

Raija Laiho, Sakari Sarkkola, Seppo Kaunisto, Jukka Laine ja Kari Minkkinen

## Turpeen ravinnepitoisuudet ojitetuissa suometsissä

Seloste artikkelista: Laiho, R., Sarkkola, S., Kaunisto, S., Laine, J. & Minkkinen, K. 2008. Macroscale variation in peat element concentrations in drained boreal peatland forests. *Silva Fennica* 42(4): 555–570.

Tietoa maan alkuainepitoisuuksien vaihtelusta tarvitaan moniin tarkoituksiin, joita ovat esimerkiksi näytteenottokäytäntöjen suunnittelu, hii- len kierron prosessien yleistäminen paikallisista mit- tauksista laajemmalle aluetasolle sekä myös käy- tännön metsätalouden suunnittelu. Suomen suomet- sät muodostavat huomattavan metsävarannon. Ra- vinne-epätasapainotilanteiden, erityisesti kaliumin, fosforin ja/tai boorin niukkuuden suhteessa typen määrään, on kuitenkin todettu olevan melko yleinen ongelma avosuolähtöisillä, alunperin märillä kas- vupaikoilla. Samoja ongelmia voi esiintyä myös alunperin niukkapuustoisilla, niin sanotuilla seka- tyypin suokohteilla. Alueellisia eroja suometsien turpeen ravinnepitoisuuksien vaihtelussa ei ole sel- vitetty järjestelmällisesti, ei myöskään sitä, ovatko erot mallinnettavissa joidenkin suhteellisen helposti havainnoitavien tunnusten avulla. Tässä tutkimuk- sessa käytettiin laajaa turvenäyteaineistoa sekatyyp- pilähtöisten, mäntyvaltaisten, 35–61-vuotiaiden oji- tusaluemetsien ravinnetunnusten tilavaihtelun ana- lysoimiseen. Työ on jatkoa selvitykselle suometsä- kuvioiden sisäisestä vaihtelusta, jota on selostettu *Metsätieteen aikakauskirjan* numerossa 1/2004.

Selvitimme 0–20 cm turvekerroksen P-, K-, Ca-, Mg-, Zn-, Cu-, B-, Fe- ja Al-pitoisuuksien koko- naisvaihtelua sekä sitä, kuinka suuri osuus kunkin pitoisuuden kokonaisvaihtelusta on peräisin aluei-

den välisestä, suoaltaiden välisestä, kuvioiden vä- lisestä ja kuvioiden sisäisestä vaihtelusta. Kuviol- la tarkoitamme kasvillisuuden perusteella rajattua, tiettyä kasvupaikkatyyppiä edustavaa alaa. Lisäk- si selvitimme, voidaanko pitoisuuksien vaihtelua mallintaa maantieteellisen sijainnin sekä helposti määritettävien kuvio- ja maaperätunnusten avulla. Aineisto koostui 878 turvenäytteestä, jotka oli ke- rätty 289 kuviolta 79 suoaltaasta. Kuviot edustivat kolmea turvekangastyyppiä: mustikkaturvekangas II (Mtkg II), puolikkaturvekangas II (Ptkg II) ja varputurvekangas (Vatkg).

Turpeen alkuainekoostumuksessa oli havaittavissa systemaattista pohjois-etelä- sekä itä-länsisuuntaista vaihtelua. Valtaosa yksittäisten pitoisuuksien vaihtelusta muodostui suoaltaiden välisistä eroista sekä kuvioiden sisäisestä vaihtelusta. Suoaltaiden väli- set erot korostavat jokaisen suon ainutkertaisuutta: ei ole kahta suoallasta, joilla olisi maaperältään ja valuntaoloiltaan samanlaiset valuma-alueet sekä samanlaiset turpeen kerrostumishistoriat. Veden laa- dun, määrän ja virtaussuuntien, ja näiden seurauk- sena kosteusolojen, kasvillisuuden koostumuksen (eli eloperäisen aineen syötteen määrän ja laadun) ja hajotusnopeuksien vaihtelut johtavat turpeen laa- dun vaihteluun kaikilla mitta-asteikoilla tarkastel- tuna. Suuri kuvion sisäinen vaihtelu tarkoittaa sitä, että yksittäisen kuvion ravinnetilan luotettavaan kuvaamiseen tarvitaan joskus hyvinkin suuri mää- rä näytteitä.

Turvenäytteet oli analysoitu kahdessa erässä eri la- boratoriossa, ja, kalsiumia lukuun ottamatta, kaikis- sa pitoisuuksissa havaittiin systemaattinen ero eri- en välillä. Ero pystyttiin ottamaan malleissa huomi- oon korjauskertoimien avulla. Useimpia pitoisuuksia parhaimmin kuvanneissa malleissa oli selittävinä tekijöinä turpeen tiheys ja/tai tuhkapitoisuus kasvu- paikkatyyppin ja maantieteellisen sijainnin lisäksi. Useimpien alkuaineiden osalta mallien selitysvaima jäi vaatimattomaksi. Fosforin pitoisuuden vaihtelua oli helpoin selittää: noin puolet kokonaisvaihtelusta

saatiin selitetyksi ja mallin harha oli hyvin pieni. Tämä oli tärkeä tulos, koska fosforin niukkuus rajoittaa yleisesti puuston kasvua ojitusaluemetsissä. Kalsiumin, magnesiumin ja boorin pitoisuuksia ei pystytty lainkaan selittämään helposti mitattavilla tunnuksilla.

Useimpien alkuaineiden pitoisuudet pienenevät kasvupaikkatyypiltä toiselle järjestyksessä Mtkg II>Ptkg II>Vatkg. Boorin pitoisuus noudatti kuitenkin päinvastaista järjestystä. Myös sinkin pitoisuus oli sikäli poikkeuksellinen, että se oli keskimäärin suurempi Ptkg II:ta kuin Mtkg II:ta edustavilla kuvioilla. Yllättävästi kalsiumin pitoisuuksissa ei havaittu merkitseviä eroja kasvupaikkojen välillä, vaikka aiemmat tutkimukset ovat osoittaneet kalsiumin olevan eräs tärkeimmistä kasvillisuuden perusteella eroteltujen suokasvupaikkojen määrittäjästä. Oletettavasti kalsiumpitoisuuserojen tasoittuminen kasvupaikkojen välillä on johtunut kalsiumin lisääntyneestä huuhtoutumisesta ojituksen jälkeen. Kaliumpitoisuuksien tarkastelu ei paljastanut selviä perusteita arvioida kaliumpuutoksen riskin alueellista vaihtelua. Ehdotamme, että tulisi erikseen selvittää, ovatko kaliumpitoisuudet erityisen pieniä Litorina-meren aikoinaan peittämien alueiden soilla, joiden valuma-alueilla on runsaasti huuhtoutuneita kivennäismaita sekä happamia sulfaattimaita. Tämä Länsi- ja Lounais-Suomen osittain käsittävä vyöhyke oli huonosti edustettuna käyttämässämme aineistossa.

■ Dos. Raija Laiho, dos. Kari Minkkinen, Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos; MMT Sakari Sarkkola, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö; prof. emer. Seppo Kaunisto, prof. Jukka Laine, Metsäntutkimuslaitos, Parkanon toimintayksikkö.  
Sähköposti [raija.laiho@helsinki.fi](mailto:raija.laiho@helsinki.fi)

Riitta Väänänen, Mika Nieminen, Martti Vuollekoski, Hannu Nousiainen, Tapani Sallantaus, Eeva-Stiina Tuittila ja Hannu Ilvesniemi

## Fosforin pidättyminen turvemaasuojavyöhykkeille metsävaluma-alueilla

Seloste artikkelista: Väänänen, R., Nieminen, M., Vuollekoski, M., Nousiainen, H., Sallantaus, T., Tuittila, E.-S. & Ilvesniemi, H. 2008. Retention of phosphorus in peatland buffer zones at six forested catchments in southern Finland. *Silva Fennica* 42(2): 211–231.

**H**akkuiden, turvemaiden kunnostusojituksen ja muiden metsätaloustoimenpiteiden seurauksena toimenpidealueelta tulevan valumaveden ravinne- ja kiintoainespitoisuus kasvaa. Hyvän metsänhoidon suositusten mukaisesti toimenpidealueen ja vesistön väliin jätetään suojavyöhyke pidättämään kiintoainetta ja ravinteita. Aiempien selvitysten mukaan suojavyöhykkeet vähentävät selvästi vesistöön huuhtoutuvan kiintoaineksen määrää. Liukoisen fosforin osalta tuloksia on yksittäisiltä suojavyöhykkeiltä ja ne vaihtelevat fosforin pidätyksestä fosforin huuhtoutumiseen suojavyöhykkeeltä. Tässä tutkimuksessa mitattiin kuuden turvemaalle perustetun suojavyöhykkeen fosforinpidätyskyky lisäyskokeen avulla ja selvitettiin pidätyskykyyn vaikuttavia tekijöitä.

Suojavyöhykkeiden fosforinpidätyskykyä tutkittiin kuudella turvemaalle perustetulla suojavyöhykkeellä Etelä- ja Keski-Suomessa. Suojavyöhykkeet olivat pinta-alaltaan 0,12–1,01 ha, eli 0,09–4,9 % koko valuma-alueen koosta (Taulukko 1). Kolme suojavyöhykkeistä oli luonnontilaisia soita ja kolme ojitettuja turvemaita.

Suojavyöhykkeille lisättiin 10 kg fosfaattifosforia (PO<sub>4</sub>-P) liuksena, jolloin pinta-alayksikköä kohden laskettu lisäys oli 10–80 kg/ha. Neljälle suojavyöhykkeelle lisäys tehtiin viitenä peräkkäisenä päivänä. Kahdella suojavyöhykkeellä viiden päivän lisäysjaksot oli jaettu kahdelle peräkkäiselle vuodelle. Lisäykset tehtiin kasvukauden eri aikoina (Taulukko 1).

