

Sylvain Jutras, Hannu Hökkä,  
Virpi Alenius ja Hannu Salminen

## Yksittäisten puiden kuolemismallit ojitusalueiden kasvupaikoille

Seloste artikkelista: Jutras, S., Hökkä, H., Alenius, V. & Salminen, H. 2003. Modeling mortality of individual trees in drained peatland sites in Finland. *Silva Fennica* 37(2): 235–251.

Tutkimuksessa laadittiin mallit, joilla ennustetaan ojitusalueilla kasvavien mäntyjen ja hieskoivujen kuolemistodennäköisyyttä tulevan viiden vuoden aikana. Tutkimusaineistona käytettiin 7. valtakunnan metsien inventoinnin turvemaan koealoihin perustuvaa pysyvien SINKA-koealojen aineistoa, joka käsitti puhtaita männiköitä ja hieskoivikoita sekä näiden puulajien sekametsiköitä Keski- ja Pohjois-Suomesta. Kuolleisuus määritettiin koealojen kahden peräkkäisen mittauksen perusteella. Aineistossa männyn keskimääräinen kuolleisuus oli 2,73 % runkoluvusta ja koivun 2,89 %.

Mallien selittäjiä valittaessa käytettiin apuna askeltavaa logistista regressiota. Lopulliset mallit estimoitiin yleistettyinä lineaarisina sekamalleina, jolloin oli mahdollista ottaa huomioon aineiston hierarkkinen rakenne sekä saada harhattomasti estimoitua mallien parametrit ja niiden keskivirheet. Malleissa kummankin puulajin kuolleisuutta lisäsivät puun pieni koko (läpimitta) ja heikko kilpailu-asema (puuta suurempien puiden yhteisen pohjapinta-alan ja metsikön pohjapinta-alan suhde) ja metsikön korkea tiheys (pohjapinta-ala). Lisäksi puuston koivuvaltaisuus lisäsi männyn kuolleisuutta mutta mäntyvaltaisuus vähensi koivun kuolleisuutta. Myös kasvupaikkaluokka vaikutti merkitsevästi. Metsikön kunnostusojitustarve tai mahdollinen kasvupaikan uudelleensoistuminen eivät vaikuttaneet kuolleisuuteen.

Mallien harhaa tarkasteltiin mallitusaineiston lisäksi riippumattomassa testiaineistossa, joka muodostettiin suometsien harvennuskokeista. Tarkastelun perusteella valittiin mallit, joissa kasvupaikkaluokka ei ollut mukana, koska tekijä aiheutti harhaa ennusteisiin. Valitut mallit liitettiin Motti-simulaattoriin, jolla simuloitiin lähtötilanteen osalta erilaisen metsiköiden (männikkö, koivikko, sekametsikkö) kehitystä 100 vuotta eteenpäin. Uusilla malleilla ennustettu männyn kuolleisuus runkoluvusta oli 100 vuoden aikana enimmillään 72 % (48 runkoa) ja koivun 66 % (192 runkoa) suurempi kuin vanhoilla malleilla ennustettu kuolleisuus. Vastaavasti pohjapinta-alan kuolleisuus oli männyllä enimmillään 60 % (4,54 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) ja koivulla 45 % (6,12 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) suurempi kuin vanhoilla malleilla ennustettu. Uudet mallit tulevat parantamaan suometsien kehitysennusteiden luotettavuutta.

■ For. Ing. Sylvain Jutras, Université Laval, Ste-Foy, Québec; MMT Hannu Hökkä, FM Virpi Alenius, MMM Hannu Salminen, Metla, Rovaniemen tutkimusasema. Sähköposti hannu.hokka@metla.fi

Oili Kiikkilä

## Raskasmetallit ja saastuneen metsämaan kunnostaminen Harjavallan kupari-nikkelisulaton liepeillä

Seloste artikkelista: Kiikkilä, O. 2003. Heavy-metal pollution and remediation of forest soil around the Harjavalta Cu-Ni smelter, in SW Finland. *Silva Fennica* 37(3): 399–415.

Artikkelissa tarkastellaan julkaistujen tutkimusten perusteella Harjavallan kupari-nikke-

lisulaton raskasmetallilaskeuman vaikutusta metsäekosysteemiin sekä tutkittuja maaperän kunnostustoimenpiteitä. Kuparia, sinkkiä, nikkeliä, lyijyä, arseenia ja rikkiä on levinnyt ympäristöön Harjavallan kupari-nikkelisulatosta vuodesta 1945 alkaen. Raskasmetallilaskeumaa ja sen vaikutuksia metsäekosysteemiin on tutkittu Harjavallassa paljon. Sulatto sijaitsee harjulla, jolla metsätyyppi on VT tai CT. Raskasmetallilaskeuma on kohonnut 30 km:n päässä sulatosta. Vähäisiä muutoksia kasvillisuudessa on havaittu 8 km:n päässä sulatosta. Selkeitä muutoksia ekosysteemin toiminnassa on havaittu noin 4 km:n etäisyydellä, missä on havaittu kasvillisuuden, hyönteisten, lintujen ja maaperän mikrobien lajistomuutoksia ja puiden kasvun on todettu hidastuneen. Vakavia vaurioita ekosysteemin toiminnassa on havaittu noin 1 km:n etäisyydellä sulatosta.

