

Meeri Pearson, Markku Saarinen, Kari Minkkinen, Niko Silvan ja Jukka Laine

Mätästys ja laikutus ojitus- aluemetsien uudistamisessa: männyn viljelyn onnistumi- seen vaikuttavat tekijät

Seloste artikkelista: Pearson, M., Saarinen, M., Minkkinen, K., Silvan, N. & Laine, J. 2011. Mounding and scalping prior to reforestation of hydrologically sensitive deep-peated sites: factors behind Scots pine regeneration success. *Silva Fennica* 45(4): 647–667.
<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf45/sf454647.pdf>

Johdanto

Uudistusalan vettyminen metsäojitetuilla soilla on yleinen ongelma avohakkuun jälkeen. Uuden puusukupolven aikaansaamiseksi vesitalouden kunnostuksen ja maanmuokkaustoimenpiteiden merkitys korostuu. Metsänuudistamisen yhteydessä mätästys on yleisimmin sovellettu maanmuokausmenetelmä turvemaidella. Luomalla kohoumia mätästys nostaa taimen kauemmaksi vedenpinnasta, jolloin kasvualustan ilmavuus paranee ja lämpötila kohoaa. Näiden tekijöiden oletetaan kiihdyttävän orgaanisen aineen hajotusta ja siten myös ravinteiden vapautumista taimille.

Viime vuosina on kokeiltu myös edullisempia ja vähemmän voimaperäisiä vaihtoehtoja mätästyksele. Laikutuksesta saadut alustavat tulokset näyttävät lupaavilta. Eri maanpinnankäsittelymenetelmien vaikutuksesta männyn viljelyn onnistumiseen turve-

mailla on varsin vähän tutkimustietoa. Erityisesti poikkeuksellisen märkyypden vaikutusta maanpinnan käsittelyvaihtoehtojen valintaan ei ole tutkittu. Tässä tutkimuksessa seurattiin männyn istutustaimien eloonjäätymiä ja kasvua mätäissä, laikuissa ja muokkaamattomissa pinnoissa kosteusgradientilla tarkoituksena selvittää näiden menetelmien käyttökelpoisuutta ja viljelyn onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimus tehtiin Hyytiälässä sijaitsevalla Joenvarsi-suolla. Kasvupaikaltaan varputurvekankaan (Vatkg) ja puolukkaturvekankaan (Ptkg II) välimuotoa edustava kohde avohakattiin, kunnostusojitettiin sekä muokattiin vuonna 2006. Istutus tehtiin yksivuotisilla männyn paakkutaimilla alkukesästä 2007. Sekä mätästys että laikutus toteutettiin läppäkauhalla varustetulla kaivurilla. Mätästyksessä kauha iskettiin maahan noin 20–30 cm syvyyteen, kauhaan koottiin vetämällä pintaturvetta noin puolen metrin matkalta, joka lopuksi käännettiin ja tiivistettiin kauhan hydraulisella läpällä koskemattomalle kasvillisuuspinnalle syntyneen kuopan viereen. Laikutus johti noin 10 cm syviin, 1–1,5 m pitkiin ja 35 cm leveisiin turvepaljastumiin, josta humuskerros ja kasvillisuus oli poistettu. Kutakin käsittelyä (muokkaamaton eli kontrolli, mätästys, laikutus) kohti oli kaksi toistoa; toinen sijaitsi koekentän määrässä pohjoispäässä ja toinen kuivemmassa eteläpäässä.

Orgaanisen aineen hajotuksen (eli heterotrofisen maahengityksen) mittaamiseksi perustettiin 18 kauluksellista näytealaa (3 per käsittely pohjoispäässä ja samoin eteläpäässä), joilla kaasunvaihtomittauksen yhteydessä mitattiin myös vedenpinta sekä maan lämpötila 5 cm:n syvyydessä. Näytealoilla tehtiin mittauksia 3–4 kertaa kuukaudessa kolmen

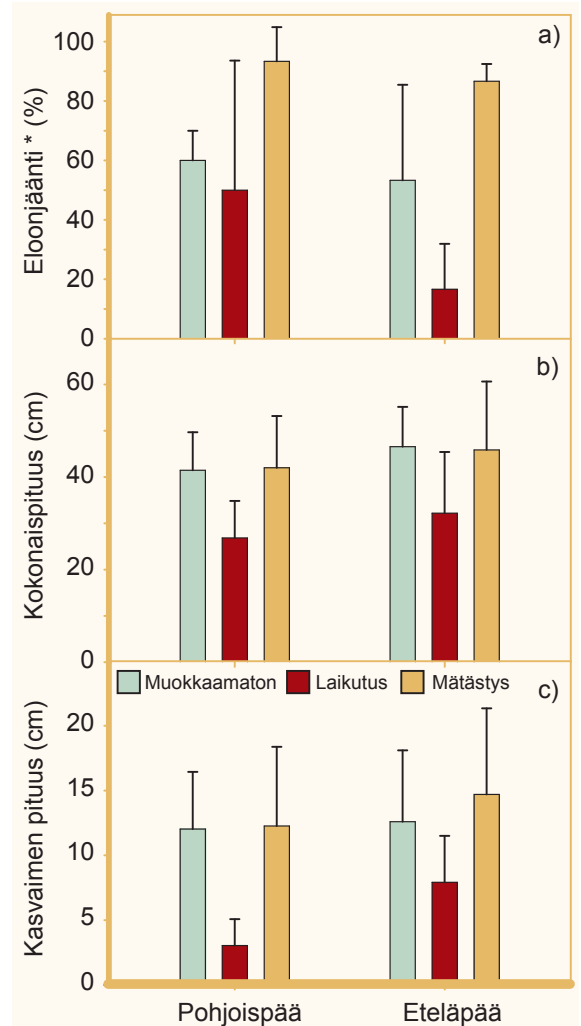
kasvukauden ajan.

Kolmannen kasvukauden päätteeksi taimet inventoitiin ympyräkoealoilla (3,99 m:n säde). Inventoinnissa selvitettiin istutettujen männyntaimien eloonjäanti, kasvu ja kunto. Lisäksi kustakin näytealasta otettiin maanäytteet (0–10 cm, 10–20 cm) hiili-/typpi (C/N) -suhteen määrittämiseksi hajotustoiminnan indikaattorina. Aineiston analysoinnissa käytettiin yleistä lineaarista sekamallia (mixed-proseduuri SPSS 17 tilastollisessa sovelluksessa) ns. ”Restricted Maximum Likelihood” (REML)-menetelmällä.

