

Juha-Pekka Hotanen, Matti Maltamo ja Antti Reinikainen

## Suometsien kerroksellisuus-rakenne Suomessa

Seloste artikkelista: Hotanen, J.-P., Maltamo, M. & Reinikainen, A. 2006. Canopy stratification in peatland forests in Finland. *Silva Fennica* 40(1): 53–82.

Suomessa, jossa metsäojitettuja turvemaita on tällä hetkellä noin 5 milj. ha ja jossa 4,2 milj. ha:n ojitamattomasta suoalasta 2,6 milj. ha on korpia ja rämeitä, kysymykset suometsien erityisominaisuuksista ovat varsin keskeisiä. Valtaosa suometsäekosysteemeistämme on edelleen nopeassa ja jatkuvan muutoksen tilassa ojituksen seurauksena. Uusia metsikkö- ja puustorakenteiden kuvaustapoja on kehitettävä mm. metsien uudistamisen ja varsinkin biodiversiteetin arvioinnin ja hoidon tarpeisiin.

Vuosina 1985–86 perustettiin valtakunnan metsien inventoinnissa yli 3 000 pysyvää näytealaa maahamme. Niillä suoritettiin monipuolisia ekologisia mittauksia ja arviointeja. Yksityiskohtaisten puustomittausten lisäksi aloilla oli mahdollisuus testata yksinkertaisia menetelmiä mm. metsikön rakenteen kuvaamiseen ekstensiivisiä inventointeja ja kartoituksia varten. Näillä näytealoilla rakenne määritettiin puu- ja pensaslajien latvuspeittävyysinä eri latvuserroksissa. Mittaukset ja havainnot toistettiin vuonna 1995.

Tutkimuksen tarkoitus oli kuvata ja verrata puu- ja pensaskasvillisuutta eri ravinteisuusluokissa ja ojitussukessiovaiheissa korvissa ( $n=268$ ) ja rämeillä ( $n=628$ ) em. pysyvillä näytealoilla vuonna 1995. Latvuspeittävyys perustuvaa kerroksellisuusrakennetta verrattiin vastaavaan, puiden pohjapinta-aloilla laskettuun rakenteeseen. Puuston läpimittajakauman keskimääräistä vaihteluväliä tarkasteltiin

yllä mainituissa ositteissa. Suometsien kerroksellisuutta ja lajilukumäärää verrattiin myös kivennäismaiden metsien ( $n=1725$ ) vastaaviin lukuihin eri ravinteisuusluokissa.

Käytetyt latvuserrokset olivat ylispuu-, valta-puu-, välipuu-, aluspuu- ja alikasvoskerros sekä pensaskerros. Lajipeittävyudet arvioitiin visuaalisesti latvusten projektiopeittävyysinä (%). Korrelaatioanalyysillä tarkasteltiin eri latvuserrosten välisiä yhteyksiä sekä peittävyuden että lajilukumäärän suhteen kuin myös peittävyysien ja lajimäärien riippuvuutta tehoisasta lämpösummasta. Ravinteisuusluokan ja ojitussukessiovaiheen vaikutusta em. vastemuuttujiin tutkittiin varianssianalyysin avulla; mittausta edeltäneen 10-vuotijakson hakuaita käytettiin kolmantena selittävänä tekijänä ja tehoisaa lämpösummaa kovariaattina.

Peittävyysien väliset korrelaatiot eri latvuserrosten välillä olivat yleensä positiivisia, joskin heikkoja, varsinkin korvissa. Selvästi korkeimmat arvot olivat välipuu- ja aluspuukerroksen välillä niin korvissa ( $r=+0,37$ ) kuin rämeilläkin ( $r=+0,38$ ). Toisin sanoen, jos toinen näistä kerroksista oli vahva, niin usein myös toinen. Lajilukumäärä käyttäytyi lähes vastaavasti, selvästi vahvimmat riippuvuudet olivat väli- ja aluspuiden välillä: korvet  $r=+0,42$ , rämeet  $r=+0,46$ .

Tehoisa lämpösomma korreloi yleensä positiivisesti, muttei kovin vahvasti eri latvuserrosten peittävyysien ja lajimäärien kanssa. Varianssimallien mukaan lämpösomma vaikutti kuitenkin useimmiten merkittävästi eri latvuserrosten peittävyysiin ja lajilukumääriin: metsät harvenevat kohti pohjoista, ja monet puu- ja pensaslajit kasvavat vain Etelä- ja Keski-Suomessa. Rämeillä lämpösumman kasvu lisäsi vain alikasvos- ja pensaskerroksen lajimäärää.

