

Mikko Moilanen, Markku Saarinen ja Klaus Silfverberg

Männyn neulasten ravinnepitoisuuksien (N, P, K) vaihtelu metsäojitusalueilla

Seloste artikkelista: Moilanen, M., Saarinen, M. & Silfverberg, K. 2010. Foliar nitrogen, phosphorus and potassium concentrations of Scots pine in drained mires in Finland. *Silva Fennica* 44(4): 583–601.
<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf44/sf444583.pdf>

Maaperän märkyys ja siitä aiheutuva niukkahapipisuus rajoittavat puiden kasvua luonnontilaisilla soilla. Pohjaveden pinnan alentaminen ojituksella on edellytys soiden kestäväälle ja taloudelliselle puunkasvatukselle. Metsänkasvatusta varten on turvemaita ojitettu 1900-luvulla lähes 5 milj. hehtaaria eli yli puolet soiden kokonaisalasta. Noin kolmannes ojitusalasta on lisäksi lannoitettu puuston kasvun parantamiseksi.

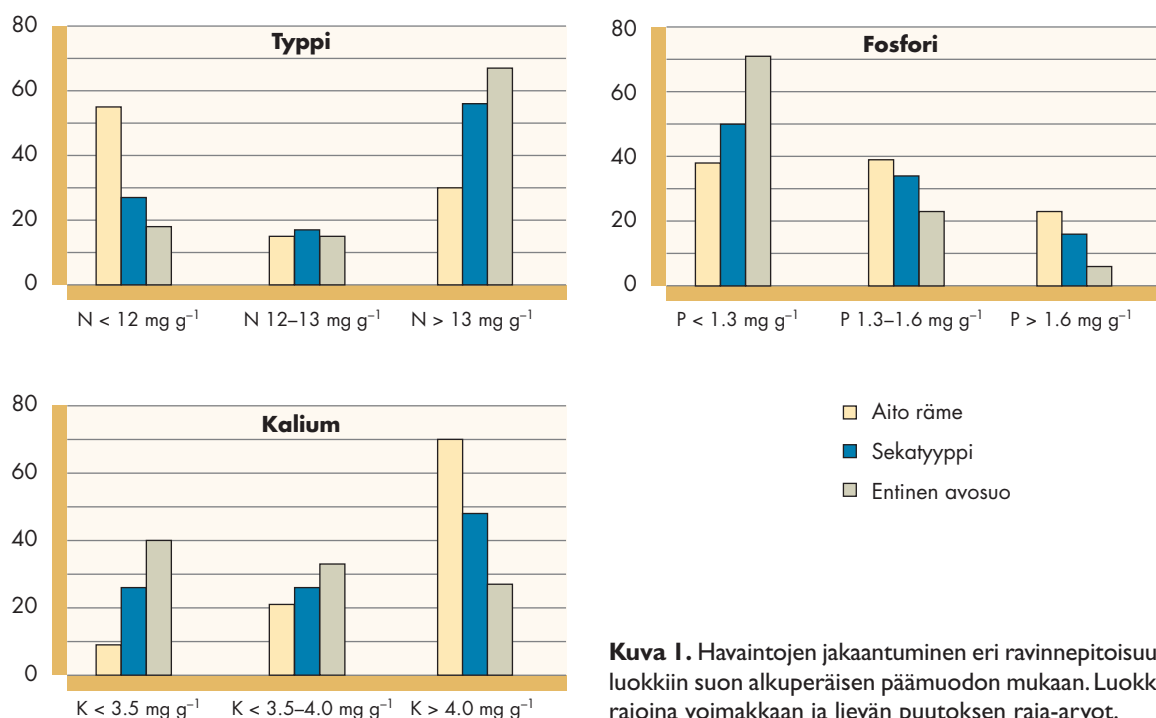
Puustoisilta nk. aidoilta räme- ja korpityypeiltä alkanut ojitustoiminta yleistyi 1950–60-luvuilla myös puuttomilla tai hyvin vähäpuustoisilla ja paksuturpeisilla soilla. Tällaisilla kasvupaikoilla puut kärsivät liiallisen märkyuden lisäksi ravinteiden puutoksista tai epätasapainosta. Suon alkuperästä, suotyypistä, ravinteisuudesta ja metsähoitotoimista riippuen puiden kasvuolot ja ravinnetila vaihtelevat ojitusaluemetsissä suuresti.

