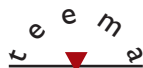


Heljä-Sisko Helmisaari, Mikko Kukkola, Jukka Luiro, Anna Saarsalmi, Aino Smolander ja Pekka Tamminen

Hakkuutähteiden korjuu – muuttuuko typen saatavuus?



Johdanto

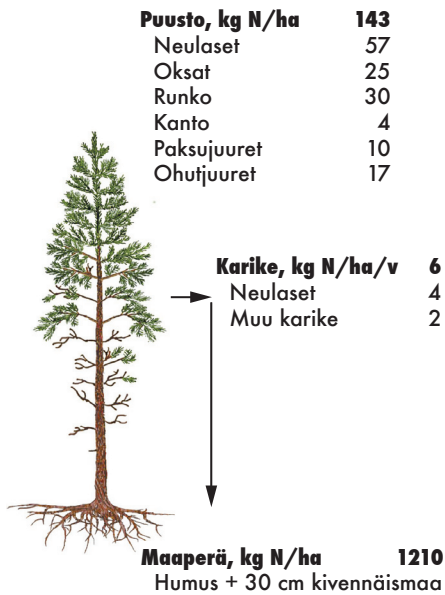
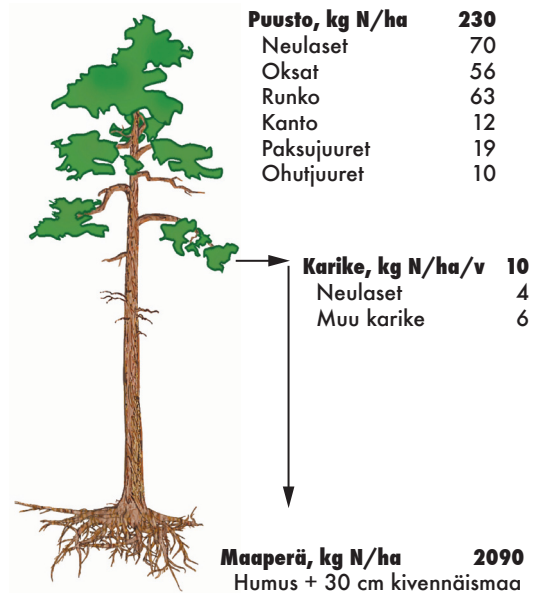
Hakkuutähteitä hyödynnetään biopolttoaineena yhä enemmän. Energiapuuta korjataan riukuvaiheen metsiköiden perkauksen, ensiharvennuksien ja erityisesti päätehakkuiden yhteydessä. Kansallisessa metsäohjelmassa on asetettu tavoitteeksi lisätä metsähakkeen vuotuinen käyttö kahdeksaan miljoonaan kuutiometriin vuoteen 2015 mennessä. Bioenergian käytön lisääminen on tärkeää varsinkin Suomen kasvihuonekaasutaseiden kannalta. Uusiutuvien ja hiiltä sitovien energianlähteiden käytön lisäämisellä vähennetään uusiutumattomien fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja ilmastolle haitallisia hiilidioksidipäästöjä. Puuenergian hyödyntämisellä on lisäksi merkittävä työllistävä vaikutus, joka kohdistuu suurelta osin maaseudulle.

Hakkuutähteiden käyttö ei kuitenkaan ole ongelmattonta. Hakkuutähteiden mukana kasvupaikalta poistetaan ravinteita moninkertaisesti pelkkään runkokuun korjuuseen verrattuna. Neulasten ja oksien mukana menetetään varsinkin typpeä, jonka saatavuus on kangasmaillamme kasvua eniten rajoittava tekijä. Hakkuutähteiden korjuusta aiheutuvaa puuston kasvun vähenemistä onkin todettu sekä suomalaisissa että ruotsalaisissa harvennushakkuukokeissa ensimmäisenä kymmenvuotisjaksona hakkuutähteiden korjuun jälkeen. Seuraavassa tarkastellaan typen saatavuuteen vaikuttavia tekijöitä sekä hakkuutähdetöiden tuloksia jo julkaistujen ja valmisteilla olevien tieteellisten artikkelien pohjalta.