Pahiten saastuneella alueella 0,5–1 km:n etäisyydellä sulatosta ekosysteemin toiminta on häiriintynyt. Eniten ekosysteemiin on kerääntynyt kuparia, joka on suurelta osin sitoutunut humuskerrokseen. Humuskerroksen kokonaiskuparipitoisuus on korkea, 5 800 mg kg<sup>-1</sup> kuiva-ainetta. Sinkki on liikkuva aine eikä näytä kerääntyvän erityisesti mihinkään osaan ekosysteemissä. Ravinteiden kierto on selkeästi hidastunut, mikä näkyy humuskerroksen muuttuneessa rakenteessa ja hajoamattomana karikkeena, jota on kerääntynyt humuksen pinnalle 6–8 cm:n kerros. Vain lajit jotka sietävät hyvin raskasmetalleja selviytyvät, mutta kasvavat hitaasti. Kasveja raskasmetalleja sietävät parhaiten variksenmarja, sianpuolukka ja juolukka. Kasvit jotka selviytyvät saastuneessa maassa eivät kuitenkaan lisääny. Epifyyttikälät puuttuvat 4 km:n ja metsäsammalet alkavat yleistyä vasta 8 km:n päässä sulatosta. Sulaton lähellä selviää raskasmetalleja sietävä maaperän mikrobiyhteisö, jonka aktiivisuus kuitenkin on alhainen. Monet hyönteiset kärsivät raskasmetalleista vaikka niiden aiheuttamat metsätuhotkin ovat yleisiä sulaton lähellä. Kirjosieppo ja talitiainen menestyvät huonosti sulaton läheisyydessä koska ravinnon raskasmetallipitoisuus on korkea.

Raskasmetallilaskeuma alentui merkittävästi 1990-luvun aikana. Raskasmetallien aiheuttamat muutokset ekosysteemissä näyttävät olevan jossain määrin palautuvia laskeuman alentuessa tai kunnostustoimenpiteiden seurauksena. Kalkituksen ansiosta puiden kasvu lisääntyi ja niiden puolustus-

mekanismit parantuivat. Kattaminen orgaanisella aineella lisäsi mikrobiaktiivisuutta saastuneessa humuskerroksessa.

■ MMT Oili Kiikkilä, Metla, Vantaan tutkimuskeskus. Sähköposti oili.kiikkila@metla.fi

Janne Levula, Hannu Ilvesniemi ja Carl Johan Westman

## Maan ominaisuuksien ja puulajikoostumuksen suhde eteläsuomalaisessa mänty-kuusimetsässä

Seloste artikkelista: Levula, J., Ilvesniemi, H. & Westman, C.J. 2003. Relation between soil properties and tree species composition in a Scots pine–Norway spruce stand in southern Finland. *Silva Fennica* 37(2): 205–218.

**M**änty- ja kuusimaat ovat lähtemättömästi vakiintuneita käsitteitä suomalaisessa metsäsanastossa – mäntymaat ovat männyn kasvupaikkoja ja kuusimaat vastaavasti kuusen. Käsitteiden määrittely perustuu kuitenkin kehäpäätelmään ja niitä mielletään sen johdosta hyvinkin vaihtelevasti. Epämääräisyys näkyy sekä tieteellisissä julkaisuissa että käytännön metsänhoidossa koko viime vuosisadan ajalta tähän päivään saakka. Esim. 1970-luvulla männyn pinta-alaosuus metsänuudistamisessa kohosi 72:sta 86 prosenttiin ja kuusen osuus laski 27:sta 12 prosenttiin. 1980- ja 1990-luvuilla kehitys kääntyi kuitenkin päinvastaiseksi ja vuonna 1994 männyn pinta-alaosuus metsänuudistamisessa oli enää 64 ja kuusen osuus oli kohonnut 25 prosenttiin. Suoritepinta-alojen vuosittainen vaihtelu ei ole mitenkään suhteessa metsien luonnolliseen puulajijakaumaan tai eri metsätyyppien esiintymiseen.

Tässä tutkimuksessa maan ominaisuuksien ja puulajikoostumuksen suhdetta tutkittiin luontaisesti syntyneessä, noin 135 vuotta vanhassa mänty-kuusimetsässä Ruovedellä. Tutkimusmetsikkö oli loivasti etelään viettävä rinne ja kooltaan noin 0,4 ha. Metsikön maalaji oli pääosin lajittunutta hienoa hiekkaa

(keskirakoko 0,43 mm) ja maannos kauttaaltaan rautapodsoli. Metsätyyppi vaihteli *Vaccinium*-tyypistä *Oxalis-Myrtillus*-tyyppiin.

Metsän puulajikoostumus määritettiin avohakuun jälkeen lukemalla koko alueelta kannot ja mittaamalla niiden läpimita. Kantoläpimitasta laskettiin kunkin puun pohjapinta-ala rinnankorkeudelta regressiofunktioilla.