Ravinteisuuden ja ojitussukessiovaiheen vaikutukset eri latvuserroksiin olivat rämeillä korpia voimakkaammat. Rämeillä ravinteisuusgradientti on pitempi kuin korvissa käsittäen koko skaalan eutrofiasta (ravinteisuusluokka I) ombrotrofiaan

(V–VI). Niillä on yleensä myös korpia enemmän potentiaalista vapaata kasvutilaa. Ojitus lisäksikin rämeillä sekä lajipeittävyttä että lajimäärää eri latvuserroksissa (ml. pensaskerros). Korvissa ojitusvaikutus suuntautui erityisesti vallitsevan kerroksen ja välipuukerroksen peittävyden kasvuun. Ravinteisuusluokalla ja ojitusvaiheella ei ollut korvissa merkitsevää vaikutusta lajilukumääriin. Korvissa vaikutukset ilmenevät lähinnä vain lajien runsaussuhteiden muutoksina tai lajien vaihtumisena toisiin lajeihin.

Hakkuut vähensivät vallitsevan kerroksen ja välipuukerroksen peittävyttä ja lajilukumääriä molemmissa päätyypiryhmissä. Myös puuston läpimittajakauman keskimääräinen vaihteluväli kaventui hakkuiden seurauksena.

Vallitseva latvuserros oli (muihin latvuserroksiin nähden) kivennäismaiden metsissä jossain määrin dominoivampi kuin suometsissä. Suometsien pensaskerros, etenkin mesotrofisissa (ruohoisissa) (II) ja meso-oligotrofisissa (III) korvissa, oli peittävämpi kuin vastaavissa kivennäismaiden metsissä. Kuitenkin ravinteikkaissa, hakkuukypsissä mineraalimaiden metsissä yhteenlaskettu alikasvos- ja pensaskerros oli runsaampi kuin suometsissä keskimäärin.

Lajilukumäärä ei poikennut korprien ja kivennäismaametsien välillä millään ravinteisuustasolla. Rämeillä lajilukumäärä oli yleensä vastaavia kivennäismaametsiä pienempi. Mesotrofisilla (II) kasvupaikoilla ei kuitenkaan eroja todettu. Koska monet yleiset lehtipuulajit (esim. harmaaleppä, rauduskoivu, haapa, pihlaja) suosivat mineraalimaiden kasvupaikkoja, on todennäköistä, että rämeiden lajiversiteetti ei saavuta vastaavien kivennäismaiden tasoa vielä pitkään aikaan huolimatta metsäojituksen rakenteellista diversiteettiä lisäävästä vaikutuksesta.

Kahden kuvasarjan perusteella, joista ensimmäinen perustui eri latvuserrosten keskimääräisiin peittävyyslukuihin ja toinen runkojen pohjapinta-aloihin, näytti siltä, että niin kerrosten kuin lajien runsaussuhteet vastasivat melko hyvin toisiaan. Kuitenkin puustokerrosten kokonaispeittävyden ja -pohjapinta-alan välinen korrelaatio oli rämeillä  $r = +0,70$  ja korvissa vain  $r = +0,45$ . Tämä johtuu mm. siitä, että latvusten ja rungon läpimittojen suhde muuttuu metsikön kehittyessä nuorista vanhoihin metsiin eri tavoin erilaisissa kasvuoloissa (kasvupaikka, metsikön tiheys), ja vielä eri tavoin eri

puulajeilla. Latvuston sulkeutuessa pohjapinta-ala jatkaa vielä kasvuaan, ja sulkeutuneet latvustilanteet ovat korvissa yleisempiä kuin rämeillä. Osasyynä voivat olla myös subjektiiviset erot peittävyksien arvioinnissa, mitä kuitenkin koulutuksella ja ryhmien keskinäisillä vertailuilla pyrittiin vähentämään. Lisäksi osasyynä lienee se, että pienten puiden ( $dbh_{1,3} \leq 10,5$  cm) pohjapinta-alojen mittauksessa käytettiin yhden aarin koelakokoa kun taas peittävyksien arvioinnissa koko kolmen aarin alaa, vaikkakin tulokset yleistettiin samalle pinta-alalle.

Ravinteisuusluokalla ja ojitusmenetelmällä oli merkitsevä vaikutus vain rämepeustojen läpimittajakauman keskimääräiseen vaihteluväliin. Lajimäärän (ja peittävyden) lisäksi myös tällä tunnuksella ilmaistuna ojitus lisäsi rämepeustojen heterogeenisuutta. Muuttumien ja erityisesti turvekankaiden arvot olivat korkeammat kuin ojittamattomien soiden ja ojikoiden. Korvissakin turvekankaiden arvot olivat niukasti korkeimmat, mutta eivät tilastollisesti merkitsevästi. Lämpösumman vaikutus oli merkitsevä molemmissa päätyypiryhmissä, korvissa vahvemmin kuin rämeillä.

