?	3,80-4,88	1,50	7,70
Mg g/kg	0,75/1,00*	?	1,14-1,19	0,61	2,20
S g/kg	?	0,9-1,2	1,06		
B mg/kg	alle 7,0	10-30	13,4-15,6	0,8	99,5
Cu mg/kg	alle 2,0 *	2-5	2,7-2,8	1,2	32,0
Zn mg/kg	alle 16,0*	16-80	23,2-28,5	5,6*	76,5
Mn mg/kg	alle 200*	200-2000	550-661	92	2223
Fe mg/kg	alle 21,0*	?	36,1	18,0	88,5

Lähteet: Paarlahti ym. (1971), Silfverberg (1980), Veijalainen ym. (1984), Veijalainen (1991,1997)

*= Arveluttavan alhainen (raja-arvon alittavat arvot ovat harvinaisia, varmaa puutosrajaa ei tunneta)

kasvupaikan ravinteisuusluokasta (metsä- tai suotyypin tai 3-4 yleisintä kasvilajia), käsittelyistä (lannoitettu/ lannoittamaton, ojen kunto, sarkaleveys yms.)

Analyysit voi teettää esim. Viljavuuspalvelu Oy:ssä, PL 500, 50101 Mikkeli, puh: 015-320400. Myös Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusasemilta ja keskuslaboratorioista voi tiedustella analyysipalveluja, jotka tieteellisesti mielenkiintoisissa tapauksissa voivat olla edullisia. Pelonmetsitysalueilla ravinneanalyysit ja lannoitus maksetaan valtion varoista. Tarpeellinen neulasanalyysi terveyslannoitus

tuksen yhteydessä korvataan laskun mukaan, jos lannoitus toteutetaan. Tässä mielessä ravinnepuutosoireiden havainnoinnista voi koitua myös taloudellista hyötyä. Asia kannattaa tarkistaa oman alueen metsäkeskuksesta.

Analyysien tulkinta

Näyteoksen valinta ratkaisee, mitä neulasanalyysin tulkintaohjetta käytetään. Jos neulasnäyte on ylimmästä oksakiehkurasta, on parasta käyttää suo- puustoille tarkoitettuja raja-arvoja (taulukko 5). Jos neulasnäyte on otettu alem

paa, mutta kuitenkin latvuksen ylimmästä kolmanneksestä tulkinta voidaan tehdä taulukon 4 raja-arvoja käyttäen. Alaosista otettuja näytteitä ei ole syytä tulkita ollenkaan tässä annettujen raja-arvojen perusteella, ei myöskään kasvukauden aikaisten neulasnäytteiden analyysituloksia. Jonkinlaiseen tulkintaan päästään kasvukaudellakin, jos kerätään samanaikaisia vertailunäytteitä terveistä, hyväkasvuisista puustoista tutkittavien metsikkökuvioiden läheisyydestä. Koivun lehtianalyysin karkeaa tulkintaa voi tehdä oheisten keskiarvojen perusteella (taulukko 6). Keski-Euroopassa käytetyt kangasmaan metsiin tarkoitetut raja-arvot (22) poikkeavat jossain määrin tässä esitetyistä. Se saattaa aiheutua erilaisesta ottoaikasuosituksesta, mutta myös ilmaston ja kasvupaikkojen eroista jne.

Kangasmaiden metsiin Suomessa annetaan raja-arvoja pääravinteiden pitoisuuksille (alhainen, välttävä, sopiva), jotka perustuvat erittäin laajaan aineistoon (44,56). Keski-Euroopassa ja muissa pohjoismaissa esitetään useimmille ravinteille optimiarvojen lisäksi myös ankaran puutoksen esiintymisrajoja (8), sekä ns. kriittisiä arvoja, jotka voivat perustua hyvinkin erilaisiin aineistoihin. Näin voi syntyä ristiriitaiselta näyttäviä tilanteita, joissa ankaraa puutosta ja optimitalannetta voi kuvata sama arvo (taulukko 4). Ongelmasta selviää, kun etsii käsiinsä parhaiten omaan ongelmakohteeseen soveltuvat raja-arvot. Ensisijalla ovat suomalaisilta kasvupaikoilta kerätyt arvot. Niidenkin keskiarvot voivat poiketa suuresti toisistaan (taulukko 4).