Puiden ravinnetalous ja kasvukyky soilla määräytyvät lähinnä kolmen pääravinteen, typen (N), fosforin (P) ja kaliumin (K) saatavuudesta ja riittävydestä. Pintaturpeen tyyppivarat ovat suuret verrattuna kangasmetsien humuskerrokseen ja puiden typensaanti on yleensä turvattu. Ojitusalueen ikääntyessä ja turpeen tiivistyessä puiden juuristokerroksen typen määrä tilavuusyksikköä kohti edelleen kas-

vaa. Näin ollen typen puutos rajoittaa puiden kasvua yleensä vain karuimmilla turvekangastyypeillä. Fosforia turpeessa on kohtalaisen runsaasti, mutta se on valtaosin orgaanisessa muodossa ja vapautuu yleensä hitaasti puiden tarpeeseen nähden. Fosforin puutostilan on todennettu rajoittavan yleisesti puuston kasvua metsäojitusalueilla. Kaliumin kokonaisvaranto turpeessa on pieni verrattuna puustoon sen kasvatusaikana sitoutuneeseen kaliumin määrään. Näin ollen kaliumpuutoksia esiintyy yleisesti paksuturpeisilla kohteilla.

Puiden ravinnetilan luontaisesta vaihtelusta erityyppisillä soilla ei ole riittävästi tutkimustietoa. Käytännön metsäsuunnittelussa on suopuustojen ravinnetilan määrittäminen koettu ongelmalliseksi. Nykyistä täsmällisempää tietoa kaivataan niistä mahdollisista metsikkö- ja maaperätunnuksista, joita voi hyödyntää työkaluina kunnostusojitus- ja lannoitus päätöksiä tehtäessä. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli neulasanalyysien avulla selvittää ja mallintaa puiden ravinnepitoisuuksien (N, P, K) ja ravinnesuhteiden (N:P, N:K) vaihtelua ojitusaluemänniköissä ja havainnollistaa männyn ravinnetilaan keskeisimmän vaikuttavien tekijöitä. Työssä hyödynnettiin Metlan pitkäaikaisia kenttäkokeita. Aineisto muodostui 333 ojitusaluemetsiköstä Pohjois- ja Keski-Pohjanmaalta, Kainuusta ja Etelä-Lapista vuosina 1973–2003 kerättyjen ja analysoitujen männyn neulasnäytteiden ravinnemäärityksistä. Tutkimuskohteista valtaosa oli ollut ojitettaessa nevan ja rämeen sekatyyppejä (nevarämeitä) ja edustivat yleisesti ojitustoiminnan kohteina olleita suotyyppejä. Aineistoon sisältyi myös alkuaan puustoisia nk. aitoja rämeitä ja toisaalta entisiä puuttomia nevoja. Tulokset edustavat lähinnä eteläboreaalista aapasuovyöhykettä maamme keskisessä osassa.

Kaikki metsiköt olivat lannoittamattomia ja edellisestä puustonkäsittelystä oli kulunut vähintään 10 vuotta. Mäntyvaltapuuston pituus vaihteli metsiköstä riippuen 3–19 m. Sekapuuna (5–25 % tilavuudesta) esiintyi hieskoivua ja kuusta. Neulasnäytteet kerät-



Kuva 1. Havaintojen jakaantuminen eri ravinnepitoisuusluokkiin suon alkuperäisen päämuodon mukaan. Luokkarajoina voimakkaan ja lievän puutoksen raja-arvot.

tiin puiden lepokaudella talvisaikaan, kun ojituksesta oli kulunut metsiköstä riippuen 1–85 vuotta (keskimäärin 33 vuotta). Yhdestä metsiköstä näytteitä oli 2–5 kpl ja näytteiden kokonaismäärä 971 kpl. Kukin näyte koostui metsikön (tai koealan) 6–8 männystä kerätyistä nuorimman vuosikerran neulasista. Neulasten N-pitoisuus määritettiin Kjeldahl-menetelmällä ja muut ravinteet kuivapoltetuista ja HCl-uu-tetuista näytteistä atomiabsorptiospektrofotometrillä (K) ja vanado-molybdaatti-menetelmällä (P). Ravinnetilan tulkinta ja ravinnepuutosten yleisyyden arviointi pohjautui aiempaan tietämukseen ravinnetilaa osoittavien pitoisuuksien raja-arvoista.