■ FL Juha-Pekka Hotanen, Metla, Joensuun yksikkö; MMT Matti Maltamo, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta; FL Antti Reinikainen, Metla, Vantaan yksikkö. Sähköposti juha-pekka.hotanen@metla.fi

Ilkka Korpela

## Ilmakuvista ja laserkeilausaineistosta rakennettu geometrialtaan tarkka aikasarja metsän historian kartoittamiseen

Seloste artikkelista: Korpela, I. 2006. Geometrically accurate time series of archived aerial images and airborne lidar data in a forest environment. *Silva Fennica* 40(1): 109–126.

**E**nsimmäiset ilmakuvaukset Suomessa ovat 1920-luvulta. Alkuun kuvattiin ensisijaisesti perus-

kartoitusta varten, mutta myöhemmin myös muihin suunnittelutehtäviin. Ilmakuville on taltioitunut valtava määrä yksityiskohtaista muutostietoa, ja käytännössä kaikki filmimateriaali on taltioituna kuva-arkistoissa, joista aineistoa voi tiedustella ja saada käyttöönsä digitaalisessa muodossa. Metsän muutosten tulkintaan ilmakuvilla on etunsa: ajallinen kattavuus ja spatiaalinen yksityiskohtaisuus ovat ylivoimaisia suhteessa muihin kaukokartoitusaineistoihin, minkä lisäksi analyysit voidaan tehdä kolmiulotteisesti. Topografian kartoitukseen on saatu viime vuosina ylivoimaisen tehokas menetelmä, laserkeilaus. Pinnanmuodot eivät muutu samassa tahdissa kuin kasvillisuus, ja metsän historian rekonstruoinnissa voidaan yhdistää ilmakehän aikasarjat ja moderni laserkeilaus, jolla kartoitetaan topografia. Työn tavoitteena oli tutkia, millä edellytyksillä ilmakehän kuvamateriaalista voidaan muodostaa geometrialtaan tarkka aikasarja ja yhdistää se laserkeilausaineistoon. Tärkeä osatavoite oli tutkia, voidaanko aikasarja laatia ilman kalliita maastopisteitä hyödyntäen uusinta ilmakehän tekniikkaa, jossa suoralla georeferoinnilla, käyttäen satelliittipaikanus- ja inertiaalihavaintoja, tuotetaan tieto kameran paikasta ja asennosta kuvanottohetkellä. Tämä geometrinen tieto siirretään vanhoille kuville.

Koe tehtiin Pirkanmaalla 12×17 km:n alueella 288 ilmakehän avulla, jotka kattoivat ajanjakson 1962–2004. Maastossa oli käytettävissä geodeettisia tukipisteitä, itse RTK-GPS-mittauksella mitattuja tukipisteitä sekä edellisistä vaaittuja korkeuspisteitä. Kilometrin korkeudelta lentokoneesta tehty laserkeilaus oli elokuulta 2004.

Kuvien ns. orientointituntemattomat, eli kameroiden sijainti ja kallistukset kuvanottohetkellä, ratkaistiin sädekimpputasoituksella (ilmakolmiointi). Siinä hyödynnettiin painotetun pienimmän neliösumman estimointitekniikkaa, jonka avulla tasoitukseen saatiin mukaan tuki- ja liitospisteitä koskevien kuvahavaintojen lisäksi suoralla georeferoinnilla havaitut tuntemattomien likiarvot, jotka oli saatu uusimpien kuvien mukana. Vanhojen kuvien geometrian ratkaisemiseksi kuvilta mitattiin pisteitä, joiden uskottiin pysyneen paikallaan kuvaottoajankohtien välillä. Tutkimuksessa sovellettiin kolmiulotteisen liikkumattomuuden periaatetta yli ajan mitatuille liitospisteille eikä huomioitu esimerkiksi maankohoamista, joka vuosivälillä 1962–2004 on noin 0,3 m

tutkimusalueella, ja voitaisiin huomioida tutkimuksessa kuvatulla tekniikalla.