Tulokset

Vedenpinta oli merkitsevästi lähempänä maanpintaa laikuissa kuin muissa pinnoissa koko tutkimuksen ajan (keskivedenpinta pohjoispäässä oli –6 cm laikuissa, –39 cm mättäissä, –29 cm muokkaamattomissa pinnoissa. Eteläpäässä se oli –8 cm laikuissa, –47 cm mättäissä, –41 cm muokkaamattomissa pinnoissa). Ensimmäisten kolmen kasvukauden aikana mätätys ei lisännyt männyntaimien kasvua eikä niiden kunnossa ollut eroja suhteessa muokkaamattomaan käsittelyyn, mutta lisäsi eloonjäävien taimien määrää (kuva 1). Laikut toimivat usein vesialtaina, minkä takia taimien kuolleisuus oli niissä korkein. Uudistamistulos oli muutenkin laikuissa katastrofaalinen, sillä pienimmät, huonokuntoisimmat taimet löytyivät nimenomaan niistä. Erityisesti vuoden 2008 ennätyksellisen märkä kesä osoittautui kohalokkaaksi laikuissa oleville taimille.

Mätätys ei kiihdyttänyt orgaanisen aineen hajotusta kasvualustassa kontrolliin verrattuna. Pohjoispäässä orgaanisen aineen hajotus oli nopein kontrollikäsitellyssä (kontrolli 0,18, mätätys 0,11, laikutus 0,08 g CO₂ m⁻² h⁻¹). Eteläpäässä hajotus mättäissä ja muokkaamattomissa pinnoissa oli yhtä nopea (kontrolli 0,21, mätätys 0,24, laikutus 0,10 g CO₂ m⁻² h⁻¹). Yllättäen mätätys pienensi pintaturpeen typpikonsentraatiota ja kasvatti C/N-suhdetta kontrolliin verrattuna. Merkitseviä eroja maanlämpötilassa käsittelyjen välillä ei esiintynyt.



Kuva 1. Istutettujen männyntaimien a) eloonjäanti, b) kokonaispituus ja c) uuden vuosikasvaimen pituus sijainnin ja käsittelyn mukaan. *Eloojäänti-% perustuu istutustiheyteen 2000 tainta ha⁻¹.

Johtopäätökset

Tulosten valossa vedenpinnan etäisyys taimen juuristosta on merkityksellisin tekijä männyntaimien varhaiskehityksen kannalta hydrologisesti herkällä suometsien uudistusaloilla. Kunnostusojituksesta ja maanmuokkauksesta huolimatta vettymisen riski on olemassa varsinkin sateisina kesinä. On välttämättä varmistaa uudistusalan riittävä kuivatustaso

ennen laikutukseen ryhtymistä. Laikutus menetelmänä vaatii kehitystyötä, jotta laikutussyvyys ja -kaltevuus voidaan säätää tarkemmin.

Tutkimuksen perusteella suosittelimme metsänuudistamisratkaisuja, jotka varmistavat pintamaan riittävän kuivatustilan taimien kehityksen kannalta. Tämä saavutetaan joko luomalla turvemättäitä tai istuttamalla suoraan sopivan korkeisiin koskemattomiin väli- ja mätäspintoihin (ilman erillistä muokkausta).

Vastoin aiempia käsityksiä näyttää siltä, että maanmuokkaus ei lisää turpeesta vapautuvaa hiilidioksidemissiota vähäravinteisilla paksuturpeisilla metsänuudistusaljoilla.

■ MMM Meeri Pearson, MMM Markku Saarinen, MMT Niko Silvan & prof. emer. Jukka Laine, Metla, Parkano, MMT Dosentti Kari Minkkinen, Helsingin yliopisto, Metsätieteiden laitos
Sähköposti meeri.pearson@metla.fi, markku.saarinen@metla.fi

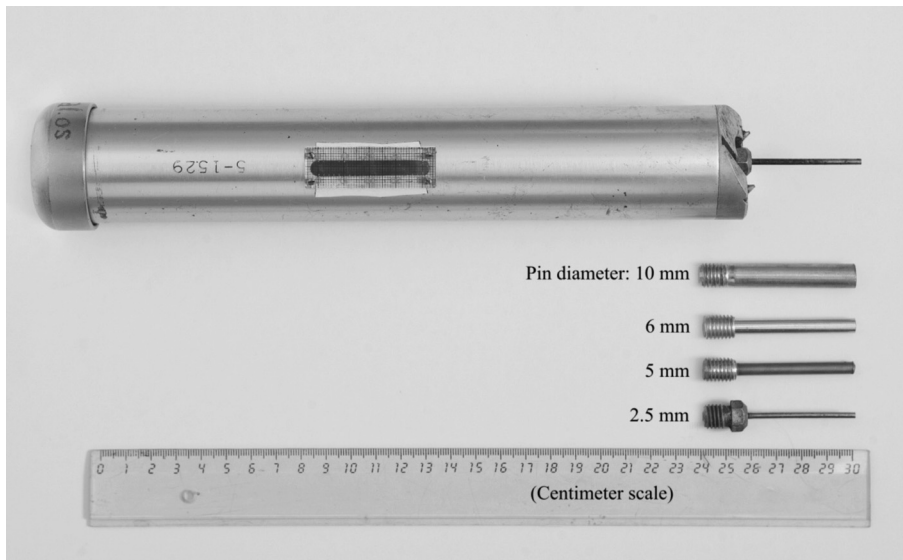
Raisa Mäkipää ja Tapio Linkosalo

Nopea maastokelpoinen menetelmä lahopuun tiheyden mittaamiseen

Seloste artikkelista: Mäkipää, R. & Linkosalo, T. 2010. A non-destructive field method for measuring wood density of decaying logs. *Silva Fennica* 45(5): 1135–1142. <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf45/sf4551135.pdf>