Maan ominaisuuksien kuvaamiseksi alalta kerättiin systemaattisesti 72 profiilinäytettä, joista kuvattiin maannos, mitattiin maannoshorisonteittain maan lajitekoostumus, orgaanisen hiilen määrä sekä happamaan ammoniumoksalaattiin uuttuva rauta ja alumiini. Kunkin havaintopisteen maalajin kuvaamiseen käytettiin keskiraekokoa, hiesupitoisuutta (0,002–0,02 mm), hienoainepitoisuutta (< 0,06 mm) ja karkean aineksen pitoisuutta (0,6–20 mm). Maannostunnuksista tutkimuksessa käytettiin humuskerroksen paksuutta sekä huuhtoutumis- ja rikastumiskerrosten väriä punaisuusindeksinä ilmaisuna. Kivennäismaan ylimmän 20 cm:n veden varastoisuus laskettiin maan lajitekoostumuksen, sekä orgaanisen hiilen ja raudan ja alumiinin oksidien pitoisuuksien perusteella.

Maan ominaisuuksien ja puulajikoostumuksen metsikkötason spatiaalisen vaihtelun selvittämiseksi jokaisen puun ja maanäytepisteen paikka paikannettiin kolmiulotteisessa koordinaatistossa. Paikkatietojen ja mittahavaintojen avulla muodostettiin vuoroin kaikista yksittäisistä maan ominaisuuksista koko metsikön alaa peittävä ominaisuuspisteverkosto. Verkoston havainnot saatiin interpoloimalla havaittuja arvoja kriging-menetelmällä. Ennen interpolointia kullekin ominaisuudelle laskettiin semivariogrammi spatiaalisen autokorrelaatorakenteen selvittämiseksi. Semivariogrammien parametrejä käytettiin hyväksi kriging-interpoloinnissa. Seuraavaksi metsikkö osoitettiin kunkin havaitun maan ominaisuuden spatiaalisen rakenteen mukaan 3–7 luokkaan. Luokkien lukumäärä riippui erottuvien luokkien homogeenisuudesta: pienempään luokkamäärään tyydyttiin kun metsikkö muutoin pirstoutui liian pieniin tai hajanaisiin ositteisiin. Tarkasteltavan ominaisuuden luokkaraja-arvojen isobaarikäy-

rät muodostivat luokkien spatiaaliset rajat. Lopuksi laskettiin puiden sijainnin perusteella maan ominaisuusluokittain tutkimusmetsikön jokaisen ositteen mänty-kuusi pohjapinta-alasuhde (PPA<sub>mä/ku</sub>). Tämän jälkeen tutkittiin PPA<sub>mä/ku</sub> suhdetta eri maan ominaisuusluokissa.

Pohjapinta-alasuhde kasvoi merkitsevästi sekä maan keskiraekoon että karkean aineen osuuden kasvaessa. Pohjapinta-alasuhde sai arvon yksi, eli valtapuulaji vaihtui kuusesta mänyksi keskiraekooilla 0,44 mm ja karkea-aineosuudella 50 %.

Maan hienoainepitoisuuden, vedenvarastoisuuden, värin (punaisuusindeksi) ja humuskerroksen kerroksen paksuuden spatiaalinen satunnaisvaihtelu oli suurta ja siksi tutkimusmetsikkö voitiin näiden ominaisuuksien perusteella osittaa vain kolmeen osaan: pienestä luokkamäärästä johtuen PPA<sub>mä/ku</sub> suhdetta vastaaviin maan ominaisuuksiin ei voitu testata tilastollisesti. Näissä luokituksissa pohjapinta-ala suhde oli kuitenkin pienin luokissa joissa oli eniten hienoainesta tai hiesua, tai missä maan vedenvarastoisuus oli suurin. Maannostunnuksista huuhtoutumiskerroksen punaisuus korreloi positiivisesti pohjapinta-alasuhteen kanssa, mutta vastaavaa riippuvuutta ei ollut havaittavissa rikastumiskerroksen punaisuuden suhteen. Humuskerroksen paksuudella ei ollut vaikutusta metsikön puulajikoostumukseen.

Tulokset osoittavat, että lajittuneilla mailla Etelä-Suomessa mänty on luontaisesti kuusta kilpailukykyisempi, kun maan keskiraekoko ylittää 0,44 mm ja karkean hiekan ja soran yhteisosa on suurempi kuin 50 %. Näin ollen metsän uudistamista kuuselle ei voi suositella ainakaan tätä karkeammille lajittuneille mailla. Toisaalta männyn luontainen uudistaminen saattaa vaikeutua lajittuneillakin *Vaccinium*-tyypin mailla, jos maalajin keskiraekoko on lähellä hienon hiekan alarajaa (0,2 mm).

■ MMM Janne Levula, Helsingin yliopisto, Hyttälän metsäasema; dos. Hannu Ilvesniemi, prof. Carl Johan Westman, Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos. Sähköposti [janne.levula@helsinki.fi](mailto:janne.levula@helsinki.fi)