Tulokset osoittivat, että tarkka geometria voidaan ratkaista ajassa taaksepäin käyttäen yli ajan mitattuja liitospisteitä. Ratkaisu ei muuttunut juurikaan, vaikka kolmiointissa nojaututtiin ainoastaan uusimpien kuvien suoraan georeferointiin jättäen kaikki maastotukipisteet pois. Ilmakuvilta tehdyt mittaukset osoittautuivat täsmällisiksi, liitospisteiden keskivirheet olivat 0,1 m XY-tasossa ja 0,3 m Z:lle. Koko havaintomassan v. 1962–2004 absoluuttinen tarkkuus jäi osin epäselväksi, sillä käytettyjen geodeettisten pisteiden korkeustarkkuus osoittautui huonoksi johtuen havaintotekniikasta: Vaikutuksen sijaan korkeus oli saatu tähyshavainnoista trigonometrisesti 1960- ja 1970-luvun mittauksissa. Tätä ilmensi havaittu 0,3 m:n systemaattinen ero maanpinnan korkeudessa fotogrammetristen ja laserkeilaushavaintojen välillä. Systemaattinen ero voidaan varmentaa ja poistaa tarkoilla ja nopeilla VRS-GPS (Virtual Reference System) -mittauksilla, jotka eivät vaadi erityisosaamista. Laserkeilauksen yhteensopivuus fotogrammetristen havaintojen kanssa varmennettiin käyttäen tasomaisia kohteita ja niissä esiintyviä epäjatkavuuskohtia. Tähän käytettiin rakennusten katon reunoja, kattorakenteita sekä lampien nevaruonoja, jotka näkyivät sekä kuvilla että laserpisteaineistossa. Eri havaintojen geometrinen yhteensopivuus oli 0,5 metriä tai tarkempaa.

Kuvatulla tekniikalla voidaan rakentaa aikasarja kolmiulotteisten havaintojen keräämiseksi metsästä. Kuvilta voidaan seurata esimerkiksi yksittäisiä puita, ajoittaa ja tehdä päätelmiä hakkuista sekä metsänhoitotoimenpiteistä, luottaen siihen, että eri ajankohtien kolmiulotteiset havainnot on tehty tarkasti samassa koordinaatistossa. Joissakin tapauksissa saadaan käsitys edellisestä puusukupolvesta. Samoin vanhoilta kuvilta voidaan mitata automaattisesti maaston korkeusmalli, jos metsikkökuvio näkyy avohakattuna jollakin kuvaparilla. Kuvatun tekniikan soveltaminen edellyttää, että ilmakehältä voidaan osoittaa yli ajan mitattavia pisteitä, joiden XYZ-, XY- ja/tai Z-koordinaatit ovat pysyneet paikallaan tai muuttuneet tunnetulla tavalla.

■ MMT Ilkka Korpela, Helsingin yliopisto, metsävarojen käytön laitos. Sähköposti ilkka.korpela@helsinki.fi

Saara Lilja ja Timo Kuuluvainen

## Vanhan mäntymetsän rakenne maantieteellisellä ja ihmisen vaikutuksen gradientilla Fennoskandian keskiborealisella kasvillisuusvyöhykkeellä

Seloste artikkelista: Lilja, S. & Kuuluvainen T. 2005. Structure of old *Pinus sylvestris* dominated forest stands along a geographic and human impact gradient in mid-boreal Fennoscandia. *Silva Fennica* 39(3): 407–428.

Metsän sukkessio ja erilaiset häiriöt, kuten tuli ja tuuli vaikuttavat metsän rakenteisiin. Juuri rakenteellisen vaihtelevuuden on todettu olevan tärkeää luonnon monimuotoisuudelle. Metsiä on käytetty Fennoskandiassa satojen vuosien ajan eri tavoin, metsiä on kaskettu ja poimintahakattu ja viimeiseksi alettu käyttää intensiivisemmin talousmetseinä. Ihmisen toiminta on muokannut metsien rakennetta eikä esimerkiksi luontaisilla häiriöillä ole enää niin suurta vaikutusta kuin aikaisemmin.

Tutkimuksessa selvitettiin metsän rakennepiirteitä vanhoissa mäntyvaltaisissa metsissä kolmella eri alueella, jotka erosivat toisistaan ihmistoiminnan keskon ja intensiteetin suhteen: 1) Hämeessä eteläisessä Suomessa, jossa metsien käytön historia on hyvin pitkä, 2) Kuhmossa itäisessä Suomessa, jossa metsien intensiivisempi käyttö on alkanut myöhemmin, ja 3) Vienansalossa Venäjällä, jossa metsämaaisemaa hallitsevat vielä laajat luonnontilaisen kaltaiset metsät. Jokaisella alueella koealat jaettiin kolmeen eri ihmisvaikutusluokkaan: i) luonnontilaisen kaltaiset metsät, ii) harsintakaudella poimintahakattut metsät (mutta sen jälkeen itseksensä kehittyneet), ja iii) talousmetsät, joita on harvennettu. Vienansalossa ei esiintynyt talousmetsiä.