Typen kierto metsikössä ja hakkuutähteiden typpi

Suurin osa metsikön kokonaistypestä on maaperässä sitoutuneena orgaaniseen ainekseen. Maaperän lisäksi typpeä on runsaasti myös puustossa, varsinkin neulasissa ja oksissa. Männikössä yli 60 % ja kuusikossa yli 70 % puuston maanpäälliseen osaan sitoutuneesta tyypestä on neulasissa ja oksissa (kuvat 1 ja 2). Vaikka runkokuussa on paljon biomassaa, sen typpipitoisuudet ovat pieniä, ja typen määrä vastaavasti pienempi kuin latvustossa.

Mikrobit vapauttavat maaperän orgaanisiin yhdisteisiin sitoutunutta typpeä vähitellen kasveille käyttökelpoiseen muotoon prosessissa, jota kutsutaan typen mineralisaatioksi. Vuosittain typpeä mineralisoituu vain muutamia prosentteja metsämaan typpivaroista. Uusien tutkimustulosten mukaan ohutjuuret ja niiden mykorritsat voivat jossain määrin hyödyntää myös orgaanista typpeä, mutta määriä ei vielä tunneta. Koska maaperän orgaanisen aineksen hajotus ja typen mineralisaatio ovat meidän oloissamme hitaita ilmiöitä, typpi on kangasmetsien kasvua rajoittava minimiravinne. Kasveille käyttökelpoinen typpi onkin jatkuvassa kierrossa kasvillisuuden ja maaperän välillä. Osa maasta otetusta tyypestä sitoutuu pitkäksi aikaa puuston biomassaan, mutta osa palautuu vuosittain karikkeen mukana takaisin maahan. Tällä kierrolla on ratkaiseva merkitys metsämaamme puuntuotoskyvylle. Puuston kasvun lisääminen metsänhoidon menetelmin perustuikin osaksi ravinnekierron nopeutumiseen.

35-vuotias männikkö, 58 m³/ha100-vuotias männikkö, 258 m³/ha

Kuva 1. Esimerkki harvennus- ja päätehakkuvaiheen kuivahkon kankaan männikön maaperän, puuston ja karikesadon tyypin määristä. Maaperän kokonaistypin määrä on humuskerroksesta ja ylimmästä 30 cm:n kivennäismaakerroksesta. Männikössä ravinteita ottavista ohutjuurista (läpimitta < 1 mm) yli 75 % on humuskerroksessa ja ylimmässä 10 cm:n kivennäismaakerroksessa. Kuva: Helmsaari ym. 2008.