Mittaustietoa lahopuun määrästä metsässä käytetään arvioitaessa metsien hiilivarastoja ja sen vaihtelua, lahopuussa elävien eliölajien elinolosuhteita sekä lahopuun määrästä riippuvia metsätuho-asteita. Tavanomaisten lahopuumittauksen tavoitteena on arvioida lahopuuston tilavuutta, mutta esimerkiksi hiilitaseita laskettaessa tarvitaan myös tietoa puuaineen tiheydestä. Nykyisin lahopuun tiheyttä arvioidaan maastossa enintään havainnoimalla puun laholuokka. Suomessa yleisesti käytetyssä laholuokituksessa arvioidaan puun kovuutta kokeilemalla puukon painumaa eri kohdista runkoa; mikäli tarvitaan tietoa lahopuun tiheydestä, joudutaan käyttämään laholuokittaisia keskittiheyksiä. Suorat maastossa tehtävät ja arvioijan subjektiivisesta havainnosta riippumattomat tiheysmittaukset parantaisivat huomattavasti lahopuiden lahoasteen (massan häviön) ja hiilimäärän arviointia, erityisesti jos mittaus tapahtuisi jatkuvalla asteikolla luokittelevan asteikon sijaan.

Tässä tutkimuksessa kokeilimme pystypuiden kovuuden ja tiheyden mittaamiseen tarkoitettua testilaitteen (Pilodyn) soveltuvuutta lahopuiden tiheysmittauksiin. Testilaitte iskee mittauspiikin puuaineeseen esijännitetyn jousen avulla ja mittapiikin painumissyvyys kuvastaa puuaineen kovuutta. Pystypuiden mittauksessa käytetään 2,5 mm läpimitaista mittapiikkiä, mutta koska tämä on liian ohut pienitiheksisen lahopuun mittaamiseen, testasimme laitetta myös tarkoitusta varten työstämillämme 5 ja 10 mm läpimittaisilla testipiikeillä (kuva 1). Testasimme mittalaitetta maastossa mittaamalla koepuista piikin painumasyyvyyttä, minkä jälkeen otimme mit-



Kuva 1. Lahopuurunkojen tiheysmittauksiin soveltamamme testilaitte (Pilodyn) ja testissä käyttämämme eri läpimittaiset piikit. Testissämme käytetty 5 mm:n mittapiikki on tehty messinkiputkesta, ja osoittautui käytössä liian pehmeäksi, sen sijaan kuvassa näkyvä 6 mm:n piikki on terästä ja siksi suositeltavin mittapiikki lahopuun mittaamiseen.

tauskohdasta kiekkonäytteen laboratorioissa tehtävää puuaineen tiheysmittausta varten.

Tuloksemme osoittivat että pystypuille käytettävä 2,5 mm testipiikki soveltuu vähän lahonneiden runkojen tiheyden määrittämiseen, mutta pitkälle lahonneisiin runkoihin ohut piikki uppoaa liian helposti, jolloin pidemmälle lahonneen puun mittausrivot menevät yli testilaitteen mittausalueen. Testaamamme läpimitaltaan 5 mm piikki sen sijaan toimi hyvin eri lahovaiheissa olevien puiden tiheysmittauksessa (tiheyden ja piikin painuman suhde oli lineaarinen ja $R^2 = 0.62$, $F = 82.9$, $p < 0.001$). Tällä paksummalla piikillä pystyttiin mittaamaan tiheydeltään 180–510 kg m^{-3} olevia runkoja. Testasimme myös edellistä paksumpaa 10 mm läpimittaista testipiikkiä, mutta sitä käytettäessä piikin painuma puuaineeseen oli tiheämmillä rungoilla pieni, eikä mittaustulosten vähäinen vaihtelu riittänyt erottamaan kovimpien puiden tiheysvaihtelua.

Tutkimuksemme tulokset osoittivat testilaitteen mahdollistavan lahopuun puuaineen tiheyden mittaamisen maasto-oloissa helposti ja objektiivisesti, kun laitetta käytetään alkuperäistä paksumman mittapiikin kanssa. Koska yksittäisen mittauksen tekeminen on nopeaa, voidaan tutkittavalta rungolta helposti tehdä edustava määrä mittauksia keskitiheyden arviointia varten. Mittalaitteen tuottamat iskeymäsyvyyden lukemat on helppo muuntaa tiheysarvoiksi yksinkertaisen lineaarisen regressiomallin avulla. Mitattu iskeymäsyvyys riippuu paitsi mittaneulan paksuudesta, myös mittalaitteen jousen ominaisuuksista, joten kukin laite on käytännössä kalibroitava testiaineistolla ennen varsinaisia mittauksia.

■ MMT Raisa Mäkipää & MMT Tapio Linkosalo, Metsän-tutkimuslaitos Sähköposti raisa.makipaa@metla.fi, tapio.linkosalo@metla.fi

Tuomas Aakala

Kuolleen puun määrän ja laadun vaihtelu vanhoissa boreaalisissa metsissä

Seloste artikkelista: Aakala, T. 2011. Temporal variability of deadwood volume and quality in boreal old-growth forests. *Silva Fennica* 45(5): 969–981.

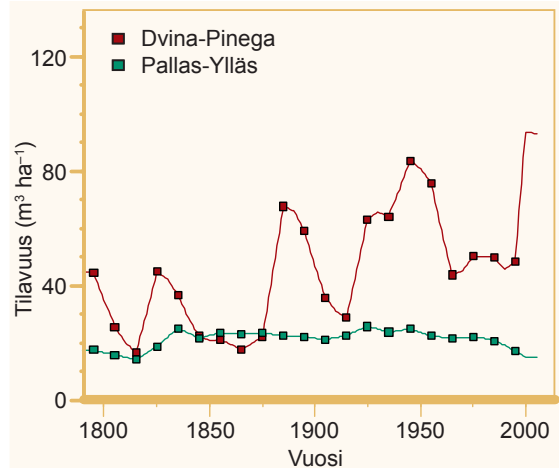
<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf45/sf455969.pdf>

Kuolleen puun määrään ja laatuun luonnonoloissa vaikuttaa puuston kuolleisuus ja kuolleen puun lahoaminen. Vanhoissa luonnontilaisissa metsissä kuolleen puun laadun ja määrän on ajateltu olevan lähellä tasapainotilaa, johtuen jatkuvasta pienialaisesta kuolleisuudesta ja uudistumisesta sen synnyttämien pienialaisten latvusaukkojen kautta, sekä kuolleen puun vähittäisestä lahoamisesta.