Suometsiin neulasanalyysin tulkintaa varten annetaan yleensä kaksi raja-arvoa, jos raja-arvomääritys on voitu tehdä suhteellisen laajassa ja monipuolisessa aineistossa. Yleensä lievän tai piilevän

puutosrajan kohdalla ei ole vielä nähtävissä tunnistettavia puutosoireita, joita kuitenkin yleensä alkaa esiintyä, ennenkuin saavutetaan ankaran puutoksen raja-arvo. Lievän puutoksen vallitessa neulasanalyysi usein ennakoii tulevaa puutostilaa. Lannoitus ei ole välttämätön eikä kiireellinen. Ankaran puutoksen vallitessa puuston kasvu on voimakkaasti taantunut, ja lannoitus on välttämätön, mikäli halutaan palauttaa puuston kasvu tasolle, joka muiden kasvutekijöiden puolesta on mahdollinen. Mikäli raja-arvomääritys on epävarmalla pohjalla, käytetään termejä arveluttavan alhainen tai arveluttavan korkea pitoisuus. Myös suometsistä kerättyjen aineistojen keskiarvoissa esiintyy suurta vaihtelua, koska niitä on kerätty eri aikoina erilaisista perusjoukoista.

Analyysin tulkinna voi tehdä itse. Apua voi tarvittaessa pyytää Metsäntutkimuslaitoksen tuhopalvelusta: PL. 18, 01301 Vantaa, puh: 09-857 051.

Taulukko 6. Hieskoivun lehtien keskimääräisiä ravinnepitoisuuksia

Ravinne	Kangasmaa	Turvemaa
N g/kg	22,4	27,0
P g/kg	2,67	1,99
K g/kg	9,61	8,78
Ca g/kg	6,61	6,43
Mg g/kg	2,39	3,24
B mg/kg	24	20
Cu mg/kg	9	9
Zn mg/kg	133	175
Mn mg/kg	1567	979
Fe mg/kg	98	58

Lähde: Ferm ja Markkola (1985)