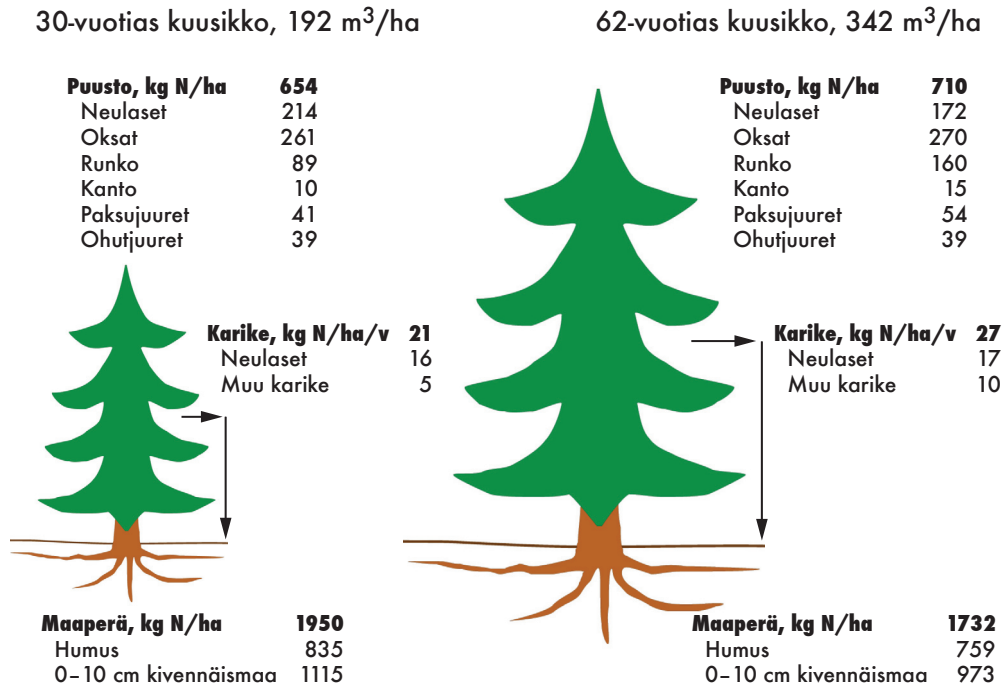
Kasvava puusto ja aluskasvillisuus käyttävät typen niin tehokkaasti, ettei sitä juuri poistu metsikön kierrosta. Häiriötilanteissa tämä voi kuitenkin muuttua. Metsäpalossa ja kulotuksessa palavan aineen sisältämä typpi haihtuu ilmaan kivennäisravinteiden (mm. kalium, kalsium, magnesium ja fosfori) jäädessä tuhkaan. Metsän uudistamisvaiheessa, jolloin ravinteita käyttävää kasvillisuutta on vähän, typen huuhtoutuminen pohja- tai pintavesiin voimistuu muutaman vuoden ajaksi.

Perinteisessä ainespuun korjuussa hakkuutähtien sisältämät ravinteet jäävät kasvupaikalle. Valtaosa neulasten tyypestä palautuu kasvien saataville alle kymmenessä vuodessa ja oksistakin parissakymmenessä vuodessa. Pieni osa hakkuutähtienkin tyypestä jää kartuttamaan maaperän vaikeasti hajotettavaa orgaanisen typen varastoa.

Ensiharvennusmetsissä latvukset sisältävät noin kolmanneksen puiden maanpäällisen osan biomas-

sasta, mutta noin kaksi kolmannesta ravinteista. Kuusen latvusmassa on noin kaksinkertainen samankokoiseen mäntyyn verrattuna. Ravinnemäärissä ero on vielä suurempi (kuvat 1 ja 2).

Tuoreen hakkuutähteen korjaaminen merkitsee varsinkin kuusikoissa huomattavan suuren ravinnemäärän poistumista kasvupaikalta. Ensiharvennuksen hakkuutähteissä korjattava typpimäärä vastaa usean vuoden karikesadon typpimäärää. Typpimäärää suurempi merkitys saattaa olla typpiyhdisteiden laadulla. Vihreissä neulasissa tyypeä on varsinkin valkuaisaineissa, jotka muodostuvat aminohapoista. Puut ja muut kasvit pystyvät uusimpien tutkimustulosten mukaan ottamaan metsämaasta aminohappoja sellaisenaan. Vihreiden neulasten valkuaisaineet hajoavat aminohapoiksi myös neulasten kellastuessa puussa karikkeeksi. Näitä helposti puun nilassa liikkuvia typpiyhdisteitä siirtyy syksyllä talvivarastoihin nuorempiin neulasiin ja sisäkuoreen



Kuva 2. Esimerkki harvennus- ja päätehakkuuvaiheen lehtomaisen kankaan kuusikon maaperän, puuston ja karikesadon tyyppien määristä. Maaperän kokonaistyyppimäärä on humuskerroksesta ja ylimmästä 10 cm:n kivennäismaakerroksesta. Kuusikossa ravinteita ottavista ohutjuurista (läpimitta < 1 mm) yli 85 % on humuskerroksessa ja ylimmästä 10 cm:n kivennäismaakerroksessa. Kuva: Helmisaari ym. 2008.

käytettäväksi seuraavan kevään uudessa kasvussa. Näin ollen karikeneulasissa on jäljellä vain osa vihreiden neulasten sisältämästä typestä ja sekin on hitaasti hajoaviin yhdisteisiin sitoutunut.