Viimeaikaiset tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että luonnontilaisten metsien dynamiikka on myös boreaalisissa metsissä huomattavasti aiemmin tiedettyä monimutkaisempaa. Puiden ikäjakamuun ja vuosittaisiin sädekasvun muutoksiin perustuvien menetelmien on osoitettu, että puuston kuolleisuus voi vaihdella huomattavastikin. Metsien dynamiikkaa eivät ohjaa pelkästään perinteisen käsityksen mukaisesti laajat metsäpalot, tai jatkuva pienialainen kuolleisuus, vaan nämä edustavat ennemminkin laajemman vaihteluvälin ääripäitä. Toisaalta kuolleen puun lahoamisnopeudet vaihtelevat myös johtuen mm. kasvupaikkojen, puulajien välisten erojen ja ilmastotekijöiden vaikutuksesta, mikä taas tekee pelkän kuolleisuuden perusteella tehtävät ennusteet kuolleen puun määrien ja laadun vaihteluista epävarmoiksi.

Tutkimuksessa käytettiin hyväksi olemassaolevia malleja puuston lahoamisnopeudelle, sekä dendrokologisen menetelmien saatuja arvioita puuston kuolleisuuden vaihtelusta. Näiden menetelmien yhdistelmällä simuloitiin kuolleen puun määrän ja laadun vaihtelua 200 vuoden jaksolta (v. 1800–2005) kahdella esimerkkialueella.

Puuston kuolleisuuden arvioimiseksi yhdistettiin



Kuva 1. Kuolleen puun tilavuuden vaihtelu kahdella tutkimusalueella vuosina 1800–2005.

kahdentyyppisiä, aiemmin julkaistuja aikasarjoja: 200 vuotta kattavat arviot kuolleisuuden suhteellisesta vaihtelusta tutkimusalueilla, sekä lyhyempi, 20–30 vuotta kattava tarkempi rekonstruktio puuston kuolleisuuden absoluuttisista määristä. Näiden yhdistelmällä luotiin 200 vuoden mittainen aikasarja, joka syötettiin samoille tutkimusalueille kehitettyihin lahoamismalleihin. Lahoamismallit perustuivat siirtymämatriseksiin, joissa on laskettu kuolleelle puulle todennäköisyys siirtyä yhdestä laholuokasta seuraavaan puun kuolemasta kulu- neen ajan funktiona. Laholuokat on määritelty puun ulkonäköön perustuen, ja niiden ajatellaan kuvaavan puun käyttökelpoisuutta tietynlaisena elinympäristönä. Laholuokka on myös yhteydessä puun jäljellä olevaan tiheyteen ja sitä kautta sen sitoman hiilen määrään.

Testialueina oli kaksi toisistaan poikkeavaa kuusi- metsäaluetta. Toinen alueista sijaitsee Pallas-Ylläksen kansallispuistossa Pohjois-Suomessa, ja toinen Luoteis-Venäjällä Arkangelin alueella, Dvina ja Pinega-jokien välisellä laajalla metsäalueella. Aikaisempien tutkimusten perusteella Pallas-Ylläksen tutkimusalueella puuston kuolleisuus on ollut melko tasaista kun taas Dvina-Pinegan aluetta leimaavat ajoittain toistuvat laajemman kuolleisuuden jaksot, joista ainakin viimeisin oli seurausta kuivuudesta ja sitä seuranneesta kirjanpajan (*Ips typographus*) aiheuttamasta kuolleisuudesta. Myös lahoamis-

nopeudet eroavat alueiden välillä, kuolleen puun lahotessa huomattavasti nopeammin eteläisemmällä Dvina-Pinegan alueella.

Pallas-Ylläksen alueen simulointitulosten perusteella tasainen kuolleisuus yhdistettynä hitaaseen lahoamiseen voi johtaa tasapainotilan kaltaiseen, kuolleen puuaineen määrän vähäiseen vaihteluun (kuva 1). Sen sijaan vaihtelut kuolleisuudessa, varsinkin yhdistettynä kuolleen puun nopeaan lahoamiseen johtavat tilaan, jossa tasapaino kuolleisuuden ja lahoamisen välillä on epätodennäköinen, kuten tulokset Dvina-Pinegan alueelta osoittivat (kuva 1). Molemmille tutkimusalueille oli kuitenkin yhteistä ajallinen jatkuvuus; kummallakaan alueella ei esiintynyt ajanjaksoja, jolloin kuollut puu olisi kokonaan hävinnyt. Huomattavaa kuitenkin on, että yksittäisiä laholuokkia tarkasteltaessa kaikkein nopeimmin muuttuvissa laholuokissa tällaisia tilanteita saattaa esiintyä. Tämä on olennaista pohdittaessa kuolleen puun merkitystä elinympäristönä, sillä on todennäköistä, että tällaisen elinympäristön esiintyminen on luontaisestikin metsikkötasolla ajallisesti katkonainen. Toisaalta taas molemmilla alueilla oli havaittavissa hitaammin lahoavien luokkien puuta runsaasti läpi koko tarkastelujakson.

Merkittävää on myös se, että pysyville koelaitteilla mitattujen määrien ja niiden muutosten käyttökelpoisuus on kyseenalaista ilman kunnollista ymmärrystä metsien dynamiikasta; Dvina-Pinegan alueella minä tahansa ajanhetkenä mitattu kuolleen puun määrä ei olisi ollut mitään keskimääräistä tilaa edustava. Tulokset korostavatkin kuolleen puun dynaamisen luonteen ymmärtämisen tärkeyttä pohdittaessa luonnollisten habitaattirakenteiden sisällyttämistä talousmetsiin, tai ennallistettaessa metsäalueita.

■ MMT Tuomas Aakala, Helsingin yliopisto, Metsätieteiden laitos
Sähköposti tuomas.aakala@helsinki.fi

Joonas Järvinen ja Jaakko Linnakangas

Yritysten kyvykkyudet Suomen metsäklusterissa: vertailuja ”Itseorganisoituvan kartan” avulla

Seloste arikkelista: Järvinen, J. & Linnakangas, J. 2012. Firm capabilities in the Finnish forest cluster: comparisons based on Self-organizing Maps. *Silva Fennica* 46(1): 131–150.