Aineiston käsittelyssä puiden ravinnetilaa selittävinä tekijöinä olivat: 1) kohteen sijainti (koordinaatit ja korkeusasema), 2) suon alkuperäinen päämuoto (puustoinen aito räme, vähäpuustoinen nevaräme, puuton neva), 3) viljavuus/ravinteisuusluokka, 4) turpeen paksuus, 5) ojituksesta kulunut aika, 6) neulasten syntymävuoden lämpösusma. Aineisto analysoitiin yleistetyillä lineaarisilla sekamalleilla, ryhmien väliseen vertailuun käytettiin varianssianalyysia ja t-testejä.

Neulasten ravinnepitoisuuksien vaihtelu aineistossa kattoi ne vaihteluvälit, joita aiemmissa tutkimuksissa on männylle esitetty. Aineistoon sisältyi ravinnetilaltaan erilaisia metsiköitä. N-pitoisuus vaihteli 6,7–24,2 mg g⁻¹, P-pitoisuus 0,83–2,32 mg g⁻¹ ja K-pitoisuus 2,22–6,23 mg g⁻¹. Typen pitoisuus oli merkitsevästi korkeampi entisten nevojen ja vähäpuustoisten nevarämeiden ojitusalueilla kuin puustoisilla aitojen rämeiden ojitusalueilla. Fosforin ja kaliumin osalta tilanne oli päinvastainen. ”Viljaviksi” (ruoho-suursarataso) luokitelluilla kohteilla neulasten N-arvot olivat merkitsevästi korkeammat kuin ”karuiksi” (piensara-tupasvilla-varputaso) luokitelluilla kohteilla.

Keskimäärin joka toisessa metsikössä ilmeni voimakas P-puutos ja joka neljännessä metsikössä voimakas N- ja K-puutos. Samanaikaista P- ja K-puutosta esiintyi joka viidennessä ja samanaikaista kaikkien kolmen ravinteen puutosta 4 %:lla metsiköistä. Tältä osin tulos on samansuuntainen kuin mitä aiemmissa suopuiden ravinnetilakartoituksissa on esitetty. Ravinnetilan yhteys suon alkuperäiseen päämuotoon oli selvä: N-puutos oli suhteellisesti yleisintä

aidoilla rämetypeillä, kun taas P- ja K-puutokset painottuivat nevarämeillä ja etenkin entisille avosoille (kuva 1). Lievää tai voimakasta P- ja K-puutosta esiintyi valtaosalla sellaisista metsiköistä, joissa lähötötilanne oli ollut nevaräme tai puuton neva.

Neulasten N:P- ja N:K-suhteet olivat entisillä nevoilla ja nevarämeillä yleensä epätasapainossa – puiden käytössä oli liikaa tyyppä verrattuna fosforiin tai kaliumiin. Aidoilla puustoisilla – ja myös keskimääräistä karummilla ja ohutturpeisemmilla – rämeillä ravinnesuhteet olivat useimmiten tyydyttävät tai hyvät.

Vuosien välinen sääolojen vaihtelu heijastui puiden ravinnetilassa. Neulasten syntymävuoden lämpösomma (sisälsi sekä maantieteellisen että vuosien välisen vaihtelun) korreloi positiivisesti neulasten N-pitoisuuden kanssa. ”Karuilla” kasvupaikoilla tynen niukkuutta ilmeni, kun kasvukauden lämpösomma jäi alle 950 d.d.-yksikön. ”Viljavilla” kasvupaikoilla puilla ei todettu tynen puutoksia viileinäkään kasvukausina. Toisaalta lämpösomman lisääntyessä neulasten K-pitoisuus keskimäärin aleni, jolloin epäsuhta tynen ja kaliumin välillä kasvoi. On pääteltävissä, että mikäli kasvukaudet muuttuvat nykyistä lämpimämmiksi, seurauksena on tynen kiihtyvä mineralisaatio maaperässä. Tämä varmistaa puiden tynen tarpeen ja lisää puiden kasvua karukoillakin turvemailla. Samalla kuitenkin riski puiden kaliumpuutoksen syntymiselle etenkin entisillä nevarämeillä ja nevoilla kasvaa, mikä merkitsee kasvutappioita.