Joissakin tutkimuksissa on verrattu hakkuutähteissä korjattuja ravinnemääriä maaperän orgaanisen aineksen suuriin typpivarastoihin. Tällainen vertailu ei anna oikeaa kuvaa saatavilla olevasta typestä, koska maaperän typestä valtaosa on hitaasti hajoavissa yhdisteissä ja heikosti saatavilla.

Voiko hakkuutähteissä korjattu typpi korvautua muilla typpivirroilla?

Metsikköön tulee lisää kasveille käyttökelpoista typpeä vain biologisessa typensidonnassa ja typpilaskeumassa. Leppä sitoo juurinystryöillään ilmakehän typpeä jopa yli 100 kg/ha vuodessa puhtaissa

lepikoissa. Myös sammalet ja jäkälät voivat sitoa ilmakehän typpeä, mutta määrät ovat pieniä, vain muutamia kilogrammoja hehtaaria kohti vuodessa. Typpilaskeuma on hieman tätä suurempi. Vuotuinen typpilaskeuma on Etelä-Suomessa 3–6 kg/ha ja Pohjois-Suomessa 2–3 kg/ha, eikä tämän suuruisella typpilaskeumalla ole todettu olevan metsien kasvua lisäävää vaikutusta. Esimerkiksi kuivahkon kankaan varttunut kasvatusmännikkö ottaa maanpäälliseen biomassansa vuosittain typpeä noin 22 kg/ha, eli noin seitsenkertaisesti laskeuman typpimäärään verrattuna. 15-vuotiaan männynntaimikon vuotuinen typen otto maanpäälliseen kasvuun on noin 8 kg/ha, eli noin kaksinkertainen laskeumaan verrattuna. Laskeuman typestä kuitenkin vain pieni osa voi sitoutua puustoon. Noin puolet typpilaskeumasta tulee lumen mukana, ja typpeä huuhtoutuu vesistöihin ja pohjavesiin lumen sulaessa, kun kasvien ravinteiden otto ei vielä ole käynnistynyt. Metsänomistajankaan

kannalta ei voida ajatella typpilasjeuman korvaavan hakkuutähteiden korjuussa vietyä tyyppiä, sataahan sama laskeuma myös niihin metsiin, joihin hakkuutähteet on jätetty.

Korjattavien hakkuutähteiden sisältämä tyyppi voidaan korvata lannoitetyypellä, mutta on kyseenalaista onko se luonnontalouden kannalta ja ilmastopoliittisesti kestävä ratkaisu. Lisäksi lannoitteissa ei korvata hakkuutähteissä pois vietyä orgaanista ainetta, jolla on maaperän mikrobitoinnoille suuri merkitys.

Puuston kasvu harvennusemetsissä hakkuutähteiden korjuun jälkeen

Pohjoismaisen hakkuutähdekoesarjan 10-vuotistulosten mukaan hakkuutähteiden korjuu alensi pohjapinta-alan kasvua männiköissä keskimäärin 7 % ainespuun korjuun jälkeiseen kasvuun verrattuna, mikä vastasi koemetsiköissä noin 5 m³/ha 10-vuotiskauden aikana. Kuusikoissa, joissa ravinnemennyt hakkuutähteen korjuussa oli noin kaksinkertainen männiköihin verrattuna, pohjapinta-alan kasvu aleni keskimäärin 12 %, mikä vastasi 17 m³/ha 10-vuotisen havaintokauden aikana. Kasvun taantuma alkoi 3–5 vuoden kuluttua harvennuksesta eli ajankohtana, jolloin tyyppiä alkaa vapautua hakkuutähteistä. Kasvun elpymisestä ei ilmennyt merkkejä 10 vuoden kuluttua hakkuutähteiden korjuusta. Kasvun taantumassa oli kuitenkin suurta vaihtelua metsiköittäin. Typpilannoitus korjasi kasvun alenemaa noin 7 vuotta, mutta lannoitusvaikutuksen jälkeen kasvu taantui samalle tasolle kuin lannoittamattomilla hakkuutähteiden korjuualoilla.