<http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf46/sf461131.pdf>

Kilpailukyvyyn säilyttäminen erityisesti pitkällä aikavälillä on keskeinen ongelma jokaiselle yritykselle, mutta myös yritysten muodostamille klustereille. Erityisen keskeiseksi ongelma nousee nykyisessä globalisoituvassa maailmassa, jossa muutosvaihtelu on erittäin nopeaa ja jossa kilpailukyvyyn saavuttaminen vanhojen toimintamallien avulla ei usein enää ole mahdollista. Perustuen tähän, viimeaikaisessa johtamis- ja liiketaloustutkimuksessa yritysten ja klusterien omaamat ja kehittämät kyvykkyudet onkin alettu nähdä yhä keskeisimmiksi kilpailukyvyyn lähteiksi.

Myös Suomen metsäteollisuuden kilpailukyvyyn pohja on heikentynyt globaalien kilpailun ja toimintaympäristössä tapahtuneiden muutosten myötä. Onkin siis selvää, että Suomen metsäteollisuusyritysten ja koko klusterin nykyiset kyvykkyudet eivät enää tulevaisuudessa pysty takaamaan kilpailukykyä. Täten, Suomen metsäklusterin on joko hyödynnettävä kyvykkyksiään uusilla tavoilla tai kehitettävä kokonaan uusia. Koska kyvykkyuksien perusluonteeseen kuuluu kuitenkin se, että ne kehittyvät hitaasti historian muovaamina, ainakin lähitulevaisuudessa Suomen metsäklusterin kilpailukyvyyn pohjan on perustuttava siihen, että nykyisiä kyvykkyksiä käytetään ja hyödynnetään uudentyyppisillä tavoilla tai uudentyyppisissä yhdistelmissä.

Kyvykkyuksien kehittäminen ei kuitenkaan ole mahdollista ilman selvää kuvaa niistä. Tässä tutkimuksessa pyrittiinkin muodostamaan kuva Suomen

Taulukko 1. Yhteenvedo metsäklusterin yritysten painottamista kyvykkyyksistä (punainen kyvykkyyksnumero = korkea painotus, musta kyvykkyyksnumero = keskitason painotus) tutkimusjakson (1999–2008) aikana.

Metsäteollisuuden kone-/laitevalmistajat														
Andritz		3	4			7	8		10	11	12	13		15
Metso		2	3	4	5	6	7	8		11	12	13		15
Ponsse	1			4			7		9			13		14
Tamfelt	1		3	4	5	6				10				14
Kemikaalien valmistajat														
Kemira		2	3	4	5	6	7	8		10	11	12		14
Ciba		2	3	4	5			8			11	12	13	
														15
Sellun, paperin ja metsäteollisuustuotteiden valmistajat														
Metsä-Botnia		2			5	6		9				12		
Metsäliitto	1	2			5	6	7	9				12		14
M-Real	1	2				6		9		11				14
Stora Enso	1		3	4	5	6		8	9	10	11	12		14
UPM	1						7		9	10				14

Kyvykkyydet: 1 Rahoitus, 2 Vastuullisuus, 3 Strategisuus, 4 Ympäristön seuranta, 5 Sisäinen kehittäminen, 6 Johtaminen, 7 Ulkoinen hankinta, 8 Markkinointi ja myynti, 9 Logistiikka, 10 Rakennemuutokset, 11 Kansainvälistyminen, 12 Operaatiot, 13 Palvelut, 14 Muutos, 15 Innovatiivisuus

metsäklusterin kyvykkyyksistä tutkimalla klusterin ja sen suurimpien yritysten kyvykkyyksivalikoimia ja niiden kehitystä aikavälillä 1999–2008. Tämä tehtiin tukeutumalla teoreettisesti aikaisempaan tutkimukseen yritysten kyvykkyyksistä ja luomalla viitekehys yrityksen kyvykkyyksivalikoiman ja kilpailukyyn suhteesta. Analyysimentelminä tutkimuksessa käytettiin yritysten vuosikertomusten sisältöanalyysiä ja Itseorganisoituvaa karttaa (*Self-organizing Map*), joka on akateemikko Teuvo Kohosen kehittämä neuroverkkomalli.

Työn aineisto koostui yhdentoista Suomen metsäklusterissa toimivan johtavan yrityksen vuosikertomuksista aikavälillä 1999–2008, kattaen koko metsäteollisuuden arvoketjun. Vuosikertomusten analysoinnissa lähdettiin liikkeelle niiden sisältöanalyysillä ja laskettiin jokaisessa vuosikertomuksessa esiintyvien sanojen frekvenssi. Seuraavaksi, tukeutuen aikaisempaan tutkimukseen, tietyt sanat yhdistettiin tiettyihin kyvykkyyksiin ja laskettiin jokaisen kyvykkyyden frekvenssi jokaisessa vuosikertomuksessa. Erilaisia kyvykkyyksiä tunnistettiin yhteensä 15. Suhteuttamalla tiettyssä vuosikertomuksessa esiintyvien kyvykkyyksien frekvenssi kaikkien tiettyssä vuosikertomuksessa esiintyvien kyvykkyyksien kokonaisfrekvenssiin, muodostettiin seuraavaksi

jokaiselle kyvykkyydelle suhteellinen frekvenssi. Tutkimuksen päätarkoituksena oli siis analysoida sitä, miten suuren osan kokonaishuomiostaan tietty yritys (ja erityisesti sen johto) kohdisti tiettyyn kyvykkyyteen ja sen kehittämiseen. Sisältöanalyysin tuloksia analysoidaan seuraavaksi Itseorganisoituvan kartan avulla. Tavoitteena oli erityisesti visualisoida yritysten kyvykkyyksivalikoimia ja niissä tapahtuneita muutoksia sekä analysoida klusteritasolla kyvykkyyksien välisiä yhteyksiä.

Yritystasolla tutkimuksen tulokset osoittavat, että jokaisella yrityksellä on omanlaisensa kyvykkyyksivalikoima (ks. taulukko 1). Sellu- ja paperintuottajat ovat selvästi rahoitusorientoituneita ja ne painottavat myös logistiikkaa. Yhdistävänä tekijänä on myös se, että innovatiivisuus ja palvelut eivät kuulu yritysten kyvykkyyksivalikoimiin. Stora Enso erottuu kuitenkin muista yrityksistä painottamalla omassa valikoimassaan strategisuutta ja ympäristön seuraamista, mutta myös myyntiä ja markkinointia.