Kirjallisuus

- Aamlid, D., Solheim, H. & Venn, K. 1991. Skogsskader. Veiledning i overvåkning av skogsskader. Norsk institut for skogforskning, Ås. 53 s.
- Aarnio, J., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Veijalainen, H. 1997. Suometsien lannoitus. Teoksessa: Mielikäinen, K. & Riikilä, M.(toim.) Kannattava puuntuotanto, s. 116-126. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.
- Aro, L., Kaunisto, S. & Saarinen, M. 1997. Suopohjien metsitys. Hankeraportti 1986-95. Summary: Afforestation of peat cutaway areas. Project report in 1986-1995. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 634: 51 s.
- Bergmann, W. (toim.) 1992. Nutritional Disorders of Plants. Gustav Fischer Verlag, Jena-Stuttgart-New York. 386 p.
- Binns, W., Mayhead, G. & Mackenzie, J. 1980. Nutrient deficiencies of conifers in British forests. An illustrated guide.- Leaflet No. 76. Forestry Commission, London. 23 p.
- Björkman, E. 1953. Om granens "gulspets-sjuka". Summary: The "Yellow Tip Disease" of Spruce (*Picea abies* Karst.). Plants in Forest Nurseries.-Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift 3: 211-229.
- Bowen, H. 1979. Environmental Chemistry of the Elements. Academic Press. New York. 333 p.
- Brække, F. 1994. Diagnostiske grenseverdier for nærings-elementer i gran- og furunåler. Aktuelt fra skogforsk 15/94. 11 s.
- Bukovak, M. & Wittwer, S. 1957. Absorption and mobility of foliar applied nutrients.- Plant Physiol. 32: 428-435.
- Ferm, A. & Markkola, A. 1985. Hieskoivun lehtien, oksien ja silmujen ravinnepitoisuuksien kasvukautinen vaihtelu. Abstract: Nutritional variation of leaves, twigs and buds in *Betula pubescens* stands during the growing season. Folia Forestalia 613, 28 p.
- Ferm, A., Hytönen, J., Kolari, K. & Veijalainen, H. 1988. Metsäpuiden kasvuhäiriöt turkistarhojen läheisyydessä. Sammandrag: Tillväxtstörningar i närheten av pålsfarmer. Summary: Growth disturbances of forest trees close to fur farms. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 320. 77 p.
- Ferm, A., Hokkanen, T., Moilanen, M. & Isakainen, J. 1991. Pellolle viljellyn männyn ravinneongelmien torjuminen tuhkal-la.-Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 391: 71-79.
- Freney, J., Spencer, K. & Jones, M. 1978. The diagnosis of sulphur deficiency in wheat.-Aust. J. Agric. Res. 29: 727-738.
- Hanisch, B., Kilz, E. & Helm, C. 1991. Monitoring of forest damages: Spruce and Pine. Bromley, Kent. 334 p.
- Hartmann, G., Nienhaus, F. & Butin, H. 1989. Skador och sjukdomar på träd. En diagnosbok. Georg Appl, Wemding, BRD. 256 s.
- Hill, J. 1980. The remobilization of nutrients from leaves.-J. Plant. Nutr. 2: 407-444.
- Hocking, P. 1980. The composition of phloem exudate and xylem sap from tree tobacco (*Nicotiana glauca* Goh). Ann. Bot. (London, N.S.) 45: 633-643.
- Huikari, O. 1952. Suotyypin määrittäminen metsätaloudellista käyttöarvoa silmäläpitäen. Summary: On the determination of mire types, especially considering their drainage value for agriculture and forestry.-Silva Fennica 75. 22 s.
- Huikari, O. 1961. Koetuloksia metsäojitetujen soiden ravinnetalouden keinollisesta parantamisesta.-Metsätaloudellinen Aikakauslehti 5 (1961): 212-216.
- Huikari, O. 1974. Hivenravinteet ja puiden kasvu.-Metsä ja Puu 11: 28-29.
- Huikari, O. 1977. Micro-nutrient deficiencies cause growth disturbances in trees. -Silva Fennica 11(3): 251-255.
- Hüttel, R. 1986. Forest Fertilization: Results from Germany, France and the Nordic Countries.-The Fertilizer Society Proceedings 250:1-40.