Suomalaisten kokeiden perustamisesta on jo 22–30 vuotta. Kaikissa kuusikoissa ja muutamissa männiköissä harvennus ja käsittelyt toistettiin 10-vuoden kuluttua ensimmäisestä harvennuksesta. Myös toisen 10-vuotisjakson tulokset näyttävät tukevan edellisen jakson tuloksia: hakkuutähteiden korjuun negatiiviset kasvuaikutukset kohdistuvat ennen kaikkea kuusikoihin. Tilavuuskasvu väheni hakkuutähteiden korjuukoaloilla runkopuun korjuuseen verrattuna suurimmassa osassa kuusikoita. Kasvun aleneminen oli voimakkainta aineiston niukkaravinteisimmissä kuusikoissa, mutta kaikkein viljavimmissä kuusikoissa kasvu ei vähentynyt. Män-

niköissä kasvun vähenemistä todettiin puolella metsiköistä. Metsiköiden eroihin vaikuttavia tekijöitä tutkitaan parhaillaan.

Kokeissa hakkuutähteet poistettiin tarkemmin ja toisaalta vertailukoaloille hakkuutähteet jätettiin taiseemmin kuin käytännön puunkorjuussa. Jätettävät hakkuutähteet keskittyvät käytännön puunkorjuussa kuitenkin usein ajourille ja niiden varteen, mikä heikentää puuston mahdollisuutta hyödyntää hakkuutähteistä vapautuvia ravinteita. Kokeilla todettuja kasvutuloksia sovellettaessa ne täytyykin suhteuttaa kulloiseenkin ravinnepoistumaan.

Hakkuutähteiden korjuun pitkäaikaisvaikutuksista metsämaan mikrobiprosesseihin on vähän tutkittua tietoa. Kuitenkin äskettäin julkaistu tutkimus ja työn alla oleva jatkotutkimus osoittavat, että harvennushakkuuvaiheen hakkuutähteiden korjuu voi heikentää kuusikoiden maaperän mikrobitoinnointoja, kuten typen mineralisaatiota. Näin ollen puiden typen saatavuus voi vähentyä kahdella tavalla hakkuutähteiden korjuun vuoksi: ravinnekierrosta poistuvan typpimäärän kautta ja typen mineralisaation heikkenemisen vuoksi.

Taimikoiden kasvu päätehakkautähteiden korjuun jälkeen

Päätehakkautähteiden korjuun jälkeen ravinteiden huuhtoutuminen usein kasvaa, mutta hakkuutähteiden tyyppi saattaa kasvupaikasta riippuen myös sitoutua tehokkaasti maaperämikrobistoon ja runsastuvaan aluskasvillisuuteen. Nuoren taimikon ravinteiden tarve on aluksi hyvin vähäinen suhteessa ravinteiden saatavuuteen. Hakkuutähteiden korjuun aiheuttama kasvun aleneminen voikin ilmetä vasta myöhemmin.

Hakkuutähteen yhdellä korjuukerralla ei näyttäisi olevan olennaista vaikutusta männyn taimikoiden alkukehitykseen. Esimerkiksi Rautavaaralla hakkuutähteen korjuulla ei ollut vaikutusta männyn taimien elossa säilymiseen eikä taimikon pituuskehitykseen ensimmäisen 10-vuotiskauden aikana. Koealue muokattiin auraamalla, jolloin hakkuutähteen korjuun vaikutus on voinut helposti peittyä voimakkaan muokkauksen aiheuttamiin muutoksiin taimien elinympäristössä.