Kemikaalientuottajia taas yhdistää se, että ne painottavat vastuullisuutta, mutta eivät rahoitusta ja logistiikkaa. Ciba eroaa selvimmin kaikista muista analysoiduista yrityksistä vahvalla markkinaorientoituneisuudellaan ja siihen liittyvien kyvykkyyksien painottamisella. Neljän metsäteollisuuskoneiden ja

laitteiden valmistajan kyvykkyysvalikoimat eroavat toisistaan melko paljon, mikä onkin luonnollista, kun otetaan huomioon eri markkinasektorit, joilla yritykset toimivat.

Klusteritason tarkastelu taas osoittaa, että rahoitus on selvästi kyvykkyys, jota klusterin yritykset painottavat, vaikka rahoitukseen osoitettu keskimääräinen huomio onkin vaihdellut melkoisesti tutkimusjakson aikana: 2000-luvun alkuvuosina yritykset painottivat rahoitusta vähemmän, jakson alku- ja loppupuolella taas enemmän.

Otaen huomioon innovatiivisuuden keskeisen roolin klusterien ja yritysten uusiutumisessa, tutkimuksessa analysoitiin myös sitä, miten yritysten painotus innovatiivisuuteen oli yhteydessä muiden kyvykkyysien painotukseen. Tulosten perusteella neljään kyvykkyteen panostamisen nähtiin olevan positiivisessa suhteessa innovatiivisuuteen: strategisuus, ympäristön seuranta, markkinaorientoituneisuus ja kansainvälisyys. Rahoitus- ja muutoskyvykkyysien kehittämisen taas havaittiin heikentävän innovatiivisuutta.

Tutkimuksen johtopäätöksenä on ensinnäkin se, että vaikka Suomen metsäklusteri onkin saavuttanut kehityksensä viimeisen vaiheen – laskun – jonka aikana klusterin tiedon erilaisuus yleensä pienenee, Suomen metsäklusterin yritysten kyvykkyysvalikoimista löytyy kuitenkin vielä erilaisuutta. Esiintyvä erilaisuus näyttää kuitenkin olevan pitkälti yhteydessä klusteriin kuuluvien yritysten erilaisiin markkinoihin ja ympäristöön, jossa ne toimivat. Klusterin uudistumisessa vaadittaisiinkin enemmän sellaista erilaisuutta, joka olisi saavutettavissa synnyttämällä uusia muunnelmia esimerkiksi sallimalla kokeilevammalla tutkimusprojekteilla tai perustamalla uusia yrityksiä. Erityisesti sellu- ja paperinvalmistajien, jotka painottavat erityisen vähän innovatiivisuutta ja markkinaorientoituneisuutta, tulisi keskittyä vahvemmin näihin kyvykkyysiin, sillä se mahdollistaisi paremmin uusien muunnelmien syntyminen ja moninaisuuden kasvun.

Pelkkä innovatiivisuuden painottaminen ja kehittäminen ei kuitenkaan yleensä riitä, sillä kyvykkydet ovat yleensä vahvasti yhteydessä toisiinsa. Toiset saattavat olla esimerkiksi toisiaan vahvistavia, toiset taas toisensa poissulkevia. Tulosten perusteella esimerkiksi innovatiivisuuteen keskittyminen saattaisi vaatia samanaikaista keskittymistä myös kyvykkyysiin, jotka liittyvät myyntiin ja markkinointiin, strategisuuteen ja ympäristön seurantaan. Keskittyminen esimerkiksi rahoitukseen saattaa taas tehdä mahdottomaksi kehittää samanaikaisesti innovatiivisuuteen ja markkinointiin ja myyntiin liittyviä kyvykkyksiä.

Yritykset voivat käyttää tutkimuksen tuloksia myös apuna parhaiden käytäntöjen arvioinnissa. Esimerkiksi yritys, joka haluaa kehittää tietynlaista kyvykkyyttä, jota toinen yritys on jo painottanut kyvykkyysvalikoimissaan pidemmän aikaa, voi oppia tältä yritykseltä kyvykkyuden kehittämistä. Viimeiseksi, keskeisenä johtopäätöksenä tutkimuksessa kehitetystä viitekehystä on se, että yritys ei voi yrittää kehittää jokaista mahdollista kyvykkyyttä vaan sen on valittava strategiansa mukainen ”optimaalinen” kyvykkyysvalikoima.

■ Tkt Joonas Järvinen & DI Jaakko Linnakangas,
Aalto-yliopisto, tuotantotalouden laitos, Espoo
Sähköposti joonas.jarvinen@aalto.fi

Liisa Kulmala

Yleisen pintakasvillisuuslajiston hiilensidonta on ennustettavissa ympäristötekijöiden avulla

Seloste väitöskirjasta: Kulmala, L. 2011. Photosynthesis of ground vegetation in boreal Scots pine forests. *Dissertationes Forestales* 132.

<http://metla.fi/dissertationes/df132.htm>

Pohjoisilla havumetsillä on suuri merkitys hiilen sitojina. Hiilensidontatutkimus on kuitenkin keskittynyt pääasiassa puihin, vaikka monet pintakasvillisuuslajit ovat tehokkaita yhteyttäjiä ja voivat siten vaikuttaa merkittävästi metsikön hiilensidontaan. Erityisesti puuston väistyessä erilaisten häiriöiden kuten metsäpalojen, myrskytuhojen tai päätehakkuiden seurauksena parantuneet kasvuolosuhteet maan pinnalla mahdollistavat pintakasvillisuuden voimakkaan hiilensidonnin. Toisaalta myös esimerkiksi kasvatusmännikkö on varttuessaankin latvusrakenteeltaan väljä, ja siten valon määrä on huomattava myös latvuserroksen alla. Pintakasvillisuuden hiilensidontatutkimuksella voidaan muun muassa tarkentaa globaaleja ilmastomalleja, jotka perustuvat nykyisellään pitkälti puilla tehtyyn tutkimukseen.