- Hytönen, J. & Ekola, E. 1993. Maan ja puuston ravinnetila Keski-Pohjanmaan metsitetyillä pelloilla.-*Folia Forestalia* 822. 32 s.
- Hämäläinen, J. & Laakkonen, O. 1983. Turvemaan varttuneiden männiköiden lannoituksen edullisuus. Summary: Profitability of fertilization in mature Scots pine stands on peatland.-*Folia Forestalia* 570, 32 s.
- Hämäläinen, J., Paavilainen, E., Salminen, O. & Heinonen, R. 1985. Tuloksia ojitettujen korpikuusikoiden lannoituksesta. Summary: The growth response to and profitability of fertilization in drained spruce swamp stands.-*Folia Forestalia* 623. 26 s.
- Kaunisto, S. 1972. Lannoituksen vaikutus istutuksen onnistumiseen ja luonnon-taimien määrään rahkanevalla. Summary: Effect of fertilization on succesful planting and number of naturally born seedlings on a fuscum bog at Kivisuo experimental field.-*Folia Forestalia* 139. 11 s.
- Kaunisto, S. 1982. Development of pine plantations on drained bogs as affected by some peat properties, fertilization, soil preparation and liming.-*Commun. Inst. For. Fenn.* 109. 56 p.
- Kaunisto, S. 1987. Lannoituksen ja muokkauksen vaikutus männyn ja rauduskoivun istutustaimien kasvuun suonpohjilla. Summary: Effect of fertilization and soil preparation on the development of Scots pine and silver birch plantations on peat cutover areas.-*Folia Forestalia* 681. 23 p.
- Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Seloste: Turpeen ravinnevarat vanhoilla ojitusalueilla ja puuston kasvu.-*Commun. Inst. For. Fenn.* 145. 39 p.
- Kolari, K. K. 1979. Hivenravinteiden puute metsäpuilla ja männyn kasvuhäiriöilmiö Suomessa. Kirjallisuuskatsaus. Abstract: Micro-nutrient deficiency in forest trees and dieback of Scots pine in Finland. A review.-*Folia Forestalia* 389. 37 s.
- Koskela, V. 1970. Havaintoja. kuusen, männyn, rauduskoivun ja siperialaisen lehtikuusen halla- ja pakkaskuivumisvaurioista Kivisuon metsänlannoituskoekentällä: Summary: On the occurrence of various frost damages on Norway spruce, Scots pine, silver birch and Siberian larch in the forest fertilization experimental area at Kivisuo.-*Folia Forestalia* 78. 25 s.
- Kurkela, T. 1965. Männyn lumikaristetaudin ja lannoituksen suhteesta Kivisuon metsänlannoitusalueella. Summary: On the relationship between the snow blight (*Phacidium infestans* Karst.) and fertilization in Scots pine seedlings.-*Folia Forestalia* 14. 8 s.
- Kurkela, T. & Löytyniemi, K. 1982. Männyn taudit ja tuhoeläimet.-*KOPn taloudellinen katsaus B-painos, N:o 35.* 35 s.
- Kurki, M. 1963. Suoviljelysten hivenravinnetilanteesta viljavuustutkimusten perusteella. Summary: On the trace element nutrient conditions in cultivated peat lands on the strength of productivity investigations.-*Suo* 13 (6): 79-82.
- Laakkonen, O. 1994. Toistuvan lannoituksen kannattavuus Etelä-Suomen vennäismail-la. Summary: Profitability of repeated fertilization on mineral soils in southern Finland.-*Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 498. 112 s.
- Laakkonen, O., Keipi, K. & Lipas, E. 1983. Typpilannoituksen kannattavuus varttuneissa kangasmetsissä. Summary: Profitability of nitrogen fertilization in mature forests on mineral soils.-*Folia Forestalia* 577, 20 s.
- Laine, J. & Puttonen, P. 1983. Occurrence of growth disturbance symptoms on different peatland sites in Finland.-*Commun. Inst. For. Fenn.* 116: 171-177.
- Lipas, E. 1990. Kalkituksen aiheuttama boorinpuute kangasmaan kuusikossa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 352. 22 p.
- Lukkala, O. 1949. Metsänkasvatusta varten ojitettujen soiden hiekoituksesta, kalki-