Sen sijaan kuusen taimikoiden pituuskasvu aleni Ruotsissa selvimmin viljavilla kasvupaikoilla, joilta



Kuva 3. Hakkuutähteitä korjataan niin sanottuina risutukkeina. Valokuva: Mikko Kukkola.

hakkuutähteen korjuussa poistuu eniten ravinteita. Kasvun taantuma alkoi vajaan 10 vuoden jälkeen päätehakuusta ja vastasi keskimäärin kahden vuoden pituuskasvua.

Äskettäin julkaistun tutkimuksen mukaan päätehakkuukuusikon hakkuutähteiden korjuu vähensi karikkekerroksen ravinnemääriä kolmasosaan siitä, mitä ne olivat hakkuutähdekasojen alla. Lyhytaikaisessa (3 v.) tutkimuksessa ei luonnollisestikaan voitu todeta vaikutuksia maaperän humuskerroksen orgaaniseen aineeseen ja ravinteiden määrään, mutta karikkekerroksen ravinnemäärien pieneneminen tulee ennen pitkää heijastumaan myös maaperän saatavilla oleviin ravinteisiin, ja mahdollisesti seuraavan puusukupolven kasvuun. Pohjois-Ruotsin päätehakkuukuusikoissa todettiin maaperän hiili- ja typpimäärien vähentyneen 15–16 vuoden jälkeen päätehakuusta ja hakkuutähteiden korjuusta, mutta Etelä-Ruotsissa ei tällaisia vaikutuksia havaittu.

Hakkuutähteiden korjuu voi eräissä tapauksissa aiheuttaa myös muiden ravinteiden kuin typen saatavuuden vähenemistä. Kokopuun korjuu pienensi huomattavasti harmaalepän vesasyntyisen puusuku-

polven biomassan tuotosta viljavalla kasvupaikalla. Tässä tapauksessa kasvua rajoittavana ravinteena oli todennäköisesti fosfori. Hakkuutähteiden käyttö voi voimistaa myös boorin puutetta alueilla, joilla booria on metsämaassa riittämättömästi. Tällaisia alueita ovat Itä-Suomen viljavimmat, runsastyypiset kasvupaikat, jotka ovat entisiä kaski- ja laidunmaita. Näillä alueilla esiintyy kuusikoissa yleisesti boorin puutetta.

Lopuksi

Tuoreen hakkuutähteen korjuu (kuva 3) harvennusemetsistä ja päätehakkuualoilta merkitsee huomattavan suuren ravinnemäärän poistumista kasvupaikalta, ja ravinnemenetys on aina puuston kasvua rasittava tekijä. Koska typi rajoittaa kasvua lähes kaikissa kangasmetsissämme, typen menetys merkitsee aina kasvuolosuhteiden heikkenemistä ja todennäköisesti kasvatappioita ennemmin tai myöhemmin. Tutkimustietoa päätehakuusta ja hakkuutähteiden ottoa seuraavan puusukupolven kasvusta on kuitenkin vielä niukasti.

Kuivat kankaat on vähäisten humus- ja ravinnevarojen vuoksi perusteltua jättää kokonaan hakkuutähteen korjuutoiminnan ulkopuolelle, vaikka ne eivät ole olleet muita kasvupaikkoja herkempiä hakkuutähteen korjuun suhteen. Maan ravinteisuuden ylläpitämiseksi neulasten pitäisi aina jäädä tasaisesti hakkuualalle. Tällöin biomassan entistä tarkemmas- ta korjuusta aiheutuvat riskit ja ravinteiden korvaustarve jäisivät ilmeisesti vähäisiksi. Mikäli oksat jätetään kuivumaan päätehakkuukoissa, osa kuivuneista neulasista varisee hakkuualalle. Männy- n neulaset eivät juuri varise, joten olisi kehitettävä korjuuteknologiaa, jonka avulla neulaset voitaisiin irrottaa oksista ja jättää hakkuualalle.