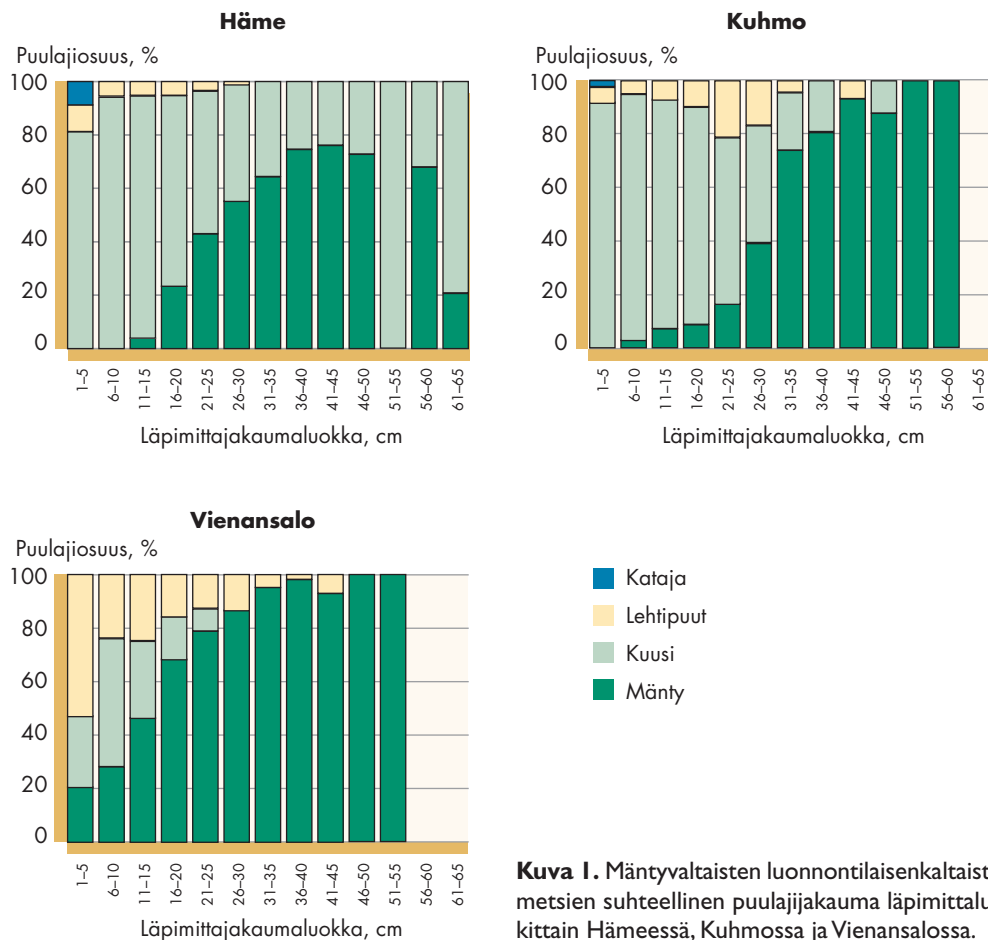
Elävän puuston rakenne tutkittiin yhteensä 116 metsiköstä. Metsiköiden valintakriteereinä käytettiin männyn vallitsevaa osuutta elävän puuston tilavuudessa, valtamäntyjen vähintään 90 vuoden ikää (usein metsät olivat huomattavasti vanhempia) ja lisäksi metsikön vähintään yli 3 ha:n pinta-alaa. Metsiköihin satunnaisesti sijoitetuilta koealoilta

(20 m × 100 m) mitattiin elävän puuston tunnuksesta puun läpimitta, pituus ja ikä. Lisäksi kirjattiin elävien runkojen rakenteelliset monimuotoisuuspiirteet, kuten esimerkiksi oliko runko taipunut tai murtunut tai oliko siinä palokoro.

Aineisto analysoitiin kovarianssianalyysillä (ANCOVA), jossa tutkittiin alueiden ja ihmisvaikutusluokkien vaikutusta puuston kokonaistilavuuteen, eri puulajien prosenttiosuuksiin ja taimimääriin. Analyseissä kovariaatteina käytettiin metsikön ikää ja kasvukauden pituutta, jotta näiden tekijöiden vaikutus tutkittaviin muuttujiin voitiin ottaa huomioon. Lisäksi tehtiin kontrastianalyysijä alueiden välisten ja sisäisten erojen yksityiskohtaisemmassa tarkastelussa. Puuston läpimittajakauman tarkastelussa käytettiin Shannon-Weaver-indeksiä.