Suojavyöhykkeeltä pois virtaavan veden fosforipitoisuutta seurattiin lisäyksen aikana ja 2–4 vuotta lisäyksen jälkeen. Pitoisuus mitattiin päivittäin lisäysjakson aikana ja 6–18 kertaa sen jälkeen saman vuoden loppuun saakka. Lisäystä seuraavina vuosina mittauksia tehtiin 2–10 kertaa vuodessa. Fosforipitoisuuden ohella mitattiin kentälle virtaavan veden hydrologinen kuorma. Pitoisuuksien ja hydrologisten kuormien perusteella laskettiin suojavyöhykkeen pidättämän fosforin määrä. Suojavyöhykkeiden maaperän eli turpeen kemiallinen fosforinpidätyskyky mitattiin ennen fosforin lisäystä viideltä suojavyöhykkeeltä ja lisäyksen jälkeen neljältä näistä. Pidätyskykyä kuvattiin desorptio-sorptioisotermeilla.

Kaksi suurinta suojavyöhykettä pidätti 100 % lisäystä fosforista ja kolmanneksi suurin 94 % (Taulukko 1). Kolmesta pienimmästä suojavyöhykkeestä kaksi pidätti 95 % lisäyksestä ja yksi 24 %. Hydrologisen kuorman vaihteluväli lisäysjakson aikana oli 2–152 mm/d. Maan fosforinpidätyskyky oli kohtalainen kolmella ja hyvä kahdella suojavyöhykkeellä. Turpeen fosforinpidätyskyky heikkeni kolmella suojavyöhykkeellä fosforilisäyksen seurauksena ja säilyi muuttumattomana yhdellä suojavyöhykkeellä.

Suojavyöhykkeen suuri koko suhteessa valuma-alueen kokoon oli yhteydessä hyvään fosforinpidätyskykyyn. Kuitenkin myös pienet suojavyöhykkeet, joiden koko oli alle 1 % valuma-alueen koosta, pi-

dättivät merkittävän osan lisäystä fosforista. Pienen hydrologisen kuorman aikana fosforia pidättyi enemmän kuin suuren kuorman aikana. Suuri hydrologinen kuorma johtaa tyypillisesti oikovirtausuomien syntymiseen, jolloin veden viipymäaika suojavyöhykkeellä on lyhyt. Vastaavasti fosforia suojavyöhykkeelle virtaavasta vedestä pidättävät prosessit, kuten kasvillisuuden otto ja kemiallinen pidättyminen maaperään, ehtivät toimia vain lyhyen ajan. Keväällä ja myöhään syksyllä lisätyn fosforia pidättyi vähemmän kuin muina kasvukauden aikoina. Näinä vuodenaikoina kasvillisuutta on vähemmän kuin keskellä kasvukautta, jolloin se ottaa vähemmän fosforia eikä hidasta veden virtaamaa yhtä tehokkaasti. Suojavyöhykkeiltä, joilla oli suurin turpeen fosforinpidätyskyky, ei huuhtoutunut lainkaan lisättyä fosforia lisäysjakson jälkeen. Tämä viittaa siihen, että fosforin pidättyminen suojavyöhykkeelle voi olla pysyvämpää, jos suojavyöhykkeen maaperän kemiallinen fosforinpidätyskyky on suuri.

■ FT Riitta Väänänen, Metsäntutkimuslaitos, keskusyksikkö; MMT Mika Nieminen, MMM Martti Vuollekoski, FM Hannu Nousiainen ja prof. Hannu Ilvesniemi, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö; MML Tapani Sallantaus, Suomen ympäristökeskus, asiantuntijapalveluosasto/luontoyksikkö; FT Eeva-Stiina Tuittila, Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos. Sähköposti riitta.vaananen@metla.fi

**Taulukko 1.** Fosfaattifosforin ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) pidättyminen suojavyöhykkeille prosentteina lisäystä määrästä, sekä pidättymiseen vaikuttavat tekijät eli pinta-ala suhteessa valuma-alueen kokoon (%), suojavyöhykkeelle tuleva hydrologinen kuorma fosforilisäyksen aikana, lisäysajankohta ja maan fosforinpidätyskyky (ennen/jälkeen fosforilisäyksen) tutkituilla suojavyöhykkeellä. Ensimmäisen ja toisen lisäysjakson tiedot on eroteltu puolipisteellä. - ei mitattu.

Suojavyöhyke	$\text{PO}_4\text{-P}$ pidätys %	Pinta-ala %	Hydrologinen kuorma mm/d	Lisäysajankohta kk	Maan P-pidätyskyky
Asusuo	24	0,23	84–152	V	kohtalainen/heikentynyt
Murtsuo	95	0,16	68–99	VI	kohtalainen/heikentynyt
Kirvessuo	95	0,09	58–81	VII	kohtalainen/heikentynyt
Kallioneva	100	4,9	2	VII	hyvä/muuttumaton
Hirsikankaansuo	94	1,1	4; 60–96	VI; IX	hyvä/-
Vanneskorvenoja	100	2,5	3–12; 4–5	VI; VI	-/-

Sari Timonen ja Taina Pennanen

## Kuusentaimien sienijuurien määrä ja laatu suomalaisilla metsätaimitarhoilla

Seloste artikkelista: Flykt, E., Timonen, S. & Pennanen, T. 2008. Variation of ectomycorrhizal colonisation in Norway spruce seedlings in Finnish forest nurseries. *Silva Fennica* 42(4): 571–585.

Suomessa tuotetaan vuosittain yli sata miljoonaa kuusentainta ja näistä jopa 30% menetetään kymmenen vuoden sisällä istutuksesta. Syitä taimien huonoon menestykseen ei tarkalleen tiedetä. Tavallisin taimien tuotantotapa on kasvattaa niitä kennoissa ja käyttää kasvatukseen melko korkeita määriä liukoisia lannoitteita. Kasvatustapa ei suosi sienijuuria muodostavien symbionttisten maaperäsienten eli mykorrhitsasienten esiintymistä juuristoissa. Kuitenkin näiden sienten tiedetään helpottavan istutusshokkia ja parantavan taimien elinkykyä. Suomessa ei ole säädöksiä tai suosituksia juuristojen sienikolonisaation määrästä tai laadusta taimien myyntihetkellä kuten esimerkiksi Pohjois-Amerikassa. Tässä tutkimuksessa perehdyimme viiden erilaisen metsätaimitarhan yksi- ja kaksivuotisten taimien kasvatusoloihin sekä niiden juuristojen sienten määrään ja lajistoon. Vertailimme saatuja tuloksia myös taimien kokoon.

Tutkimusta varten 20 yksi- ja 20 kaksivuotiasta tainta kerättiin viideltä eri taimitarhalta. Jokaisesta tutkittiin verson korkeus, verson ja juuren paino sekä 20 vähintään yhden cm pituista juuren palaa, joissa oli yhteensä vähintään 250 juurenkärkeä. Juurten kärkien mykorrhitsoituneisuus tutkittiin stereomikroskoopin ja läpivalaisumikroskoopin avulla. Epäselvissä tapauksissa käytettiin apuna värjäystä trypaanisinisellä. Sienijuuret luokiteltiin ulkonäkösä

mukaan seitsemään luokkaan. Näiden luokkien sienisymbionttien lajisto selvitettiin molekulaarisilla menetelmillä. Saatuja tuloksia vertailtiin toisiinsa Kruskalin–Wallisin ei-parametrisen varianssianalyysin ja DCA monimuuttuja-analyysin avulla.

Kaikissa tutkimissamme taimitarhoissa yksivuotisten taimien sienijuurien määrä kaikista juurista oli alle 20%. Määrä oli varsin pieni, sillä tutkimustietoon perustuvien suositusten mukaan taimien juuristojen kolonisaatioprosentin olisi hyvä olla vähintään 50. Kaksivuotiaiden taimien tilanne oli hiukan parempi, sillä yhdessä taimitarhassa kolonisaatioprosentti oli yli 60 ja kahdessa noin 50. Kahdella tutkituista taimitarhoista sienijuuria ei havaittu lähes ollenkaan minkään ikäisillä taimilla. Sienijuuria muodostavien sienten lajiston monimuotoisuus oli kaksivuotiailla taimilla selvästi yksivuotiaita taimia suurempaa ja lajiston monimuotoisuus näytti lisääntyvän yhdessä sienikolonisaation määrän kanssa.

Typpi- ja fosforilannoituksella näytti olevan sienijuurten määrään voimakkain negatiivinen vaikutus. Sienijuurien kehittymiseen vaikutti erityisen haitallisesti sekä runsas että varhaisessa vaiheessa aloitettu lannoitus. Suurimmat lannoitemäärät eivät edes parantaneet taimien verson kasvua verrattuna maltillisempiin lannoitemääriin. Erilaisten kasvin suojeleaineiden käyttö korreloi myös jonkin verran vähäisen sienijuuriprosentin kanssa.

Saatujen tulosten mukaan kuusentaimien lannoittaminen kannattaisi aloittaa varovaisesti ja suhteellisen myöhään ja pitää koko kasvukauden ajan hiukan totuttua alempana. Tämä tuottaisi taimille hyvän juuri-versosuhteen sekä riittävän sienijuurikolonisaatioasteen ja silti riittävän verson kasvun.

■ FT Sari Timonen, Helsingin yliopisto, soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos; FT Taina Pennanen Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö.  
Sähköposti sari.timonen@helsinki.fi

Ari Nikula, Ville Hallikainen,  
Risto Jalkanen, Mikko Hyppönen ja  
Kari Mäkitalo

## Pohjois-Suomen viljeltyjen mäntytaimikoiden hirvituho- riskiin vaikuttavien tekijöiden mallittaminen

Seloste artikkelista: Nikula, A., Hallikainen, V., Jalkanen, R., Hyppönen, M. & Mäkitalo, K. 2008. Modelling the factors predisposing Scots pine to moose damage in artificially regenerated sapling stands in Finnish Lapland. *Silva Fennica* 42(4): 587–603.