Väitöskirjatyössäni tarkastelin yleisimpien pintakasvilajien yhteytystä viidessä eri-ikäisessä männikössä sekä kahdella ravinteeltaan hyvin toisistaan poikkeavalla hakkuuaukolla. Kunkin koealan kasvillisuusinventointien sekä valon ja lämpötilan monitoroinnin ohella pääasiallinen tutkimusmenetelmä oli seurata yleisimpien kasvilajien hiilensidontaa sulkemalla ne tasaisin väliajoin tiiviisti läpinäkyvään kammioon, jonka ilman hiilidioksidipitoisuutta seurattiin muutaman minuutin ajan. Tästä hiilidioksidipitoisuuden kehityksestä kyettiin määrittämään kasvin hetkellinen yhteytysnopeus. Kun mittauksia toistettiin eri valon intensiteeteissä, saatiin yhteytyksen valovaste, josta määritettiin kasvin yhteytyskapa-

siteetti. Tämän lajikohtaisten yhteytyskapasiteettien vaihtelua verrattiin kasvukauden aikana vallinneisiin lämpötila- ja maankosteusoloihin.

Putkilokasvien kuten varpujen ja ruohojen yhteytyskapasiteetilla havaittiin selkeä vuosirytmä, joka aikavihannilla varvuilla alkoi aiemmin ja päättyi myöhemmin kuin kesävihannilla kasveilla. Aina-vihantien lajien kuten puolukan ja kanervan yhteytys oli kuitenkin tasoltaan alhaisempaa kuin kesävihan-tien kasvien kuten metsälauhan ja mustikan, vaikka myös lajin sisäistä vaihtelua esiintyi. Joidenkin kasvien kuten kastikan, puolukan ja kanervan lehtimas-sakohtainen yhteytyskapasiteetti laski ympäröivän metsän ikääntyessä eli varjostavan lehtimassan karttuessa. Lämpötilahistoria, maan kosteus ja viime-aikojen mahdolliset hallat selittivät varpujen kuten myös osin muiden kasvilajien yhteytyskapasiteetin vaihtelua. Sammaleiden hiilensidonnalla ei ollut havaittavissa selkeää vuosirytmä. Sateisuus selitti suurimman osan sammalten yhteytyskapasiteetin vaihtelusta.

Ainavihantojen kasvien biomassassa oli runsainta karulla hakkuuaukolla ja metsikön alla, kun taas heinä ja ruohot vallitsivat ravinteikkailla ja avoimilla alueilla. Biomassainventointituloksia käyttämällä yhteytysmittauksissa saavutetut lajikohtaiset, mas-saan perustuvat yhteytyskapasiteetit voitiin muuttaa maapinta-alkohtaiseksi hiilensidonnaksi. Koko kasvukauden hiilensidonta integroititiin hetkellisistä arvoista ympäristötekijöiden muutosten avulla. Kesävihantien lajien suuri biomassassa johti huomattavasti korkeampaan yhteytystuotokseen viljavalla hakkuu-aukolla kuin karulla. Pintakasvillisuuden yhteytys-tuotos laski metsikön iän kasvaessa pääosin, koska käytettävissä oleva valo väheni ja lajikoostumus muuttui kohti ainavihantia lajeja.

Väitöskirjassa testattiin esitettyä menetelmää, mutta tutkittiin myös muiden menetelmien käyttökelpoisuutta pintakasvillisuuden hiilensidonnin arviointiin. Eri mittausmenetelmät johtivat toisistaan poikkeaviin tuloksiin, joten tyypillisesti paikallisesti hyvin vaihtelevan pintakasvillisuuden mittausmenetelmän valinta on tehtävä tarkasti paitsi resurssien myös tutkimuksen tavoitteen ehdoilla.

■ MMT Liisa Kulmala, Helsingin yliopisto, Metsätieteiden laitos
Sähköposti liisa.kulmala@helsinki.fi

Anu Hynninen

Typpikuormituksen vähentäminen pintavalutuskenttien avulla metsävaluma-alueilla: pidätystehokkuus ja ympäristövaikutukset

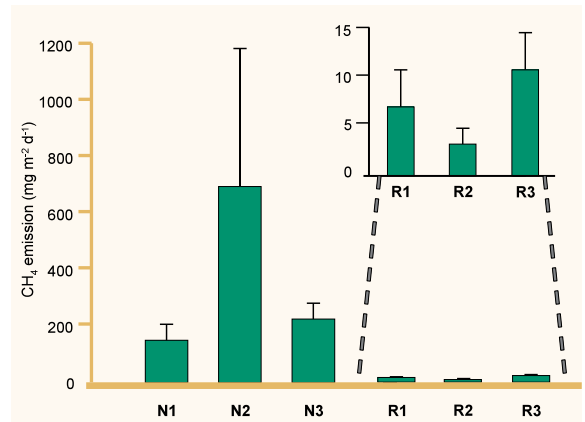
Seloste väitöskirjasta: Hynninen, A. 2011. Use of wetland buffer areas to reduce nitrogen transport from forested catchments: Retention capacity, emissions of N_2O and CH_4 and vegetation composition dynamics. *Dissertationes Forestales* 129.

<http://www.metla.fi/dissertationes/df129.htm>

Metsätalouden tehokkaimpana vesiensuojelu-keinona pidetään tällä hetkellä pintavalutus- kenttiä, joiden kautta metsänkäsitelyalueiden vedet ohjataan vesistöön. Pintavalutuskenttä voidaan perustaa joko johtamalla valuma-alueen vedet luonnontilaiseen kosteikkoon tai ennallistamalla valuma-alueella oleva ojitettu suo. Suon ennallistamisessa pyritään metsätaloutta varten ojitettu suo palauttamaan takaisin luonnontilaiseksi tai luonnontilaisenkaltaiseksi.

Pintavalutuskentillä vesi puhdistuu kosteikko-ekosysteemille luontaisten fysikaalisten, kemiallisten ja biologisten prosessien seurauksena. Pintavalutuskenttien käyttöä metsätalouden valumavesien puhdistamisessa on tutkittu kiintoaineen ja fosforin osalta, mutta niiden tehokkuudesta typen pidättäjinä tiedetään vähän. Väitöskirjatyön päätavoitteena oli selvittää pintavalutuskenttien käytön merkitys typpikuormituksen torjunnassa sekä tutkia käytön aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Työ tehtiin Metsäntutkimuslaitoksen toimesta osana Soiden metsätaloustalouden vesistövaikutukset ja vesiensuojelu (SUOHYDRO) -hanketta.