Kuusen osuus elävän puuston kokonaistilavuudesta oli merkittävästi suurempi Hämeen ja Kuhmo luonnontilaisen kaltaisissa ja poimintahakatuissa metsissä kuin Vienansalossa. Sen sijaan lehtipuiden tilavuusosuus oli suurempi Vienansalon luonnontilaisissa metsissä verrattuna Hämeeseen (kuva 1). Luonnontilaisen kaltaisissa ja poimintahakatuissa metsissä läpimittajakauma oli suuria puita kohti laskeva, mutta talousmetsissä kaksihuippuinen. Elävän puuston kokonaistilavuus laski Hämeestä Kuhmoon ja edelleen Vienansaloon luonnontilaisen kaltaisissa ja poimintahakatuissa metsissä. Hämeen talousmetsien elävän puuston tilavuus oli huomattavasti alhaisempi kuin alueen luonnontilaisen kaltaisten tai poimintahakattujen metsien. Rakenteellisia monimuotoisuuspiirteitä löytyi eniten luonnontilaisen kaltaisista ja poimintahakatuista metsistä.

Tulokset osoittavat että ihmistoiminta on huomattavasti muuttanut ja vähentänyt vanhojen mäntymetsien metsien rakenteellista monimuotoisuutta. Toisaalta voidaan havaita metsien käyttöhistorian vaikutusta, myös epäsuoraa vaikutusta. Merkille pantavaa oli että tutkittujen eteläisen Suomen suojelualueiden luonnontilaisimmatkin metsät erosivat huomattavasti sekä rakenteeltaan että puulajikoostumukseltaan Vienansalon erämaasta mitatuista vastaavista metsistä. Nämä erot voidaan ainakin osittain johtaa paitsi aiemmasta metsien erilaisesta käytöstä myös eroista metsäpalojen esiintymisessä. Tehokas kulojen torjunta on lisännyt Suomen puolen suojelualueilla kuusen osuutta ja pienentänyt lehtipuiden osuutta, verrattuna Vienansaloon jossa



**Kuva 1.** Mäntyvaltaisten luonnontilaisenkaltaisten metsien suhteellinen puulajijakauma läpimittaluokittain Hämeessä, Kuhmassa ja Vienansalossa.

kuloja on esiintynyt myöhemmin kuin Hämeessä. Tulokset herättävät kysymyksen missä määrin eteläisen Suomen pienialaisia metsäsäästiöitä voidaan käyttää luonnontilaisina referensseinä talousmetsille ekologisessa tutkimuksessa tai asetettaessa esim. tavoitteita metsän ennallistamiselle. Onkin tärkeää että metsän rakenteeseen vaikuttavat historialliset ja ekologiset tekijät otetaan huomioon ja niiden vaikutus pyritään arvioimaan kun määritetään ”luonnontilaisen” metsän rakenteita.

Moderni metsänhoito on yksipuolistanut tutkittujen metsiköiden puulajikoostumusta suosimalla pääpuulajia mäntyä. Myös puiden kokovaihtelu oli kaventunut talousmetsissä kun sekä pieniä että isoimpia puita on poistettu metsiköiden harvennus- ja kunnos-

tushakkuissa. Toisaalta luonnontilaisen kaltaisten ja kauan aikaa sitten poimintahakattujen (mutta sen jälkeen rauhassa kehittyneiden) metsien välillä ei elävän puuston rakenteessa havaittu juurikaan eroja. Vanhat poimintahakatut metsät voivat siis olla luonnonsuojellisesti arvokkaita kohteita. Metsiköiden luonnontilaisen rakenteellisen monimuotoisuuden palauttamiseksi olisi tärkeää palauttaa talousmetsiin monimuotoisuudelle tärkeitä metsärakenteita, kuten esimerkiksi isoläpimittäisiä puita ja järeitä lehtipuita.

■ MMM Saara Lilja, MMT Timo Kuuluvainen, Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos  
Sähköposti saara.lilja@helsinki.fi

Mika Nieminen, Erkki Ahti, Hannu Nousiainen, Samuli Joensuu ja Martti Vuollekoski

## Ojitusalueilta huuhtoutuvan eroosioaineksen pidättäminen pintavalutuskenttien avulla

Seloste artikkelista: Nieminen, M., Ahti, E., Nousiainen, H., Joensuu, S. & Vuollekoski, M. 2005. Capacity of riparian buffer zones to reduce sediment concentrations in discharge from peatlands drained for forestry. *Silva Fennica* 39(3): 331–339.