Neulasten K-pitoisuudessa todettiin myös maantieteellistä vaihtelua. Tutkimusalueen läntisen osan (Pohjanlahteen rajoittuva n. 100 km:n kaistale) soilla puiden K-tila oli keskimäärin heikompi kuin alueen itäosan yli 150 m merenpinnan yläpuolella sijaitsevilla soilla. Ilmiö näkyi selkeimmin lounais-koillisuunnassa Pohjois-Pohjanmaa-Kainuu-vyöhykkeellä. K-puutokset siis keskittyivät geologisesti nuorille maille merenrannan läheisyyteen, kun taas Kainuussa sijaitsevilla vanhemmilla mailla K-puutokset jäivät selvästi vähäisemmiksi.

Turpeen paksuus korreloi negatiivisesti neulasten K-pitoisuuden kanssa. Paksuturpeisilla kohteilla puut eivät saaneet ”kaliumtäydennystä” pohjamaan kivennäisvaroista. Puilla alkoi ilmetä lievää K-puutosta, kun turvetta entisillä nevoilla oli yli 30 cm, nevarämeillä yli 40 cm ja aidoilla rämeillä yli 50 cm.

Turpeen ravinnevarojen – etenkin kaliumin – riittävyydestä pitkän aikavälin metsänkasvatukseen soilla on voitu tähän saakka esittää vain arveluja. Aiemmat havainnot alhaisista K-määristä vanhoilla hakkuin käsitellyillä turvekankailla ovat herättäneet epäilyjä kaliumvarojen vähittäisestä ehtymisestä puunkorjuun ja kaliumin mahdollisen huuhtoutumisen seurauksena. Tässä työssä männyn neulasten ravinnepitoisuuksien erot eri-ikäisiltä ojitusalueilta kerätyissä neulasnäytteissä jäivät suhteellisen vähäisiksi. Neulasten K-pitoisuus tosin keskimäärin aleni ojitusiän kasvaessa, etenkin alkuperältään nevaisilla ja paksuturpeisilla kohteilla, joissa turpeen kaliumvarat luonnostaankin ovat vähäiset. Merkittävää K-tilan heikentymistä ei kuitenkaan todettu vanhimmillakaan 80-vuotiailla ojitusalueilla.

Tulosten perusteella todetaan, että kasvukauden sääolot, turpeen paksuus ja suon alkuperä on otettava huomioon määrittäessä puuston ravinnetilaa ja arvioitaessa lannoitustarvetta metsäojitusalueella. Lannoitustoimet (PK-lisäys) tulee suunnata puolukka- ja mustikkaturvekankaiden II-tyypeille, jotka ovat kehittyneet paksuturpeisten ja runsastyyppisten nevarämeiden ojitusalueille. Näissä kohteissa tyyppä on puiden kannalta yleensä liikaa suhteessa fosforiin ja kaliumiin ja lannoituksen aiheuttama puiden kasvuvaste on voimakas.

■ MH Mikko Moilanen, Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen toimipaikka; MMM Markku Saarinen, Metsäntutkimuslaitos, Parkanon toimipaikka; MMT Klaus Silfverberg, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimipaikka
Sähköposti mikko.moilanen@metla.fi