**H**irvi on ollut metsäpuiden taimikoissa pahin tuhonaiheuttaja 1970-luvulta lähtien. Hirvituhoja on runsaasti myös Pohjois-Suomessa, mutta toistaiseksi suurin osa hirvituhotutkimuksista koskee Etelä- ja Keski-Suomea. Aikaisempien tutkimusten tuloksista voidaan päätellä, että yksittäisten tuhoriskiinkin vaikuttavien tekijöiden lisäksi mitattuja muuttujia sekä näiden yhteisvaikutuksia on tarkasteltava mittakaavan eri tasoilla. Vaikka hirvituhoihin vaikuttavista tekijöistä onkin tehty lukuisia tutkimuksia, varsinaisia tuhojen ennustemalleja on toistaiseksi kehitetty vain muutama.

Tässä tutkimuksessa kehitettiin hirvituhojen ennustemalleja käyttäen aineistona 123 Pohjois-Suomen mäntyvaltaisesta taimikosta mitattuja muuttujia. Kustakin taimikosta mitattiin 2–8 ympyräkoelaa ( $r = 2,52$  m). Kaikkiaan mallituksessa käytettiin 508 koelaa. Taimikot oli uudistettu istuttamalla tai kylvämällä vuosina 1984–1995.

Hierarkisella logistisella regressiomallilla ennustettiin hirvien syömien viljelymäntyjen esiintymistodennäköisyyttä koelalla. Koelat jaettiin kahteen osaan sen perusteella, oliko hirvi syönyt viljelymäntyjen latvakasvaimia vai ei. Mallien selittävinä muuttujina käytettiin sekä koelalta mitattuja tietoja, kuten eri puulajien määrää ja pituutta, maalajia ja soistuneisuutta, että taimikkotasolla mitattuja muuttujia, kuten kasvupaikkatyyppejä, maanpinnan käsittelymenetelmää, lämpösomua, korkeutta merenpinnasta, hirvitiheyttä ja maaperän alkuainepitoisuuksia.

Vertailun vuoksi keskimääräinen hirvien syöminen taimien osuus taimikossa mallitettiin myös yleistettyjen lineaaristen mallien avulla ja käyttäen pelkästään taimikkotasolle keskiarvoistettuja muuttujia. Mallien tarkoituksena oli selvittää, vaikuttaako eri muuttujien taimikoiden sisäinen vaihtelu mallien ennustekykyyneen.

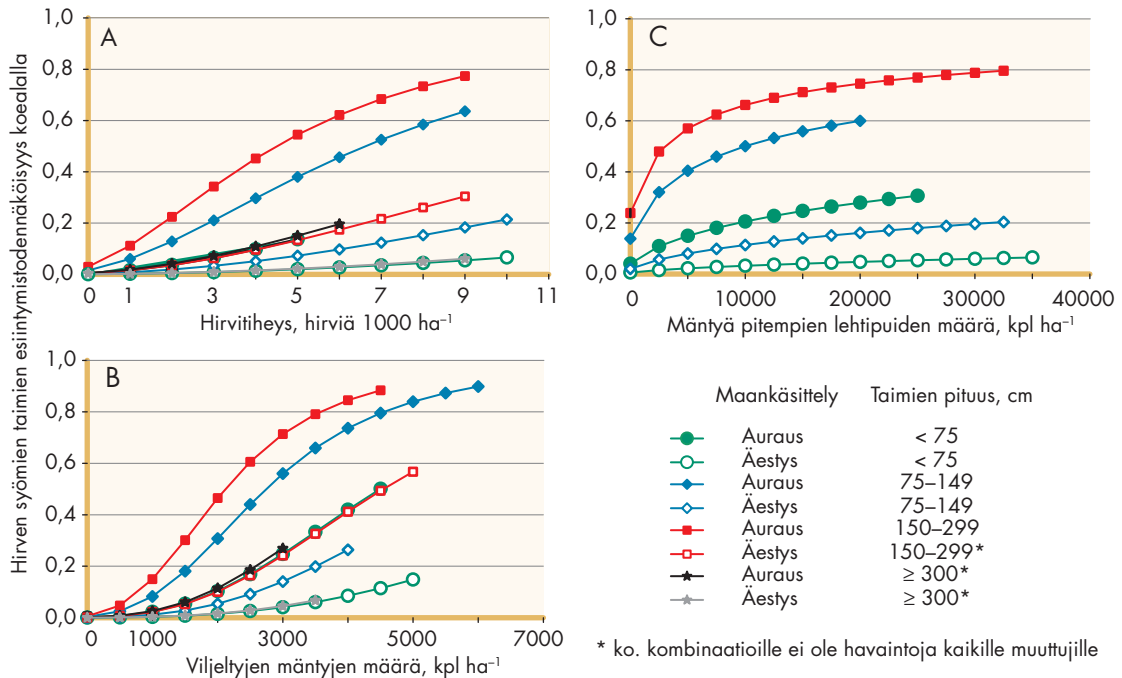
Hierarkisten logististen regressiomallien mukaan parhaiten hirven syömien mäntyjen esiintymistä koelalla ennustivat viljelymäntyjen määrä ja mäntyjä pidempien lehtipuiden määrä koelalla. Kaikkein alteimpia syönnille olivat 75–299 cm pitkät taimet. Voimakas maanpinnan käsittely, kuten auraus tai mätästys, lisäsi syöntitodennäköisyyttä verrattuna kevyempiin menetelmiin, kuten laikutukseen tai äestykseen (Kuva 1). Maalaji ei noussut malleissa merkitseväksi tekijäksi, mutta hirven syömiä taimia esiintyi vähemmän soistuneilla kuin soistumattomilla koelaloilla.

Taimikkotasoon muuttujista lämpösomua, taimikon korkeus merenpinnasta ja hirvitiheys olivat kaikki merkitseviä muuttujia malleissa. Nämä muuttujat ovat tutkimusalueella voimakkaassa korrelaatioissa keskenään, joten ainoastaan hirvitiheys ja taimikon korkeus merenpinnasta voitiin sisällyttää samaan malliin. Hirvitiheyden ja lämpösomun kasvaessa syönnin todennäköisyys kasvoi, kun se taas väheni sitä enemmän mitä korkeammalla merenpinnasta taimikko sijaitsi.

Taimikkotasoon malleissa hirvien syöntiastetta selittivät jokseenkin samat muuttujat kuin koelatasoon malleissakin. Koelaloista taimikkotasolle keskiarvoistettu mäntyjä pidempien lehtipuiden määrä ei kuitenkaan noussut merkitseväksi, mikä viittaa lehtipuiden määrän vaihteluun taimikon sisällä ja suhteessa kasvatettaviin mäntyihin.

Lehtipuiden määrä ja vaihtelevuus suhteessa kasvatettaviin mäntytaimiin tulisi jatkossa ottaa paremmin huomioon sekä tutkimuksissa että taimikonhoidossa. Mäntyjen pituiset tai ne lähiaikoina saavuttavat lehtipuut tulisi perata pois kasvatettavien puiden välittömästä läheisyydestä. Tämän ja aikaisempien tutkimusten perusteella mäntytaimikoiden perusteellinen perkaus lehtipuista ei sen sijaan ole hirvituho-riskin takia tarpeellista.

Hirvituhoaltille alueilla on metsää uudistettaessa syytä harkita istutettavien tai kylvettävien mäntyjen määrän lisäämistä nykyisestä. Syönti ei nimittäin



**Kuva 1.** Logistisella regressiomallilla lasketut hirvien syömien mäntyjen esiintymistodennäköisyydet koealalla hirviitiheyden, viljeltyjen mäntyjen määrän ja mäntyä pitempien lehtipuiden määrän mukaan. Esiintymistodennäköisyydet on laskettu erilaisille maanpinnan käsittely- ja mäntyjen pituusyhdistelmille.

lisäännä yhtä paljon kuin lisätaimimäärä, joten syömättömiä taimia jää tiheissä taimikoissa enemmän kuin harvemmissä.

■ MMM Ari Nikula, MMT Ville Hallikainen, MMT, FT Risto Jalkanen, MMT Mikko Hyppönen ja MMM Kari Mäkitalo, Metla, Rovaniemen toimintayksikkö.  
Sähköposti ari.nikula@metla.fi

Saija Huuskonen, Jari Hynynen ja Risto Ojansuu

## Nuorten männiköiden metsänhoidollinen tila

Seloste artikkelista: Huuskonen, S., Hynynen, J. & Ojansuu, R. 2008. Stand characteristics and external quality of young Scots pine stands in Finland. *Silva Fennica* 42(3): 397–412.

Metsikön nuoruusvaiheen kehitys ja silloin tehdyt hoitotoimenpiteet vaikuttavat ratkaisevasti koko kiertokauden tuotokseen ja tuottoon. Metsikön uudistamistapa vaikuttaa taimien alkukehitykseen. Taimikonhoidolla säädellään metsikön puulajisuhteita ja metsikön tiheyttä, jotka vaikuttavat puiden kasvunopeuteen ja laatuominaisuuksiin.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää nuorten 1970–1980-luvulla onnistuneesti perustettujen män-



niköiden metsänhoidollinen tila Suomessa. Metsänhoidolliseen tilaan vaikuttavat metsikön tiheys ja puiden vikaisuudet, kuten oksikkuus, mutkaisuus tai haaraisuus. Tutkimuksessa tarkasteltiin metsikön sijainnin, kasvupaikan, syntytavan ja metsänhoidon vaikutusta metsikön kehitykseen lähellä ensiharvennusvaihetta.