Pintavalutuskenttien typenpidätyskykyä tutkittiin typpilisäyskokeiden avulla sekä kunnostusojitus-alueiden alapuolisilla pintavalutuskentillä. Suuren typpikuormituksen vaikutuksia typpioksiduulipääs-



Kuva 1. Metaanipäästöt ennallistetuille (R1–3) ja luonnontilaisille (N1–3) soille rakennetuilta pintavalutuskentiltä.

töihin selvitettiin suljetun kammion menetelmällä viidellä tutkimusalueella, minkä jälkeen koe toistettiin yhdellä alueella aiempaa intensiivisemmällä näytteenotolla. Ennallistamisen vaikutuksia metaanipäästöihin ja metaanin tuottajiin sekä hapettajiin tutkittiin kolmella luonnontilaisella ja kolmella ennallistetulle suolle rakennetulla pintavalutuskentällä. Pintavalutuksen aiheuttamia kasvillisuusmuutoksia tarkasteltiin kolmella pintavalutuskentällä vuosien 1996 ja 2009 välillä.

Tutkimuksen tulosten mukaan pintavalutuskentät torjuvat tehokkaasti metsätalousalueiden valumavesien typpikuormitusta (taulukko 1). Pidätystehokkuuteen vaikuttivat selvästi pintavalutuskentän koko ja muoto sekä kentälle tuleva valunta ja typpikuormituksen määrä. Riittävän suuri koko (yli prosentti valuma-alueen pinta-alasta) johtaa tehokkaaseen typen pidättymiseen pidentämällä veden viipymä-aikaa kentällä sekä vähentämällä oikovirtausuomien syntymistä. Tulokset tukevat aiempaa käsitystä, että tehokas vesiensuojelu vesistöjä runsaasti kuormittavilla metsävaluma-alueilla edellyttää riittävän laajojen pintavalutuskenttien rakentamista metsätalouden ja vesistön välille.

Pintavalutuskentät pidättävät valumavesien typpeä tehokkaasti, mutta niiden käytöstä voi aiheutua haitallisia ympäristövaikutuksia. Selvitimme, miten pintavalutuskenttien käyttö vaikuttaa kasvi-

Taulukko 1. Valunta typpilisäyksen aikana ja typen kokonaispidätys kuudella pinta-
valutuskentällä.

Pinta- valutus- kenttä	Lisäys- vuosi	Valunta (mm d ⁻¹)	NH ₄ -N pidätys		NO ₃ -N pidätys	
			(kg)	(% lisätystä N:stä)	(kg)	(% lisätystä N:stä)
Asusuo	2003	89,9	2,3	16,9	2,1	15,3
	2008	51,7	1,9	7,5	2,6	10,2
Murtsuo	2003	85,9	14,0	73,7	11,0	58,0
	2008	55,8	22,2	85,9	22,3	86,6
Kirvessuo	2003	65,9	20,0	89,2	19,5	86,8
Hirsikangas	2004	3,2	21,4	99,1	21,2	98,6
	2008	3,1	25,8	100,0	25,6	99,3
Kallioneva	2003	1,5	2,5	68,7	3,6	100,0
	2008	20,6	25,8	100,0	25,8	100,0
Vanneskorpi	2005	7,4	6,9	99,7	6,8	98,1
	2008	2,2	25,7	99,5	24,0	93,1

huonekaasujen metaanin ja dityppioksidin päästöihin sekä pinta-
valutuskenttänä käytettyjen soiden kasvilajikoostumukseen. Metaani ja dityppioksidi
kuuluvat hiilidioksidin ohella merkittävimpiin ihmisen tuottamiin kasvihuonekaasuihin. Metaani on
yli 20 kertaa hiilidioksidia voimakkaampi kasvi-
huonekaasu, dityppioksidin lämmitysvaikutuksen
ollessa 296-kertainen. Tutkimus osoitti, että dityppi-
oksidipäästöt voivat hetkellisesti kasvaa suuren
typpikuormituksen jälkeen, mutta kokonaispäästöt
jäivät pieniksi verrattuna esimerkiksi metsäojitet-
tuihin ravinnerikkaisiin soihin tai maatalouskäytössä
oleviin soihin. Ojitetuista soista muodostettujen (en-
nallistettujen) pinta-
valutuskenttien metaanipäästöt
jäivät selkeästi luonnontilaisille soille perustettujen
pinta-
valutuskenttien päästöjä pienemmiksi (kuva 1).
Syynä ennallistettujen pinta-
valutuskenttien pienem-
piin päästöihin oli ojituksen vaikutuksesta vähenty-
neen metaanintuottajamikrobiston hidas toipuminen
ennallistamisen jälkeen.

Soiden käyttö pinta-
valutuskenttänä voi muuttaa
merkittävästi niiden kasvillisuutta. Pinta-
valutus-
kenttien käytön merkittävimäksi haitalliseksi
ympäristövaikutukseksi osoittautuikin kasvillisuu-
den lajikoostumuksen muuttuminen. Suurimmat
muutokset havaittiin pinta-
valutuskenttien yläosissa
ja rimpi- ja tasapinnoilla, kun taas kenttien alaosis-
sa ja mätäspinoilla muutokset olivat vähäisempiä.
Heinä- ja sarakasvien sekä ruohojen peittävyys kas-
voi yleisesti pinta-
valutustoiminnan seurauksena ja
lajitasolla raate (*Menyanthes trifoliata*) ja korpi-
kastikka (*Calamagrostis purpurea*) runsastuivat
eniten. Kasvillisuusmuutoksista johtuen harvinais-
ista kasvilajeista koostuvia ja uhanalaisia suotyyp-
pejä edustavia luonnontilaisia soita ei tulisi käyttää
pinta-
valutuskenttänä, vaan uudet pinta-
valutuskentät
tulisi ensisijaisesti rakentaa ennallistamalla aiemmin
ojitettu suo.

■ FT Anu Hynninen, Metsäntutkimuslaitos, Vantaa
Sähköposti anu.hynninen@metla.fi