- tuksesta ja lannoituksesta.-Koetoiminta ja käytäntö 6/1949.
- Lukkala O. 1955. Maanparannusaineet ja väkilannoitteet metsäojituksen tukena II. Summary: Soil improving substances and fertilizers as an aid to forest drainage.-Metsätaloudellinen Aikakauslehti 8: 273-276.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. London etc. 674 p.
- Metsänterveysopas. Metsätuhot ja niiden torjunta. (toim.Jukka,L.) Vaasa Oy.Vaasa 1988. 168 s.
- Miller, H. 1982. Wood energy plantations - Diagnosis of nutrient deficiencies and the prescription of fertilizer applications in biomass production. Int. Energy Agency - Forestry Energy Agreement. Biomass growth and production. Report 3. 20 p.
- Mälkönen, E. 1991. Maa- ja neulasanalyysin käyttökelpoisuus metsänhoitotoimenpiteiden suunnittelussa.-Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja. Joensuun tutkimus- asema. 383: 52-61.
- Möller, G. 1982. Borbristskador efter prepad kvävegödsling på fastmark.-Föreningen skogsträdsförädling och Institutet för skogs förbättring, Årsbok 1982: 47-70.
- Möller, G. 1983. Variation of boron concentration in pine needles from trees growing on mineral soil in Sweden and response to nitrogen fertilization.-Commun. Inst. For. Fenn. 116: 111-115.
- Nährstoffmangel im Wald. Kali und SalzAG. 19 S.
- Paarlahti, K. & Paavilainen, E. 1985. Turve- maiden varttuneiden kuusikoiden ja koivikoiden lannoitus. Ennakkotuloksia. Summary: The fertilization of mature spruce and birch stands on peat soils.Preliminary results.-Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 206: 4-18.
- Paarlahti, K., Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine stands by needle and peat analysis. Seloste: Maa- ja neulasanalyysi turve- maiden ravitsemustilan määrittämisessä.- Commun. Inst. For.Fenn.74 (5): 58 p.
- Paarlahti, K. & Veijalainen, H. 1988. Leivonmäen Kivisuon metsänlannoitus- kokeet.-Metsän-tutkimuslaitoksen tie- donantoja 306. 73 s.
- Paavilainen, E. 1968. Vanhojen räme- mäntyjen kasvun elpyminen lannoituksen vaikutuksesta. Summary: On the response to fertilization of old pine trees growing on pine swamps.-Folia Forestalia 43. 15 s.
- Paavilainen, E. 1979. Metsänlannoitusopas. 122 p. Kirjayhtymä, Helsinki.
- Raitio, H. 1979. Boorin puutteesta aiheutu- va kasvuhäiriö metsitetyllä suopellolla. Oireiden kuvaus ja tulkinta. Abstract: Growth disturbances of Scots pine caus- ed by boron deficiency on an afforested abandoned peatland field.-Folia Foresta- lia 412. 16 s.
- Raitio, H. 1982. Rauduskoivun kasvuhäiriö Torajärven koekentällä. Summary: Growth disturbance of Betula pendula in the Torajärvi experimental field.-Folia Forestalia 536. 15 s.
- Raitio, H. (toim.) 1983. Metsäpuiden fysiolo- giaa I. Ravinnetalouden perusteita. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja n:o 39. 200 s.
- Raitio, H. 1994. Kangasmetsien ravinnetila neulasanalyysin valossa.-Metsäntutki- muslaitoksen tiedonantoja 527: 25-34.
- Reinikainen, A. 1966. Puulajien ja eräiden metsä- ja suokasvien ekologiasta ja eri- tyisesti niiden ravinnepuute- ja tasapai- nottomuusoireista Kivisuon metsänlannoit- tuskokeiden valossa.-Lisensiaatin tutkiel- ma. Helsingin yliopisto, Kasvitieteen lai- tos/ Metsäntutkimuslaitos. 159 s.
- Reinikainen, A. 1967. The appearance of nutrient deficiency in plants growing in the experimental area for forest fertiliza- tion at Kivisuo. Proceedings of the Col- loquium on Forest Fertilization, Jyväskylä/Finland. International Potash Institu- te, Bern, Switzerland, pp. 345-361.
- Reinikainen, A. 1968. Ravinteiden puutos- oireista puulajeilla. Teoksessa: Jamalai- nen, E. A. Kasvien puutostaudit. Kirja- yhtymä, Helsinki. ss. 101-109.