Tutkimus perustuu Metsäntutkimuslaitoksen laajaan koko maan talousmetsäalueen kattavaan taimikoiden inventointiaineistoon (TINKA). TINKA-kokeet on perustettu vuosina 1984–1986 ja mitattu sen jälkeen 2 kertaa, vuosina 1989–1991 ja 2000–2001. Koealat olivat ns. piilokoealoja, joten kokeen olemassaolo ei ole vaikuttanut metsikön käsittelyyn. Koealoilta mitattiin metsikön yleistunnusten lisäksi puustotunnukset kehityskelpoisista puista, eli puista joiden ajateltiin jäävän kasvamaan ensiharvennukseen asti, siis mahdollisen taimikonhoidonkin jälkeen. Tässä työssä tutkimusaineistoksi rajattiin metsiköt, joissa ei vielä oltu tehty ensiharvennusta (181 metsikköä) ja laskennassa käytettiin vuosina 2000–2001 mitattua aineistoa. Metsiköt oli perustettu luontaisesti (40 %), kylväen (18 %) tai istuttuen (42 %). Metsiköt edustivat männiköille tyypillisiä kasvupaikkoja; tuore kangas (39 %), kuivahko kangas (47 %) ja kuiva kangas (14 %).

TINKA-aineiston nuorissa männiköissä ei ollut ylitheyttä, vaan pikemminkin metsiköt olivat harvoja. Keskimäärin metsiköiden tiheys oli 1925 kasvatuskelpoista puuta hehtaarilla. 37 %:ssa tiheys jäi alle 1500 puuta hehtaarilla ja 12 %:ssa metsiköistä tiheys oli alle 1000 kasvatuskelpoista puuta hehtaarilla.

Kohtalaisen pienen tiheyden takia latvussuhde oli melko suuri: elävän latvuksen osuus oli keskimäärin 69 % puun pituudesta. Latvussuhde pieneni metsikön valtapituuden kasvaessa. Puutason tarkastelussa latvussuhde oli suurin isoimmissa läpimittaluokissa. Elävän latvuksen osuus oli suurempi Pohjois-Suomessa (pieni lämpösumma) kuin Etelä-Suomessa. Pohjois-Suomessa latvussuhde pieneni vähemmän valtapituuden kasvaessa kuin Etelä-Suomessa. Myös puiden runkomuoto vaihteli nuorissa männiköissä maantieteellisen sijainnin mukaan. Pohjois-Suomes-

sa metsikön keskiläpimitta oli suurempi samassa valtapituusvaiheessa kuin Etelä-Suomessa.

Nuorissa männiköissä oli paljon vikaisuuksia. Keskimäärin vain 54 %:ssa puuta ei ollut laatuviikoja. Eniten oli mutkaisuutta (23 %), monivikaisuutta (13 %) sekä oksaisuutta (9 %). Monivikaisuus johtui useimmiten puiden oksaisuudesta ja mutkaisuudesta. Metsikön ulkoinen laatu vaihteli puiden eri kokoluokissa. Laatuviikoja oli eniten metsikön isoimmissa puissa. Selvin ero ulkoisessa laadussa puiden eri kokoluokissa havaittiin Pohjois-Suomessa, jossa vain alle 20 %:ssa valtapuista ei ollut laatuviikoja.

Ulkoinen laatu vaihteli metsikön lämpösumman, kasvupaikkatyypin ja syntytavan mukaan. Pohjois-Suomessa (pieni lämpösumma) puissa oli enemmän oksikkuutta ja haaraisuutta kuin Etelä-Suomessa, jossa taas mutkaisuus ja monivikaisuus olivat yleisempiä laatuviikoja. Istutusmänniköissä oli enemmän laatuviikoja kuin kylvö- tai luontaisesti uudistetussa männiköissä. Vähiten vikaisuuksia oli kuivahkon kankaan männiköissä. Rehevimmillä kasvupaikoilla erityisesti oksikkaiden ja monivikaisten puiden osuudet lisääntyivät. Syntyvällä oli suurempi vaikutus oksikkuuteen ja monivikaisuuteen kuin kasvupaikalla.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että metsikön kohtalaisen pienen tiheys mahdollistaisi ensiharvennuksen viivästyttämisen hoidetuissa männiköissä, mutta samaan aikaan pieni tiheys johtaa puiden ulkoisen laadun heikkenemiseen, mm. oksien paksuus kasvaa kun puilla on enemmän kasvutilaa käytettävissä. Mikäli halutaan kasvattaa laadukasta tukkipuustoa, tulee puiden valintaan kiinnittää huomiota myös myöhemmissä kasvatushakuissa. Pohjois-Suomen pieni hyvälaatuisten valtapuiden määrä tarkoittaa käytännössä sitä, että hyvälaatuista valtapuuta ei ole tarpeeksi kasvatettavaksi kiertoajan loppuun asti.

■ MMT Saija Huuskonen, Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos; MMT Jari Hynynen ja MMT Risto Ojansuu, Metla, Vantaan toimintayksikkö.

Sähköposti: saija.huuskonen@helsinki.fi

Jaakko Repola

## Koivun biomassayhtälöt Suomessa

Seloste artikkelista: Repola, J. 2008. Biomass equations for birch in Finland. *Silva Fennica* 42(4): 605–624.

Tutkimuksessa laadittiin koivulle (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) biomassan ennustemallit, joilla voidaan ennustaa puun eri osien: rungon, kuoren, oksien (elävät ja kuolleet), lehtien sekä kannon ja juurten biomassaa (kuivamassa). Tutkimusaineisto muodostui 24 eri puolella Suomea sijaitsevista kivennäismaan metsiköistä. Aineistossa oli 20 kertakoealaa ja neljä harvennuskoetta. Kaato-koepuita oli yhteensä 127, joista kaikista määritettiin maanpäällinen biomassaa lukuunottamatta lehtibiomassaa, joka mitattiin 21 puusta. Kanto- ja juuribiomassaa mitattiin 39 koepuusta.

Biomassamallit laadittiin puun eri osille sekä maanpäälliselle että maanalaiselle kokonaisbiomassalle. Maanpäällisille puun osille laadittiin kolme erilaista biomassamallia (malliperhe) ja kanto- ja juuribiomassalle yksi. Yksinkertaisimmassa mallissa selittäjinä käytettiin puun läpimittaa ja pituutta. Yksityiskohtaisemmat mallit perustuivat pituuden ja läpimitan lisäksi yleisesti metsäninventoinnissa mitattaviin muuttujiin (latvusraja, rinnankorkeusikä, 5-vuoden sädekasvu, kuoren paksuus). Mallien perusolettamuksena oli, että puun eri osien väliset biomassasuhteet eivät ole riippumattomia. Tämä tilastollinen riippuvuus puun eri osien välillä otettiin huomioon rakentamalla biomassamalleista monivastemalli, jossa mallien parametrit estimoitiin yhtäaikaaisesti. Menetelmässä voitiin hyödyntää mallien välisiä kovariansseja tehokkaasti parametrien estimoinnissa. Monivastemallissa otettiin huomioon myös aineiston hierarkisuus estimoimalla varianssit sekä mallien virheiden väliset (satunnaisosan) kovarianssit niin metsikkö- kuin puutasolle.

Biomassamallien virheet eivät olleet riippumattomia, vaan niiden väliset korrelaatiot olivat mer-

kitseviä sekä puu- että metsikkötasolla. Näin monivastemenetelmällä saavutettiin useita etuja verrattuna menetelmään, jossa mallit oletetaan riippumattomaksi. Monivastemalleissa parametrien keskivirheet olivat pienemmät, mikä puolestaan tuotti luotettavammia ennusteita. Lisäksi monivastemalli mahdollistaa myös joustavamman ennusteiden kalibroimisen uuteen metsikköön, jos biomassaa on mitattu yhdestäkin puun eri osasta. Tällöin mittausten, mallin odotusarvon ja mallin varianssikovarianssimatriisin avulla voidaan tuottaa paras lineaarinen harhaton ennustin (BLUP) kullekin puun eri osan biomassalle. Puun maanpäällinen kokonaisbiomassaa voidaan tuottaa joko summaamalla puun osamallien ennusteet tai käyttämällä puun koko biomassaa ennustavaa mallia. Yleensä biomassamallien ongelmana on, että osamallien summasta ei saada samaa tulosta kuin koko biomassaa ennustavalla mallilla. Monivastemallit tuottivat myös tältäkin osin parempia tuloksia kuin erikseen, riippumattomina estimoidut mallit.

Laaditut monivastemallit tuottavat käyttökelpoisia ennusteita puun eri osien biomassoista laajalla alueella Suomessa. Tulokset ovat myös loogisia muihin Pohjoismaissa tehtyihin tutkimuksiin verrattuna. Tutkimusaineisto asettaa kuitenkin rajansa mallien soveltamiselle. Tutkimusaineisto ei ollut objektiivinen otos Suomen metsistä, ja aineisto rajoittui kivennäismaan metsiköihin, joten turvemailla kuten myös maan pohjoisimmassa osassa mallien käyttökelpoisuus on epävarmempaa. Tätä kasvupaikasta ja aineiston edustavuudesta aiheutuvaa harhaa voidaan kuitenkin pienentää käyttämällä aina malleja, jotka perustuivat pituuden ja läpimitan lisäksi muihin yleisesti metsien inventoineissa käytettyihin muuttujiin. Näin voidaan paremmin ottaa huomioon esim. kasvunopeuden tai puun eri dimensioiden vaikutus puun biomassaan tai puun eri osien välisiin biomassasuhteisiin.

■ MMM Jaakko Repola, Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen toimintayksikkö.