Metsätalouden toimenpiteistä erityisesti ojitus ja maanmuokkaus lisäävät eroosiota eli kiintoaineen huuhtoutumista vesistöihin. Kiintoainekuormitusta pidetään vakavimpana metsätalouden aiheuttamana vesistöhaittana. Puroihin ja järviin kulkeutua kiintoaine heikentää esimerkiksi kalojen ja ravun elinmahdollisuuksia, kun suoja- ja kutupaikat täytyvät lietteestä ja ravintoeläimet häviävät vesistöjen pohjakasvillisuuden jäädessä maa-aineksen alle. Vesistöjen rehevöityminenkin voi ajan myötä lisääntyä, jos kiintoaineesta alkaa hapettomissa oloissa vapautua fosforia ja muita ravinteita. Veden samentuminen kiintoainekuormituksen kasvun myötä heikentää myös vesistöjen virkistyskäyttöä.

Käytännön metsätaloudessa kiintoainekuormitusta on yritetty vähentää lähinnä laskeutusaltaiden avulla. Laskeutusaltat ovat kuitenkin osoittautuneet osin puutteelliseksi vesiensuojeluratkaisuiksi. Altaat kylläkin pidättävät hyvin ojitusalueilta huuhtoutuvaa painavaa ja karkeaa kiintoainetta, mutta kevyet ja hienojakoiset savi- ja turvepartikkelit eivät altaisiin pidäty. Laskeutusaltat eivät myöskään tehoa vedessä liukoisessa muodossa kulkeutuviin ravinteisiin. Altaiden täytyminen hyvin nopeasti suurten kiintoainehuuhtoumien aikana ja altaiden seinien sortuminen eroosioherkillä alueilla voivat myös aiheuttaa ongelmia.

Metsätutkimuslaitoksen, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion ja alueellisten metsäkeskusten yhteistyönä tutkittiin vuosien 1995–2001 aikana nk. pintavalutuskenttien (käytetään myös termejä puskurivyöhyke, suojavyöhyke tai suotautumisalue) tehoa kunnostusojituksen kiintoainekuormituksen tor-

jumisessa. Tulosten perusteella pintavalutuskentät ovat laskeutusaltaita selvästi parempi ratkaisu eroosio-ongelmaan. Pintavalutuksella voidaan parhaimmissa tapauksissa vähentää kiintoainekuormaa jopa 100-prosenttisesti ja useimmiten pintavalutuskentältä poistuva vesi on ainakin puolet puhtaampaa kuin kunnostusojitusalueelta kentälle tuleva vesi. Hyvän puhdistumistuloksen takaamiseksi pintavalutukseen on kuitenkin varattava kyllin suuri alue. Jos pintavalutuskenttä on esimerkiksi 50 hehtaarin valuma-alueella vain muutamien kymmenien aarien kokoinen, vesi virtaa kentän yli aivan liian suurella nopeudella, jotta merkittävää kiintoaineen laskeutumista maan pintaan ja pintakasvillisuuden sekaan ennättäisi tapahtua. Hyvä puhdistustulos (yli 70 prosentin kuormitusvähennys) edellyttää, että kentän pinta-ala on noin prosentin verran koko valuma-alueen pinta-alasta.

Toisin kuin laskeutusaltat pintavalutuskentät voivat pidättää myös veteen liuenneita ravinteita. Pintavalutuksen käytöstä ravinnekuormituksen torjunnassa on kuitenkin vielä liian aikaista tehdä lopullisia johtopäätöksiä. Alustavat tulokset viittaavat siihen, että samoin kuin kiintoaineen myös ravinteiden pidättymisen kannalta on oleellista, että pintavalutus kentät kattavat vähintäänkin noin prosentin verran valuma-alueen pinta-alasta.

Ainoa tunnettu vesiensuojelullinen ongelma pintavalutuksen käytössä on joillakin alueilla havaittu liukoisen fosforin ja liuenneen orgaanisen aineen (humus) kuormituksen kasvu heti kentän perustamisen jälkeen. Fosforia ja humusta saattaa huuhtoutua etenkin silloin, kun pintavalutuskenttä muodostetaan tukkimalla ojia ja ennallistamalla osia vanhasta ojitusalueesta. Yksittäisillä alueilla esiintyvä liukoisen fosforin ja humuksen kuormituksen kasvu lienee kuitenkin pieni haitta sen rinnalla, että pintavalutuksella voidaan tehokkaasti torjua ojituksen ja maanmuokkausten aiheuttamaa kiintoainekuormitusta ja samalla vähentää myös kiintoaineeseen sitoutuneiden ravinteiden kuormaa. Todennäköisesti pintavalutuksella voidaan ajan myötä vähentää myös liukoisen fosforin ja humuksen kuormitusta, kunhan kentän perustamisesta aiheutuvat ravinnevuodot ensin tyrehtyvät.