- Reinikainen, A. 1973. Koivulajien ravinnepuuteoireista turvemailla. Metsäntutkimuslaitoksen suontutkimusosaston tiedonantoja 3/ 1973. 17 p.
- Reinikainen, A. 1983. Pääravinteiden puuteoireista puulajeilla. Teoksessa: Raitio, H. (toim.) Metsäpuiden fysiologiaa I. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja 39: 132-135.
- Reinikainen, A. & Veijalainen, H. 1983. Diagnostical use of needle analyses in growth disturbed Scots pine stands.-Commun. Inst. For.Fenn.116: 44-48.
- Saarinen, M. 1996. Effects of the removal of shelterwood on the foliar nutrient concentrations of Norway spruce (*Picea abies* (L) Karst.) on drained peatlands (Tiivistelmä: Neulasten pääravinnepitoisuuksien muutokset turvekankaan aliskasvoskuusikossa ylispuuhakkuun jälkeen)-Suo 47 (3): 95-102.
- Sarjala, T. & Kaunisto, S. 1993. Needle polyamine concentrations and potassium nutrition in Scots pine.-Tree Physiology 13: 87-96.
- Scharrer, K. & Linser, H. 1969. Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung. 594 S. Spinger-Verlag, Wien-New York.
- Silfverberg, K. 1980. Kuusen kasvuhäiriö ja hivenravinteet. Abstract: Micronutritional growth disorder in Norway spruce.-Folia Forestalia 432. 13 p.
- Uusitalo, E. 1968. Lannoituskokeet Suomensjärven Kettulassa.-Suometsätieteen laudaturtyö. Helsingin Yliopisto. 56+6 s.
- Veijalainen, H. 1975. Kasvuhäiriöistä ja niiden syistä metsäojitusalueilla. Summary: Dieback and fertilization on drained peatlands.-Suo 26(5): 87-92.
- Veijalainen, H. 1977. Use of needle analysis for diagnosing micronutrient deficiencies in Scots pine on drained peatlands. Seloste: Neulasanalyysi männyn mikroravinnetilanteen määrittämisessä turvemaila.-Commun. Inst. For.Fenn.92 (4). 32 p.
- Veijalainen, H. 1983. Preliminary results of micronutrient fertilization experiments in disordered Scots pine stands.-Commun. Inst. For. Fenn. 116 153-159 s.
- Veijalainen, H. 1992. Neulasanalyysituloksia suometsistä talvella 1987-88. Summary: Nutritional diagnosis of peatland forests by needle analysis in winter 1987-88.-Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 408. 27 p.
- Veijalainen, H. 1997a. Neulasanalyysi suo-kuusikoiden ravinnetarpeen määrittämisessä. -Käsikirjoitus, Metsäntutkimuslaitos,Vantaa. 26 s.
- Veijalainen, H. 1997b. The applicability of peat and needle analysis in heavy metal deposition surveys.(In print).
- Veijalainen, H., Reinikainen, A. & Kolari, K. 1984. Metsäpuiden ravinneperäinen kasvuhäiriö Suomessa. Summary: Nutritional growth disturbances of forest trees in Finland.-Folia Forestalia 601. 41 p.
- Viro, P. 1950. Fertilization trials on forest soil.-Commun.Inst. For. Fenn. 37(7).21p.
- Viro, P.1965. Estimation of the effect of forest fertilization.Selostus: Metsän lannoituksen vaikutuksen arvioiminen.-Commun. Inst. For. Fenn. 59 (3). 42 p.
- Viro, P.1974. Fertilization of birch. Selostus: Koivun lannoitus.- Commun.Inst. For. Fenn.81(4), 38 p.
- Will, G. 1985. Nutrient deficiencies and fertilizer use in New Zealand exotic forests. Supplement: Field guide to nutrient deficiencies in radiata pine.-FRI Bulletin No. 97. 53 p.

Korjauksia:

- s. 21 Kuva 6 a-e po. Kuva 6 a-d.
- s. 24 Tekstin viittaukset kuviin 7b ja 7d vaihtaneet paikkaa.
- s. 25 Kuvateksti 7e po. ...oikealla terve vertailuksi.
- s. 34 ...kuusen NPK-puutosta (kuva 8d) po. (kuva 8e).
- s. 34 ...monista päällekkäisistä ravinnepuutoksista (kuva 8e) po. (kuva 8f).
- s. 41-44 Kirjallisuusluettelon artikkeleista puuttuu numerointi (1-78), johon tekstissä viitataan. Numeroimalla artikkelit juoksevasti 1-78 voi tekstin viitteitä seurata.

ISBN 951-40-1629-7
ISSN 0358-4283