Timo Pukkala, Tatu Hokkanen ja Teijo Nikkanen

Siemensadon ennustemallit männylle ja kuuselle

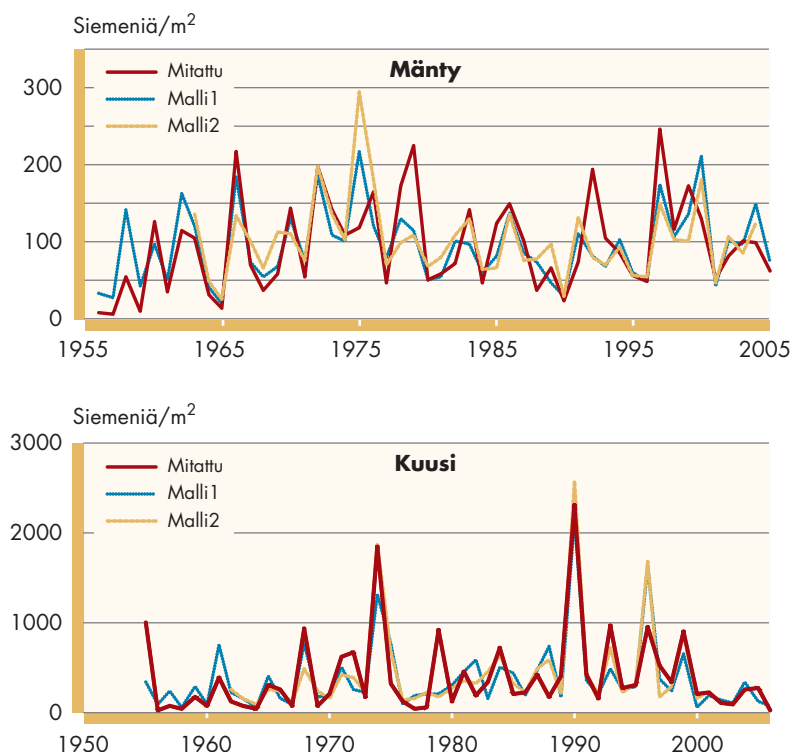
Seloste artikkelista Prediction models for the annual seed crop of *Picea abies* (L.) Karst. (Norway spruce) and *Pinus sylvestris* L. (Scots pine) in Finland. *Silva Fennica* 44(4): 629–642.

<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf44/sf444629.pdf>

Siemensadon ennustaminen auttaa ajoittamaan luontaiseen uudistamiseen tähtäävät hakkuut hyviin siemenvuosiin. Uudistumistulos paranee, jos maahan varisee runsaasti siementä pian uudis-

tushakkuun ja maanpinnan käsittelyn jälkeen. Myöhemmin taimettuminen heikkenee, kun muokkausjälki sammaloituu ja heinittyy. Uudistushakkuun täsmääminen siemenvuosiin olisi erityisen hyödyllistä Pohjois-Suomessa, missä hyvät siemenvuodet ovat harvassa. Täsmäys ei tosin välttämättä takaa uudistumisen onnistumista, sillä siemenen itävyys voi olla huonoa tai taimikuolleisuus suurta. Parhaaseen tulokseen päästään, kun siemenen varisemisvuonna on kosteaa, jolloin siementen itävyys on hyvä, eivätkä hennot sirkkataimet kuole vedenpuutteeseen. Varhaisessa vaiheessa laaditut siemensatoennusteet palvelevat myös metsäpuiden siemenhuoltoa tarjoamalla tietoa käpyjen keruun ja sen rahoituksen suunnittelua varten.

Aikaisempien tutkimusten perusteella tiedetään, että Suomen pääpuulajit kukkivat runsaasti kuivan ja kuumen kesän jälkeen. Kuivuus ja aurinkoisuus



Kuva 1. Männyn ja kuusen mitattu ja malleilla ennustettu siemensato koemetsiköissä keskimäärin eri vuosina. Vaaka-akselilla oleva vuosiluku tarkoittaa siemenen varisemisvuotta. Mallityyppi 1 perustuu lämpötilan kuukausikeskiarvoihin ja kuukausisadantoihin. Mallityyppi 2 perustuu lämpösommeihin.

vaikuttavat siten, että kesällä muodostuvat silmut erikoistuvat kukkasilmuiksi, joista seuraavana keväänä kehittyvät versojen sijasta kukkia. Kukkien kehittyminen siemeniksi vie kuusella yhden ja männyllä kaksi kasvukautta. Koska siementen valtaosa varisee vasta siementen kypsyysvuotta seuraavana keväänä, maahan varisee runsaasti kuusen siementä noin puolitoista vuotta kuuman kesän jälkeen. Männyn siementä saadaan runsaasti 2,5 vuotta kuuman kesän jälkeen. Jos siemensatoa ennustetaan kuluvaan kesän säätilojen avulla, ennuste saadaan kuusella 1,5 vuotta ja männyllä 2,5 vuotta ennen siemenen varisemista. Tämä antaa riittävästi aikaa uudistushakkuun ja maanpinnan käsittelyn toteutukseen.