Sähköposti jaakko.repola@metla.fi



Mikko Kurttila, Pekka Leskinen,  
Jouni Pykäläinen ja Tiina Ruuskanen

## Metsänomistajien päätöstuki vapaaehtoisissa monimuotoisuuden suojeluhankkeissa

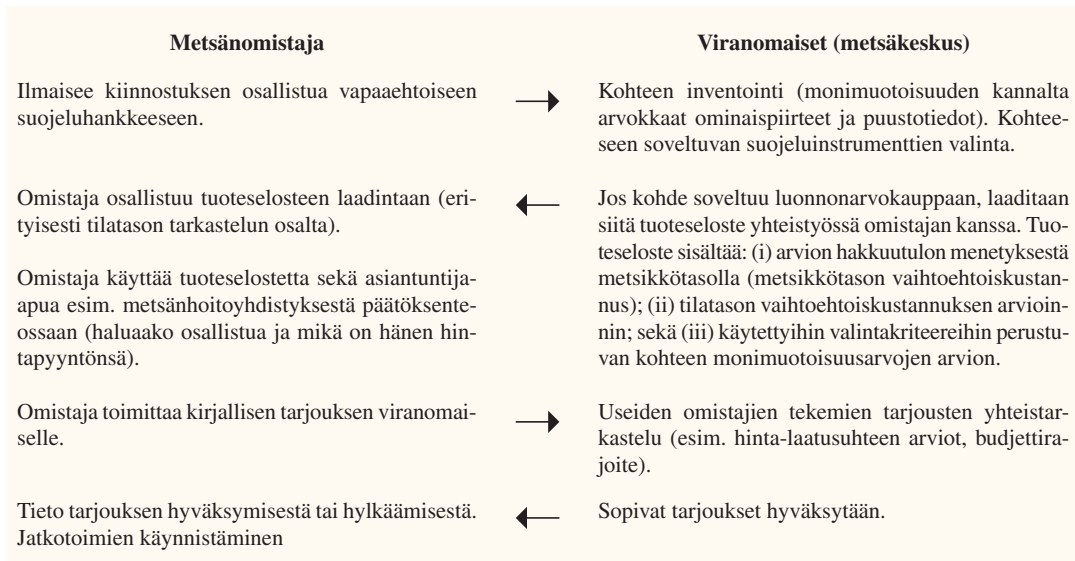
Seloste artikkelista: Kurttila, M., Leskinen, P., Pykäläinen, J. & Ruuskanen, T. 2008. Forest owners' decision support in voluntary biodiversity-protection projects. *Silva Fennica* 42(4): 643–658.

**M**etso-ohjelmassa esitetyt luonnonarvokauppa, tarjouskilpailu ja yhteistoimintaverkostot ovat uusia keinoja yksityismetsien monimuotoisuuden turvaamiseen. Näille keinoille on ominaista, että ne perustuvat metsänomistajan vapaaehtoisuuteen. Uusia keinoja testattiin pilottihankkeissa eri puolilla Suomea. Kokeilut olivat yleensä onnistuneita; erityisesti vapaaehtoisuus ja sopimusten määräaikaisuus saivat metsänomistajilta positiivista palautetta. Toisaalta uudet keinot synnyttivät sekä metsänomistajille että suojelusta päättävillä tahoille uudenlaisia päätösongelmia mm. suojelusopimusten hinnoitte-

luun ja hyväksymiseen tai hylkäämiseen liittyen.

Tässä tutkimuksessa esiteltiin kolme erilaista menetelmää, jolla tuetaan metsänomistajan päätöksentekoa vapaaehtoisessa monimuotoisuuden turvaamisessa. Menetelmillä tuotetaan metsänomistajalle tietoa mahdollisen suojelukohteen laadusta, suojelun aiheuttamasta metsikkötason vaihtoehtokustannuksesta (puuntuotannollisesta tappiosta) sekä suojelun aiheuttamasta tilatason vaihtoehtokustannuksesta. Omistaja voi käyttää näitä tietoja päätöstukenä muodostaessaan kantaansa monimuotoisuuden suojelun korvaustasosta omalla kohteellaan. Tiedot ovat hyödyllisiä myös tilanteessa, jossa suojeluviranomainen on esittänyt tietynsuuruista suojelukorvausta metsänomistajalle. Tutkimuksessa esitellyt menetelmiä testattiin viidellä Keski-Karjalan lehtoverkostohankkeeseen osallistuneella tilalla. Lehtoverkostohankkeessa käytetty suojelukohteiden valintaprosessi on esitetty kuvassa 1.

Metsikkötason vaihtoehtokustannus määrittää sen taloudellisen menetyksen, jonka kuvion hakkuun siirtäminen esim. kymmenellä vuodella aiheuttaa. Tutkimuksessa tämä menetys arvioitiin v-arvon avulla. V-arvo ilmaisee vaihtoehtoiseen sijoituskohteeseen verrattuna sen voiton tai tappion, joka syntyy kun metsikköä kasvatetaan vielä vuosi. Se



**Kuva 1.** Pohjois-Karjalan lehtoverkostohankkeessa käytetty suojelukohteen valintaprosessi.

lasketaan vähentämällä puuston vuotuisesta arvokasvusta metsään sitoutuneen pääoman (puuston arvo ja maan arvo) kustannus omistajan määrittämällä korkokannalla. Pelkästään taloudellisten tekijöiden näkökulmasta sopimuksen tekeminen on järkevää, mikäli suojelusta saatava vuotuinen korvaus on yhtä suuri tai suurempi kuin metsänomistajan asettamalla korkokannalla laskettu negatiivinen v-arvo. Korvaustasoa mietittäessä olisi kuitenkin syytä ottaa huomioon myös riskit ja mahdolliset puun hintojen muutokset, jotka joissakin tilanteissa voivat merkittävästikin vaikuttaa metsikön puuston hakkuuarvoon.

Tilatason vaihtoehtokustannuksen laskenta perustuu omistajan tilatason hyötymallin sekä optimointimenetelmien käyttöön. Metsikkökohtaisessa vaihtoehtokustannuksessa omistajan suojelusta kokema tappio mitattiin euroina, kun taas tilatason vaihtoehtokustannus arvioidaan omistajan metsistään saaman kokonaishyödyn muutoksena. Käytännössä kyse on tietyn alueen (esimerkiksi yksittäisen metsikkökuvion) suojelun vuoksi supistuneiden koko tilan tuotantomahdollisuuksien kompensoinnista suojelukorvauksella, joka tuottaa omistajalle täsmälleen samansuuruisen kokonaishyödyn kuin omistaja olisi saanut ilman kyseisen alueen suojelua (esimerkiksi myymällä puut). Tilatason vaihtoehtokustannus on usein hyvin pieni tiloilla, joilla on paljon hakkuumahdollisuuksia ja/tai tiloilla, joilla hakkuumahdollisuuksia ei tarkastelujakson aikana hyödynnetä täysimääräisesti.

Suojelukohteen laadun arviointi perustui tutkimuksessa Metso-ohjelman toimenpiteitä varten laadittuihin luonnonsuojelubiologisiin kriteereihin ja niiden soveltamiseen. Kriteerien perusteella laadittiin asiantuntijamalli, johon syötettiin asiantun-

tijan määrittämät kohteen ominaisuustiedot. Malli tuottaa monimuotoisuuskohteen hyvyysarvon (prioriteetin), joka ei kuitenkaan sellaisenaan ole hyödyllinen yksittäiselle maanomistajalle. Tämä johtuu siitä, ettei numeerisella hyvyysarvolla ole omistajan näkökulmasta selkeää vertailukohtaa. Tämän vuoksi hyvyysarvot luokiteltiin viiteen tähtiluokkaan. Esimerkiksi monimuotoisuuden kannalta heikko alue sai yhden tähden ja ideaalinen kohde sai viisi tähteä. Tähdityksen lisäksi kohteen monimuotoisuusarvoa kuvailtiin metsänomistajalle myös sanallisesti. Menetelmää käytettiin varsinkin laajassa mittakaavassa Keski-Karjalan lehtokeskusalueen pilottihankkeessa, jossa se tunnettiin nimellä Metsätähti-malli.

Metso-ohjelman laajentuessa koko maahan tultaneen tässä tutkimuksessa esitetyn kaltaisia menetelmiä ja laskentasovelluksia tarvitsemaan eri puolilla maata sijaitsevien erilaisten suojelukohteiden hyvyden ja niiden aiheuttamien metsikkö- ja tilatason vaihtoehtokustannusten arvioinnissa. Luontevin tapa monimuotoisuustarkasteluille sekä erityisesti tässä tutkimuksessa esitetyjen sovellusten käytölle on normaali tilatason metsäsunnitteluprosessi, jossa muutenkin tarkastellaan monipuolisesti tilan metsien käyttöä ja tuotantomahdollisuuksia. Tarvittavat muutokset monipuolistaisivat nykyisiä metsäsunnittelukäytäntöjä ja toisivat aidosti mukaan omistajan tavoitteisiin pohjautuvat monimuotoisuus- ja monikäyttötarkastelut.

■ Prof. Mikko Kurttila, MMT Jouni Pykäläinen ja MMM Tiina Ruuskanen, Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta; prof. Pekka Leskinen, Suomen ympäristökeskus. Sähköposti Mikko.Kurttila@joensuu.fi

Maarit Raivonen

## UV-säteilyn aiheuttamat reaktiivisten typpiyhdisteiden emissiot männyn oksien kaasunvaihtoa mittaavissa kammioissa: niiden alkuperä ja merkitys

Seloste väitöskirjasta: Raivonen, M. 2008. UV-induced NO<sub>y</sub> emissions in gas-exchange chambers enclosing Scots pine shoots: an analysis on their origin and significance. *Dissertationes Forestales* 71. <http://www.metla.fi/dissertationes/df71.htm>

**H**apettuneiden reaktiivisten typpiyhdisteiden (NO<sub>y</sub>) lähteet ja nielut ilmakehässä tulisi tuntea hyvin, koska typpiyhdisteillä on merkittävä vaikutus alailmakehän kemiaan ja ekosysteemien rehevöitymiseen. Eräs kaasumaisten typpiyhdisteiden taseen tuntematon osatekijä on kasvillisuus. Kasvit ottavat typpiyhdisteitä ilmasta ilmarakojensa kautta (depositio), mutta ei tiedetä varmasti, voiko kasveista myös vapautua niitä (emissio) kasvia ympäröivän ilman NO<sub>y</sub>-pitoisuuden ollessa matala. Pitoisuusrajaa, jolla depositio vaihtuu emissioksi, kutsutaan kompensatiopisteeksi. Mahdolliset NO<sub>y</sub>-emissiot kasveista ovat pieniä ja vuot hankalia mitattava.