Kannoissa poistetaan suhteellisen vähän ravinteita hakkuutähteisiin verrattuna, ja kantojen korjuun kohdalla muut kuin suoranaiset ravinnevaikutukset ovat tärkeämpiä. Kantojen korjuu on vahva maaperää muuttava toimenpide, jonka kaikista vaikutuksista tulisi olla enemmän tietoa ennen korjuumäärien lisäämistä. Tällä hetkellä pohditaan kantojen korjuun laajentamista myös männiköihin. Mäntyjen tukijuuret ovat kuusta syvemmällä, joten maaperävaikutusten voidaan olettaa ulottuvan männiköissä syvemmälle kuin kuusikoissa. Kantojen korjuu vähentää maaperän hitaasti hajoavaa orgaanista ainesta, jonka määrällä on merkitystä maan viljavuudelle muutenkin kuin ravinnevarastona. Se vaikuttaa maan lämpöoloihin, ja erityisesti karkeilla kangasmailla orgaaninen aines on tärkeä maaperän veden ja ravinteiden pidätyskyvyn kannalta.

Hakkuutähteen korjuun aiheuttamien ravinnehäviöiden korvaamista esimerkiksi tuhalla ja typpilannoitteilla harkitaan parhaillaan eri tahoilla. On kuitenkin huomattava, että lannoitteet eivät korvaa maaperän orgaanisen aineen vähenemistä eivätkä sen laadun muutoksia. Alustavat tulokset hakkuutähteen korjuun epäedullisista vaikutuksista maan viljavuuden kannalta tärkeisiin tekijöihin, kuten typen mineralisaatioon ja orgaanisen aineksen hajoamiseen, vahvistavat käsitystä siitä, että neulaset olisi mieluiten jätettävä hakkuualalle.

Kirjallisuutta

- Helmisaari, H.-S. 1995. Nutrient cycling in *Pinus sylvestris* stands in eastern Finland. *Plant and Soil* 168–169: 327–336.
- , Finér, L., Kukkola, M., Lindroos, A.-J., Lairo, J., Piirainen, S., Saarsalmi, A., Smolander, A. & Tamminen, P. 2008. Energiapuun korjuu ja metsän ravinnetase. Julkaisussa: Kuusinen, M. & Ilvesniemi, H. (toim.). Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset, tutkimusraportti. Tapion ja Metlan julkaisuja (saatavissa www.metsavastaa.net/energiapuu/raportti). s. 18–29.
- Jacobson, S., Kukkola, M., Malkönen, E. & Tveite, B. 2000. Impact of whole-tree harvesting and compensatory fertilization on growth of coniferous thinning stands. *Forest Ecology and Management* 129: 41–51.
- Näsholm, T., Kielland, K. & Ganeteg, U. 2009. Uptake of organic nitrogen by plants. *New Phytologist* (painossa, doi 10.1111/j.1469-8137.2008.02751.x).
- Olsson, B.A., Staaf, H., Lundkvist, H., Bengtsson, J. & Rosén, K. 1996. Carbon and nitrogen in coniferous forest soils after clear-felling and harvests of different intensity. *Forest Ecology and Management* 82: 19–32.
- Smolander, A., Levula, T. & Kitunen, V. 2008. Response of litter decomposition and soil C and N transformations in a Norway spruce thinning stand to removal of logging residue. *Forest Ecology and Management* 256: 1080–1086.
- Wall, A. 2008. Effect of removal of logging residue on nutrient leaching and nutrient pools in the soil after clearcutting in a Norway spruce stand. *Forest Ecology and Management* 256: 1372–1383.

■ MMT Heljä-Sisko Helmisaari, MH Mikko Kukkola, MMM Jukka Lairo, FT Anna Saarsalmi, MMT Aino Smolander ja MMT Pekka Tamminen, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö.

Sähköposti helja-sisko.helmisaari@metla.fi