Suomessa on poikkeuksellisen pitkiä mittausarvoja metsiköiden siemensadoista. Siemensatoja on mitattu karikesuppiloiden avulla yhtäjaksoisesti vuodesta 1954 lähtien. Mittaukset käynnisti aikoinaan professori Risto Sarvas, joka tutki puiden vuosirytyä ja kukinnan vaihtelua. Mittauksia on tehty eri puolilla Suomea kaikkiaan 22 kuusikossa ja 44 männikössä. Pisin katkeamaton mittausaika samassa metsikössä on 45 vuotta. Koska myös sää on mitattu monilla paikkakunnalla yhtäjaksoisesti pitkiä aikoja, mahdollisuudet tutkia siemensadon riippuvuutta kukkimista edeltävien vuosien sääoloista ovat Suomessa hyvät.

Tutkimuksessa kehitettiin mallit, joissa männyn ja kuusen siemensatoa ennustetaan kahden kukkimista edeltävän kasvukauden sääolojen avulla. Ensimmäisessä mallityypissä selittäjinä käytettiin lämpötilan kuukausikeskiarvoja touko-syyskuulta sekä samojen kuukausien sadantaa. Toisessa mallityypissä siemensato pyrittiin ennustamaan tietyn kynnysarvon ylittävien lämpösummakertymien avulla. Oletuksena oli, että silmujen erilaistuminen alkaa määrätylä lämpösummakertymällä, ja ratkaisevaa aikaa on tietty periodi siitä hetkestä eteenpäin, jona tämä kertymä saavutetaan.

Tulosten mukaan kumpikin puulaji kukki runsaasti lämpimän ja vähäsateisen kesän jälkeen. Kukinta lisääntyi, jos edellinen kesä oli ollut viileä ja vähäsateinen. Kuusen kukinnan kannalta tärkeimpiä säätekijöitä olivat kesä-, heinä- ja elokuun lämpötila. Männyn siemensato riippui lisäksi touko- ja syyskuun lämpötiloista sekä kesä-elokuun sadannasta. Kuivuus lisäsi männyn kukintaa seuraavana keväänä. Lämpösummatarkastelujen perusteella on pää-

teltävissä, että kukkasilmujen erilaistumisen kannalta ratkaiseva jakso on kuusella aiemmin kuin männyllä. Malleissa päädyttiin käyttämään seuraavia kukka-aiheiden muodostumisen kannalta tärkeitä lämpösummajaksoja: kuusella 50 vrk siitä päivästä eteenpäin, jona kynnysarvo 200 d.d.-yksikköä ylityi ($D^{200.50}$) ja männyllä vastaavasti 45 vrk:n pituista jaksoa 400 d.d.-yksikön ylittymisen jälkeen ($D^{400.45}$). Lämpötilan kuukausikeskiarvoihin ja lämpösummaan perustuvia mallityyppejä ei voitu asettaa yksiselitteisesti paremmuusjärjestykseen.

Mallit ennustavat varsin hyvin ne vuodet, joina siemensato on poikkeuksellisen hyvä (kuva 1). Myös ne vuodet, joina siementä ei varise juuri lainkaan, voidaan ennustaa luotettavasti. Erityisesti kuusen hyvät siemenvuodet kyetään ennustamaan hyvin. Männyllä, jolla siemensadon vuosittainen vaihtelu on vähäisempää, ennusteiden ja mittauksen vastaavuus ei ole aivan yhtä hyvä. Hyvinä siemenvuosina mallit kuitenkin ennustavat vähintään keskinkertaista siemensatoa ja huonoina vuosina ennusteetkin ovat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta heikkoja. Tämän vuoksi voidaan päätellä, että keskimääräinen uudistamistulos paranee, jos uudistushakkuut tehdään juuri ennen vuotta, jonka siemensadon ennuste on hyvä. Tulosta voidaan parantaa edelleen välttämällä uudistushakkuuta, jos sadon ennuste on heikko.

■ Prof. Timo Pukkala, Itä-Suomen yliopisto, metsätieteiden osasto; MMM Tatu Hokkanen, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimipaikka; MMT Teijo Nikkanen, Metsäntutkimuslaitos, Punkaharjun toimipaikka
Sähköposti timo.pukkala@uef.fi