Hyttiälän SMEAR II-mittausasemalla (Station for Measuring the Forest Ecosystem-Atmosphere Relations) havaittiin mahdollinen yhteys auringon UV-säteilyn ja männyn NO<sub>y</sub>-vuon välillä: kun UV-säteily pääsi männynversojen kaasunvaihtoa mittaaviin kammioihin, NO<sub>y</sub>-emissiot kammioissa lisääntyivät selvästi. Ilmiö havaittiin tyhjässäkin kammiossa, mutta emissiota vaikutti tapahtuvan myös männyn versoista. Väitöskirjatutkimuksen tarkoitus oli analysoida tätä täysin uutta havaintoa. Tarkemmin tavoitteena oli:

1. arvioida SMEAR II-asemalla käytettyä NO<sub>y</sub>-vuon mittausjärjestelmää ja sillä tuotetun aineiston luotettavuutta,
2. tarkastella UV-säteilyn aiheuttaman NO<sub>y</sub>-emission

3. määrittää männyn NO<sub>y</sub>-emissioiden suuruus ja niiden merkitys kasveille ja ilmakehälle.

Tutkimusmenetelminä käytettiin sekä mittauksia että mallitusta. Männynoksin kaasunvaihtoa mitattiin kammio menetelmällä SMEAR II-asemalla. Mittaukset tehtiin luonnonolosuhteissa, joten ilman NO<sub>y</sub>-pitoisuudet olivat yleensä hyvin pieniä, alle 1 ppb. UV-säteilyn vaikutusta tutkittiin suodattamalla UV-aallonpituudet pois kammioihin menevästä auringon säteilystä akryylilasilla. NO<sub>y</sub>-yhdisteet ovat reaktiivisia ja reagoivat muun muassa kammioiden seinämien kanssa. Siksi mittauksissa oli otettava huomioon myös kammioiden seinämille menevä tai sieltä lähtevä NO<sub>y</sub>-vuo. Tätä systemaattista mittausvirhettä arvioitiin mittaamalla vuota myös tyhjiissä kammioissa, ja tarkastelemalla, mistä tekijöistä vuon suuruus niissä riippuu. Männyn versojen osuutta kammioissa havaittuihin kokonaisemissioihin pyrittiin selvittämään mittaamalla, paljonko emissiot vähenevät, kun versot poistetaan kammioista.

Emissioiden taustalla olevista prosesseista todennäköisimpinä pidettiin neulasten pinnoille laskeutuneen nitraatin tai typpihapon (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> tai HNO<sub>3</sub>) hajoamista UV-valossa. Tätä mahdollisuutta tutkittiin mm. määrittämällä nitraatin määriä versoilla ja testaamalla, vaikuttaako versojen puhdistaminen emissioiden suuruuteen.

Kasvien kaasunvaihdon tutkituimmat NO<sub>y</sub>-yhdisteet ovat olleet typpidioksidi NO<sub>2</sub> ja typpioksidi NO (yhteensä NO<sub>x</sub>). Havaittujen UV-säteilyn aiheuttamien emissioiden merkitystä männyn NO<sub>x</sub>-vaihdossa analysoitiin mallilla, joka kuvasi verson NO<sub>y</sub>-emissioita ja NO<sub>y</sub>:n absorptiota. Mallilla arvioitiin erityisesti kompensatiopisteen vaihtelua.

Työssä havaittiin, että NO<sub>y</sub>-yhdisteitä vapautui mittakammioiden sisäpinnoilta. Emissiot tyhjiissä kammioissa voivat olla samaa suuruusluokkaa kuin niissä kammioissa, joissa oli männyn verso sisällä. Emissiot riippuivat lineaarisesti UV-A-säteilyn voimakkuudesta, ja ne lisääntyivät vähitellen aina kammion sisäpintoja peittäneen Teflon-kalvon uusimisen jälkeen. Ilmeisesti siis pintojen likaantuminen lisäsi emissioita. Todettiin, että pieniä pitoisuuksia ja voita mitattaessa nämä kammion seiniltä tulevat emissiot täytyy pyrkiä minimoimaan ja sen jälkeenkin määrittää huolellisesti, jotta mittauksista

voi päätellä jotain myös itse puun toiminnasta.

Kun männyn versot poistettiin kammioista, havaitut kokonaisemissiot vähenivät, ja kasvoivat taas kun versot palautettiin kammioihin. Tämä tapahtui kuitenkin vain silloin, kun UV-säteily pääsi kammioon. Tästä pääteltiin, että myös versoista tapahtuu  $\text{NO}_y$ -emissioita, ja nekin riippuvat UV-säteilystä.  $\text{NO}_y$ -emissiot olivat suurimmillaan noin  $0,06 \text{ nmol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$  verson kokonaispinta-alaa kohti laskettuna.

Työssä arvioitiin UV-säteilyn aiheuttaman  $\text{NO}_y$ -emission taustalla olevia mahdollisia prosesseja. Koska tyhjiin kammioiden emissiot olivat samankaltaiset kuin oksien, pintareaktio neulasilla vaikutti todennäköisemmältä kuin jokin kasvin aineenvaihduntaan liittyvä prosessi. Neulasten pinnoille laskeutuneen  $\text{NO}_3^-$ :n hajoaminen valossa saattoi aiheuttaa havaitut emissiot. Mittaukset tukivat tätä hypoteesia. UV-säteily aiheutti emissioita kuolleesta männyn oksasta, joka oli käsitelty nitraatilla, mutta ei puhtaasta oksasta. Lisäksi SMEAR II- asemalla yli kesän mitatut  $\text{NO}_y$ -emissiot kasvoivat tasaisesti kammiossa, jossa oksan annettiin olla koskemattomana, mutta pysyivät matalina kammiossa, jossa oksa huuhdottiin säännöllisesti vedellä. Jos emissio syntyy  $\text{NO}_3^-$ :n fotolyysissa, emissiot ilmeisesti koostuisivat lähinnä typpidioksidista ( $\text{NO}_2$ ), typpidioksidista ( $\text{NO}$ ) ja typpihapokkeesta ( $\text{HONO}$ ).

Männyn  $\text{NO}_y$ -vaihtoa kuvannut malli ennusti, että mikäli emissioita – UV-säteilyn aiheuttamia tai muita – tapahtuu, männyn toimivat pikemminkin  $\text{NO}_x$ :n lähteenä kuin nieluna jopa suhteellisen korkeissa ilman  $\text{NO}_x$ -pitoisuuksissa. Aiemmin kompensatiopisteenä on pidetty noin 1 ppb:n pitoisuutta, mutta meidän arviomme mukaan kompensatiopiste voi olla selvästi korkeampikin.

Johtopäätöksinä todettiin, että mikäli emissiot olisivat niin suuret kuin mittauksissa havaittiin, ne olisivat maailmanlaajuisesti merkittävä reaktiivisen tyypin lähde ilmakehään. Toistaiseksi tutkittu ilmiö on kuitenkin huonosti tunnettu, ja lisää tutkimuksia tarvitaan ennen kuin sen globaalia merkitystä voidaan arvioida. Se tulisi kuitenkin ottaa huomioon kasvien  $\text{NO}_y$ -voita tutkittaessa. Säteilyn aiheuttamat pintailmiöt kammioissa ovat merkittävä virhelähde mitattaessa matalissa pitoisuuksissa. Myös  $\text{NO}_y$ -emissiot kasvien lehdistä häiritsevät mittaustulosten tulkin-taa, jos on tarkoitus tutkia kasvin fysiologiaa ja kaa-

sunvaihtoa. Jos sen sijaan tutkitaan koko kasvuston roolia ilman  $\text{NO}_y$ -taseessa, pintareaktiot ovat yksi vuohon vaikuttavista prosesseista, ja ne täytyy määrittää ja ottaa huomioon.

■ MMM (väit.) Maarit Raivonen, Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos, Ilmakehätieteiden ja geofysiikan osasto.  
Sähköposti maarit.raivonen@helsinki.fi

Tommi Räisänen

## Ilmastonmuutoksen ja metsänhoidon vaikutukset männyn monoterpeenipäästöihin ja neulasten sekundääriyhdisteisiin

Seloste väitöskirjasta: Räisänen, T. 2008. Impacts of climate change and forest management on monoterpene emission and needle secondary compounds of Boreal Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Dissertationes Forestales 72.

<http://www.metla.fi/dissertationes/df72.htm>

**B**oreaalisen metsävyöhykkeen kasvillisuus erittää ilmaan merkittäviä määriä eloperäisiä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä kuten monoterpeenejä. Nämä hiilivedyt ovat kasvien sekundääriseen eli toissijaiseen aineenvaihdunnan tuotteita. Sekundääriyhdisteet ovat monimuotoinen ryhmä orgaanisia yhdisteitä, jotka eivät suoraan liity kasvien kasvuun tai kehitykseen. Monien ekologisten tehtäviensä ohella kasvillisuuden erittämällä monoterpeeneillä on merkittävä vaikutus alailmakehän fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet reagoivat ilmakehän hapettavien yhdisteiden kanssa vaikuttaen muun muassa alailmakehän otsonin määrään ja toisaalta myös orgaanisten aerosolien eli pienhiukkasten muodostumiseen. Tämän tutkimuksen tavoitteina oli selvittää männyn monoterpeenipäästöjen suuruus metsikkö- ja puutasolla sekä metsänhakuun ja ennustetun ilmastonmuutoksen vaikutuksia männyn ilmakehään erittämien monoterpeenien määrään. Koska pääasiallinen päästölähde männyllä ovat neulasvarastot, osaltaan

tutkimus käsitteli myös ilmastonmuutoksen eli kohotetun hiilidioksidin ja lämpötilan vaikutuksia neulasten sekundääriyhdisteiden (mukaan lukien monoterpeenien) kertymiseen.