■ MMT Mika Nieminen, MMT Erkki Ahti, FM Hannu Nousiainen, MMM Martti Vuollekoski, Metla, Vantaan yksikkö; MMT Samuli Joensuu, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Sähköposti [mika.nieminen@metla.fi](mailto:mika.nieminen@metla.fi)

Timo Pukkala ja Jari Miina

## Epätasaisen metsikön käsittelyohjelman optimointi

Seloste artikkelista: Pukkala, T. & Miina, J. 2005. Optimising the management of a heterogeneous stand. *Silva Fennica* 39(4): 525–538.

Metsänhoidon suunnittelun apuvälineenä voidaan nykyisin käyttää simulointia ja optimointia. Simulointi-optimointi-ohjelmille annetaan lähtötietona tarkasteltavan metsikön alkupuusto, joka voi olla metsiköstä mitattu koeala tai joukko kuvauspuita. Simulaattori kasvattaa alkupuustoa ja tekee sille annetut hakkuukäsittelyt. Optimointiosalla voidaan metsikölle etsiä esimerkiksi sellainen hakkuuohjelma, joka maksimoi metsiköstä saatavien hakkuutulojen nettonykyarvon. Metsikölle saatu optimiratkaisu kertoo, kuinka metsikköä on harvennettava ja kuinka pitkä on kiertoaika. Tällaisia optimointeja on tehty mm. nykyisten metsänhoitosuosituksen uudistamistuksen tueksi.

Saatujen optimiratkaisujen tulkinta ei ole todellisuudessa näin suoraviivaista, koska yksi koeala tai puujoukko ei voi kuvata metsikkökuvion sisäistä vaihtelua epätasaisessa metsikössä. Professori Pekka Kilkki esitti jo aikoinaan, että metsikön valtapituuteen ja pohjapinta-alaan perustuvien harvennusohjeiden tulisi olla erilaiset puustoltaan tasaisille ja epätasaisille metsikoille. Epätasaisessa metsikössä voi olla puuryhmiä, jotka pitäisi harventaa vaikka koko metsikön pohjapinta-ala olisi vielä alle harvennusrajan. Tämä tarkoittaa, että epätasaiset metsiköt tulisi harventaa alhaisemmalla pohjapinta-alalla kuin tasaiset metsiköt. Jos epätasaisessa metsikössä on hyvin harvoja kohtia, myös metsikön jäävä pohjapinta-ala on pienempi kuin tasaisissa metsiköissä.

Tässä tutkimuksessa esitetään menetelmä metsikkökuvion puuston epätasaisuuden, ts. metsikön tiheyden ja muiden metsikkötunnusten vaihtelun, huomioonottamiseksi metsikön hakkuuohjelman optimoinnissa. Yhden koealan tai puujoukon sijasta metsikön alkupuustoa kuvattiin usealla koealalla (100 koealaa per metsikkö), joille simuloitiin hakkuukäsittelyt samanaikaisesti. Metsikön sisäisen metsikkötunnusten vaihtelun tuottaminen perustui kuvioittaisen arvioinnin tarkastuksessa mitatuilla koealoilla havaittuun vaihteluun. Metsikön kehitys simuloitiin Hynysen ym. vuonna 2002 julkaisemilla malleilla (Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 835). Menetelmällä tarkasteltiin, kuinka metsikön optimaalinen käsittelyohjelma riippuu metsikön puuston sisäisestä vaihtelusta kuusikossa ja männikössä.

Kun metsikkö oletettiin puustoltaan tasaiseksi, menetelmällä saadut tulokset männiköiden ja kuusikoiden optimaalisista käsittelyohjelmista vastasivat aikaisemmin esitettyjä tuloksia. Epätasaisen metsiköiden optimiratkaisut poikkesivat selvästi puustoltaan tasaiselle metsikölle saaduista tuloksista. Tulokset tukivat oletusta, että puuston epätasaisuus alentaa sekä harvennusrajaa että jäävän puuston optimaalista tiheyttä, erityisesti kuusikoissa. Kuusella alkupuuston epätasaisuus aikaisti selvästi myös toista harvennusta, vaikka ensiharvennuksessa puuston epätasaisuus väheneekin voimakkaasti. Alkupuuston epätasaisuus alensi metsiköstä saatavia hakkuutuloja ja -kertymää, vaikka ensiharvennuksessa pyrittiin tasoittamaan metsikön sisäistä pohjapinta-alan vaihtelua. Tulokset osoittivat, että puustoltaan tasaiselle metsikölle tai yksittäiselle koealalle saadut optimikäsittelyohjelmat eivät sovellu epätasaisille metsikoille.

■ Prof. Timo Pukkala, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta; MMT Jari Miina, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun yksikkö. Sähköposti [timo.pukkala@joensuu.fi](mailto:timo.pukkala@joensuu.fi)