Mäntymetsikön monoterpeenivuo kasvukauden aikana määritettiin Ilomantsin Huhuksessa sijaitsevalla koealueella käyttäen mikrometeorologista menetelmää koko ekosysteemin vuon mittaamiseen. Tämän n. 50-vuotiaan männikön latvuston yläpuolelta mitattiin ilman monoterpeenipitoisuutta neljän vuorokauden mittausjaksoissa kesän (kesäkuu–syyskuu) ajan, jolloin yhdessä monien mitattujen säätekijöiden kanssa voitiin laskea noin 800 m halkaisijaltaan olevan alueen monoterpeenivuo. Tämän lisäksi alueelta valittiin kuusi edustavaa puuyksilöä, joiden latvustosta tehtiin oksatason päästömittauksia puiden latvuston päästöjen määrittämiseksi vastaavasti koko kesän ajan. Mittauksia hyödynnettiin edelleen päästöjen laskennassa koko kasvukauden ajalle päästömallin avulla. Metsänhakuun vaikutuksia ilman monoterpeenipitoisuuden tutkittiin Joensuun yliopiston Mekrijärven tutkimusaseman läheisyydessä olevalla mäntymetsällä kolmella koealalla (läpimitaltaan 25 m), joista yksi avohakattiin ja kaksi harvennettiin eri voimakkuuksilla kesäkuun alussa. Hakkuussa syntynyt biomassa ainespuu mukaan lukien jätettiin koealoille mittausten ajaksi. Aloilta haihtuneiden monoterpeenien pitoisuuksia ilmassa mitattiin noin kolmen kuukauden ajan hakkuiden jälkeen 2–4 vuorokauden mittausjaksoissa kunkin käsitellyn alan keskeltä ja lisäksi vertailupohjaksi pitoisuuksia mitattiin koskemattomasta metsästä. Kohotetun hiilidioksidipitoisuuden ja lämpötilan vaikutuksia männyn monoterpeenipäästöihin ja neulasten sekundääriyhdisteiden kertymiseen tutkittiin puolestaan Mekrijärven tutkimusaseman läheisyydessä kasvihuonekokeissa kasvaneilla männyn taimilla. Neljässä eri hiilidioksidipitoisuuden ja lämpötilan yhdistelmässä kasvaneiden 16 puun (4 kussakin käsittelyssä) päästöjä sekä neulasten sekundääriyhdisteiden määriä mitattiin kahden kasvukauden aikana. Monoterpeenipäästöjä mitattiin koppien sisältä automaattisilla keräimillä kahden vuorokauden jaksoissa. Sekundääriyhdisteiden määrittämiseksi neulasnäytteitä kerättiin kolmena ajankohtana kunkin kasvukauden aikana. Käytetyt käsittelyt olivat 1) vallitseva hiilidioksidipitoisuus ja lämpötila, 2) kohotettu hiilidioksidipitoisuus ja

vallitseva lämpötila, 3) vallitseva hiilidioksidipitoisuus ja kohotettu lämpötila ja 4) kohotettu hiilidioksidipitoisuus ja lämpötila. Kohotettu hiilidioksidipitoisuus oli kaksinkertainen vallitsevaan verrattuna eli n. 700 ppm, kohotettu lämpötila puolestaan oli tehty vastaamaan alueelle ennustettua ilmastoskenaariota siten, että lämpötila oli kohotettu ympäröivään lämpötilaan verrattuna 2 °C kesällä, 4 °C syksyllä ja keväällä sekä 6 °C talvella.

Ilomantsin Huhuksessa mitatun mäntymetsän kokonaismonoterpeenivuo oli mallilaskennan perusteella kesä-syyskuun välisenä aikana noin 5 kg ha<sup>-1</sup>, josta suurin osa oli puuston latvuston päästöjä. Suurimmat päästöt tapahtuivat heinäkuun aikana samanaikaisesti korkeimpien lämpötilojen kanssa. Avohakuun ja myös harvennushakkuiden havaittiin lisäävän merkittävästi mäntymetsikköilman monoterpeenipitoisuutta. Pitoisuus kasvoi avohakuun jälkeen kaksi–kolme kertaa suuremmaksi noin kahden kuukauden ajaksi käsittelemättömään metsään verrattuna. Mittausjakson lopussa, noin kolme kuukautta hakkuiden jälkeen, merkittäviä eroja koealojen välillä ei enää esiintynyt. Merkittävin selittävä tekijä pitoisuuden kasvulle oli hakkuutähte eli hakkuualalle normaalisti jätettävä puubiomassa. Hakkuutähteestä vapautuvien monoterpeenien määrä kasvoi hakkuutähteen lämpötilan noustessa, joka puolestaan oli riippuvainen käsitellyn alan muuttuneesta pienilmastosta. Harvennetuille aloille jätettävä puusto voi epäsuorasti varjostuksellaan vaikuttaa monoterpeenien haihtumiseen alalle jääneestä biomassasta siten, että hakkuutähteen lämpötila ei nouse yhtä paljon kuin avohakatulla alalla. Koska puiden latvuston havaittiin tuottavan suurimman osan metsikkötason monoterpeenivuosta, puuston osittainen tai täydellinen poistaminen vähentää käsiteltyjen alueiden kokonaispäästömäärää pitkällä aikavälillä monoterpeenejä erittävän elävän biomassan vähenemisen vuoksi. Tutkimuksessa havaittu hakkuun aiheuttama merkittävä monoterpeenipitoisuuden lisäys antaa viitteitä metsänhoidon paikallisesta tai jopa alueellisesta vaikutuksesta alailmakehän kemiaan.

Kohotettu hiilidioksidipitoisuus ja lämpötila yhdessä lisäsi merkittävästi männyn erittämien monoterpeenien määrää. Vaikutusta ei havaittu pelkän lämpötilan kohottamisen seurauksena ja pelkkä hiilidioksidipitoisuuden nostaminen lisäsi päästöjä vain hieman. Neulasten sekundääriyhdisteiden reakti-



tiot hiilidioksidin ja lämpötilan kohotukseen olivat puolestaan hyvin vaihtelevia ja riippuvaisia eri yhdisteiden ominaisuuksista, kasvun vaiheesta ja neulasten iästä. Yleisesti ottaen muuttuneiden kasvuolosuhteiden seurauksena lisääntyneet monoterpeenipäästöt näyttivät kuluttavan neulasten monoterpeenivarastoja, koska neulasten monoterpeenipitoisuus pieneni kohotetussa hiilidioksidissa ja lämpötilassa kasvaneilla männyllä, kun vastaavasti päästömäärä näillä puilla kasvoi.

■ MMM (väit.) Tommi Räisänen, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta.  
Sähköposti [tommi.raisanen@joensuu.fi](mailto:tommi.raisanen@joensuu.fi)

Harri Hautala

## Häiriö borealisessa kuusimetsässä – kasvillisuusrakenteiden palautuminen metsikkötasolta aluskasvillisuustasolle

Seloste väitöskirjasta: Hautala, Harri. Disturbance in boreal spruce forest – immediate dynamics from stand to understory level. *Dissertationes Forestales* 74.  
<http://www.metla.fi/dissertationes/df74.htm>

Väitöskirjassa tarkastellaan kahden ihmistoiminnan aiheuttaman häiriön; (1) säästöpuuhakkuun (ryhmillä) ja sen yhteydessä toteutetun äestyksen sekä (2) aluskasvillisuuskerrosten (kenttä-, pohja- ja humuskerrokset) kokeellisen poiston lyhytaikaisia (1–5 vuotta) vaikutuksia boreaalisten metsiköiden kasvillisuusrakenteiden palautumiseen Suomessa.

Säästöpuuhakkuu on nykyisin voimakkaasti yleistyvä ja ympäristöystävällisemmäksi tarkoitettu hakkuuvaihtoehto, jossa puustoa jätetään hakkualueelle (yksittäin tai ryhmissä) tarkoituksena samalla säilyttää ja ylläpitää osia metsän alkuperäisestä ympäristöstä ja sen eliöstöstä. Koska hakkuutavan oletetaan parantavan metsän rakenteellisen ja lajistollisen monimuotoisuuden säilymistä verrattuna avohak-

kuuseen, säästöpuuhakkuu voisi olla ekologisessa ja ekonomisessa mielessä paras hakkuuvaihtoehto esimerkiksi Etelä-Suomen tasaikäisissä ja -rakenteisissa talousmetsissä. Menetelmän todelliset vaikutukset kasvillisuusrakenteiden säilymiseen ja ylläpitoon säästöpuuryhmissä ovat kuitenkin yhä laajalta osin tuntemattomia. Myös säästöpuuryhmien kokoon, myrskynkestävyyteen ja siihen, minne ne pitäisi sijoittaa, liittyy vielä ratkaisemattomia kysymyksiä. Hakkualueiden äestys säästöpuuhakkuun yhteydessä taas on nykyisin yleinen toimenpide, jolla parannetaan mm. taimien kasvua. Myös tämän menetelmän vaikutukset lahoppuun ja epiksyllikasvillisuuden säilymiseen ovat vielä selvittämättä.

Kontrolloidun aluskasvillisuuskerrosten poistokokeen avulla voidaan havainnollistaa esimerkiksi herbivorian, tallauksen ja metsäkoneiden tuottamien pienialaisten häiriöiden eri voimakkuustasoja. Tämmäntyyppiset häiriöt ovat yleistyneet suuresti viime aikoina muun muassa porolaidunnuksen, metsien virkistyskäytön ja metsätalouden lisääntymisen ja laaja-alaisten luonnollisten häiriöiden, kuten metsäpalojen vähentymisen myötä. Kuitenkin kasvumuoto- ja lajikohtainen tietämys kasvillisuuden valtalajien palautumisesta häiriöstä on vielä hyvin vähäistä. Lisäksi ei ole olemassa tietoa siitä, miten palautuminen tapahtuu, jos häiriö kohdistetaan eri kasvillisuuskerroksiin ja niiden yhdistelmiin.

Säästöpuuhakkuun ja äestyksen vaikutuksia tutkittiin Heinävedellä eteläsuomalaisessa talousmetsässä kahdella eri biotoopilla: 1. alueella vallitsevalla tuoreen kankaan kuusikkobiotoopilla (mustikkatyppi MT) sekä pienialaisemmalla soistuneella kuusikkobiotoopilla (sisältäen soistunut mustikkatyppi MTs, mustikkakorpi MK ja kangaskorpi KgK). Säästöpuuryhmien paikat määritettiin biotooppikartoituksessa kerätystä aineistosta tehdyn GNMDS-ordinaation avulla. Valitut biotoopit erosivat toisistaan mm. lahoppumäärän suhteen (soistunut: 15,6 m<sup>3</sup>/ha; vallitseva 2,2 m<sup>3</sup>/ha). Säästöpuuryhmien (11 kpl soistuneella ja 8 kpl vallitsevalla biotoopilla) koko vaihteli 0,03 hehtaarin ja 0,55 hehtaarin välillä ja oli noin 10 kertaa suurempi kuin nykyisessä metsätalouskäytännössä.

Säästöpuuryhmiä laskettiin tuulenkaadot puulaiveittain ja vuosittain. Ennen hakkuita, tulevista säästöpuuryhmiä ja hakkualueilta valittiin maalaho-  
puurunkoja niin, että saavutettiin luonnonmukainen



puulajijakauma ja tasainen lahoastejakauma. Runkojen tilavuus mitattiin ja niiden lahoaste arvioitiin ennen ja jälkeen hakkuun sekä äestuksen. Samoille maalahopuungoille perustetuilta näytealoilta tutkittiin myös vuosittain epiksylikasvillisuuden prosentteittävyydet ja lajimäärät. Pysyvät näytealat (200 cm<sup>2</sup>) merkattiin nauloilla niin, että runkoa kohden oli 6–15 kappaletta näytealoja. Näytealat sijaitsivat kolmen sarjona (yksi päällä, kaksi molemmilla sivuilla) rungon eri osissa. Tutkimuksessa oli mukana 112 maalahopuurunkoa. Säästöpuuryhmätutkimus toteutettiin vuosien 1998 ja 2001 välillä.

Välittömästi hakkuista seuraavana vuonna tuulenkaatojen määrä nousi soistuneella biotoopilla 7 % ja vallitsevalla biotoopilla 2 %. Tuulenkaatojen määrä lisäytyi tilastollisesti merkitsevästi 2–3 vuotta hakuiden jälkeen: Viimeiseen tutkimusvuoteen mennessä tuulenkaatoja oli syntynyt enemmän soistuneen (47 %) kuin tuoreen (13 %) biotoopin säästöpuuryhmiin. Osa säästöpuuryhmistä oli tällöin kaatunut käytännöllisesti katsoen kokonaan. Koetulokset viittaavat myös siihen suuntaan, että säästöpuuryhmän koon kasvaessa vastaavasti tuulenkaatojen suhteellinen määrä vähenee.

Hakkuun jälkeen löydettyjen maalahopuurunkojen tilavuudesta katosi 8 % hakkuualueilta, kun taas äestämisen jälkeen vastaavasti 68 %. Suurin hävikki kohdistui pitkälle lahonneisiin lehtipuurunkoihin. Lisäksi noin kolmannelle alkuperäisistä maalahopuungoista ei löydetty lainkaan eli ne olivat todennäköisesti hautautuneet maahan tai tuhoutuneet kokonaan. Jos tämä määrä lisätään hakkuun ja äestämisen jälkeen hävinneeseen lahopuuhun, tilavuuspoistuma olisi 81 %. Säästöpuuryhmissä maalahopuurunkojen tilavuus pieneni tutkimusjakson aikana 20 %. Tämä johtui pääasiassa siitä, että maalahopuurunkoja murskaantui tuulen kaatamien puiden alla.

Vuoden kuluttua hakkuista epiksylikasvillisuuden peittävyysprosentti ja erityisesti lajimäärä lasivat tilastollisesti merkitsevästi sekä hakkuualoilla että säästöpuuryhmissä (lehtisammalten peittävyys –28 %; maksasammalten lajimäärä –30 %). Kahden vuoden kuluttua peittävyysprosenttien lasku jatkui hakkuualoilla, mutta taitui säästöpuuryhmissä, kun taas lajimäärät jatkoivat edelleen laskuaan kaikkialla. Säästöpuuryhmän koon kasvu korreloi positiivisesti epiksylien lajimäärän, mutta ei peittävyuden kanssa.

Koska kasvillisuuden alkuperäisrakenteet näyttävät säilyneen paremmin tutkimuksen säästöpuuryhmissä kuin hakkuualoilla, nykyistä käytäntöä suurempien säästöpuuryhmien jättäminen soistuneelle kuusikolle voisi olla ekologisesti ajateltuna suositeltavaa. Tällöin olisi mahdollista taata paremmin myös lahopuureservin (myös tuulenkaadoissa syntyvän) ja siitä riippuvaisen eliöstön jatkumo metsän uudistusvaiheen aikana. Hakkuualojen äestämisen taas voisi korvata jollain pistemuokkausmenetelmällä, jolloin suurempi määrä alkuperäistä lahopuuta olisi mahdollista säilyttää myös hakkuualoilla. Tällöin lahopuuta olisi tarjolla siitä riippuvaiselle eliöstölle myös säästöpuuryhmien välisillä alueilla uudistusvaiheen aikana.

Aluskasvillisuuskerrosten kokeellinen poisto toteutettiin vanhassa metsässä, Oulangan kansallispuistossa Kuusamossa. Aluskasvillisuuden poisto toteutettiin kenttä-, pohja- ja humuskerrosten, sekä niiden yhdistelmien poistona. Tarkoitus oli havainnollistaa näillä häiriön voimakkuuden lisääntymistä. Erityisesti vaikutusta palautumiseen oletettiin olevan kasvilajien kasvumuodoilla sekä lisääntymiselinten, kuten maavarsien ja siemenpankin poistumisella häiriön yhteydessä. Kasvillisuus poistettiin tutkimusmetsikköön merkatuilla 0,5 m<sup>2</sup> neliöruuduilta häiriön kasvavan voimakkuuden mukaan seuraavasti: (a) kontrolli, (b) pohjakerroksen poisto, (c) kenttäkerroksen poisto, (d) kenttä- ja pohjakerroksen poisto ja (e) kenttä-, pohja- ja humuskerroksen poisto. Kasvillisuuden palautumista ruuduille seurattiin yhteisö- ja valtalajitasolla vuosien 1994 ja 1999 välillä. Kasvillisuudesta mitattiin pistefrekvenssimenetelmällä prosentteittävyydet, lajimäärät ja aivan kokeen alussa myös valtalajien, mustikan (*Vaccinium myrtillus*) sekä puolukan (*Vaccinium vitis-idaea*) versomäärät ja niiden kasvu. Koe sisälsi myös kylvön, jossa alueelta kerättyjä mustikan ja puolukan siemeniä kylvettiin puoleen poistoruuduista. Tällä oli tarkoitus havainnollistaa sementaimien lisääntymismahdollisuuksia häiriön eri voimakkuuksilla.

Metsänpohjan aluskasvillisuusyhteisö palautui kontrollin tasolle keskimäärin noin neljässä vuodessa käsittelyillä, joissa humuskerros jätettiin paikalleen. Palautuminen tapahtui pääasiassa kenttäkerroksen valtalajien kasvullisena lisääntymisenä. Lajimäärät palautuivat suhteellisesti nopeam-

min kuin peittävyys. Kaikkein voimakkaimmalla käsittelyllä, jossa kasvillisuus poistettiin mineraalimaakerrokseen asti, palautuminen käynnistyi pelkästään suvullisesti. Viisi vuotta käsittelyn jälkeen 62 % tämän käsittelyn ruutujen kasvillisuudesta koostui heinistä. Kokeen nopeimmat palautujat olivat mustikan ja puolukan ohella esim. metsäkerrossammal (*Hylocomium splendens*) ja seinäsammal (*Pleurozium schreberi*). Palautunut kasvillisuusyhteisö koostui pelkästään metsän alkuperäisistä lajeista.

Valtalajit mustikka ja puolukka palautuivat poistokäsittelyistä kontrollin tasolle keskimäärin noin neljässä vuodessa. Pelkästään kenttäkerroksen poiston jälkeen puolukan peittävyys palautui vuodessa ja mustikan neljässä vuodessa. Häiriön voimakkuuden lisääntyessä (poislukien voimakkain käsittely) molempien lajien versojen tuotto lisääntyi. Mustikka palautui pääasiallisesti kuitenkin kasvattamalla uusia versoja, kun taas puolukka palautui edellistä lajia nopeammin lisäten pääasiassa versojen pituuskasvua. Kokeellinen siemenkylvö tuotti suurimman tiheyden voimakkaimmalla käsittelyllä, jolle syntyi vuodessa 149 siementainta per m<sup>2</sup> kun kylvämättömällä syntyi 6 siementainta per m<sup>2</sup>. Siementaimien talvikuolleisuus oli huomattavan korkea voimakkaimmalla poistokäsittelyllä.

Aluskasvillisuuskerrosten palautuminen häiriöstä näyttää kokeiden perusteella riippuvan suoraan häiriön voimakkuudesta. Voimakkuudeltaan lievän häiriön (kuten tallauksen tai herbivorian aiheuttaman) jälkeen metsänpohjan kasvillisuuden palautuminen tapahtuu pääasiallisesti valtalajien kasvullisena lisääntymisenä. Voimakas häiriö, joka poistaa kaiken kasvillisuuden (kuten metsätaloustoimien aiheuttama), taas voi viivästyttää kasvillisuuden palautumista vuosilla, toisaalta samalla erityisesti valtalajien suvullisen lisääntymisen mahdollisuudet paranevat.

■ FT Harri Hautala, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö. Sähköposti [harri.hautala@metla.fi](mailto:harri.hautala@metla.fi)