

ENERGIAPUUN KORJUUN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Tutkimusraportti



© Metsäntutkimuslaitos ja Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2008

Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset
Tutkimusraportti
Tapion ja Metlan julkaisuja

Toimittaneet:
Martti Kuusinen
Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio
Soidinkuja 4, 00700 HELSINKI
martti.kuusinen@tapio.fi

Hannu Ilvesniemi
Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö
PL 18, 01301 VANTAA
hannu.ilvesniemi@metla.fi

Kannen kuvat: Erkki Oksanen / Metla, Tage Fredriksson

Taitto: Marianne Grundström

Julkaistu internetissä 11.2.2008:
www.metsavastaa.net/energiapuu/raportti

URN:ISBN:978-952-5694-27-7

Suosittelava viittausesimerkki:

Laitila, J., Asikainen, A. & Anttila, P. 2008. 1. Energiapuuvarat. Ss. 6-12 julkaisussa:
Kuusinen, M., Ilvesniemi, H. (toim.) 2008. Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset, tutkimusraportti.
Tapion ja Metlan julkaisuja. [Verkkodokumentti]. Saatavissa www.metsavastaa.net/energiapuu/raportti.

Johdanto

Bioenergian tuotannolle on asetettu 1990- ja 2000-luvuilla merkittäviä poliittisia kasvutavoitteita. Tausalla ovat ennen kaikkea ilmaston muutoksen haitallisten vaikutusten ehkäisyyn tähtäävät kansainväliset sitoumukset kasvihuonekaasupäästöjen leikkaamiseksi. Suomessa puu on lisäämispotentiaaliltaan merkittävin hiilidioksidineutraali polttoaine. Turpeen varannot ovat kertaluokkaa suuremmat, mutta se on päästökauppajärjestelmässä luokiteltu fossiiliseksi polttoaineeksi. Puuenergian lisääminen vähentää kasvihuonepäästöjä kuitenkin vain, jos sillä korvataan fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Puuta polttamalla pystytään Suomessa tuottamaan energiaa ilman, että sen kasvatus-, korjuu- ja tuotantoketjun yhteydessä syntyy merkittäviä hiilidioksidipäästöjä. Kasvihuonekaasupäästöjen leikkaamista ajatellen puu on siis varsin hyvä vaihtoehto fossiilisten polttoaineille.

Massiivisista puuvarannoista ja metsien hyvästä kasvusta huolimatta energiapuuvaramme eivät kuitenkaan yksistään riitä korvaamaan fossiilisten polttoaineiden osuutta nykyisestä energiankulutuksesta. Lisäämällä metsähakkeen käyttöä teknis-taloudellisen korjuupotentiaalinsa tasolle, toisin sanoen viisinkertaistamalla metsähakkeen nykykäyttöä, katettaisiin arviolta 6 % maamme nykyisestä energiankulutuksesta. Energia- ja ilmastopoliittikan on siis perustuttava useiden eri energiamuotojen rinnakkaiskäyttöön ja ennen kaikkea energiankulutuksen kasvun katkaisemiseen.

Metsien, kuten muidenkin luonnonvarojen, käytössä on sitouduttu kestävä kehityksen periaatteisiin. Energiapuun käytön osalta tavoitteiden asettelu on paradoksaalista: kasvattamalla biomassan talteenottovolyymia ehkäisemme globaalia ympäristöongelmaa eli ilmastonmuutosta, mutta aiheutamme samalla merkittäviä alueellisia ympäristövaikutuksia. Suomen metsistä yli 90 % on ennestään metsätalouden ja ainespuunkorjuun vaikutuspiirissä. Kun päätehakuiden ainespuun korjuuseen yhdistetään latvusmassan ja kantojen talteenotto, biomassan poistuma kasvupaikalta voi kasvaa yli puolella ja ravinnepoistumat voivat moninkertaistua. Muita merkittäviä suoria vaikutuksia ovat mm. maanpinnan rikkoontuminen sekä lisääntyvät puunkorjuun maastovauriot.

Energiapuun talteenoton seurannaisvaikutuksista tiedetään vielä vähän. Tilanne on ongelmallinen, koska vaikutusten selvittäminen edellyttää pitkäkestoisia koesarjoja ja samalla käytännön energiapuunkorjuu on jo varsin intensiivistä. Vuonna 2005 laadittiin Metsätalouden kehittämiskeskus Tapiossa ensimmäiset valtakunnalliset suositukset kestäväälle energiapuunkorjuulle. Tutkitun tiedon vähyyden takia suositukset nojaavat varovaisuus-

periaatteeseen, ja suosituksia päivitetään uusien tietojen perusteella. Vuonna 2007 on Metsäntutkimuslaitoksessa käynnistynyt *Bioenergiaa metsistä* –tutkimus- ja kehittämisohjelma, joka tuottaa lähivuosina laaja-alaisesti tietoa metsäenergian korjuun ja käytön ympäristövaikutuksista.

Tämän tutkimusraportin tavoitteena on koota yhteen uusin käytettävissä oleva ja ajantasainen tutkimustieto energiapuunkorjuun ekologisista, sosiaalisista ja taloudellisista vaikutuksista. Vastaavanlainen julkaisu on laadittu aiemmin vuonna 2001 (Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 816). Tarkastelussa keskitytään energiapuun talteenoton vaikutuksiin metsässä. Metsää tarkastellaan ennen kaikkea ekosysteeminä, metsätalouden toimintaympäristönä ja osana ihmisen elinympäristöä. Tarkastelun ulkopuolelle on rajattu mm. pääosa yhteiskunnallisista ja kansantaloudellisista elinkaari- ja kerrannaisvaikutuksista, tuhkaan liittyvät jäteongelmat, korjuuteknologiaan liittyvät vaikutukset ja energiantuotannon omavaraisuustarkastelut. Ympäristövaikutusten arvioinnissa tulee aina pyrkiä kokonaisvaltaiseen tarkasteluun. Resurssien rajallisuuden takia joudutaan kuitenkin väistämättä tekemään rajauksia.

Puuenergia ja energiapuuta voidaan määrittellä monella tavalla. Tässä raportissa käsitellään nimenomaan metsähakkeen korjuun ympäristövaikutuksia. Metsähakkeen osuus puuperäisen energian kokonaistuotannosta on kuitenkin alle 10 %. Valtaosa metsäperäisestä bioenergiasta on lähtöisin metsäteollisuuden jäteliemien ja muiden sivutuotteiden poltosta. Pääosa puuenergiasta korjataan siis käytännössä ainespuun muodossa ja sen metsään liittyvät ympäristövaikutukset ovat yhtenevät perinteisen ainespuunkorjuun vaikutuksiin. Jatkossa energiapuun ja ainespuun määrittely mutkistuu entisestään, kun metsäteollisuuslaitosten yhteydessä aletaan tuottaa toisen sukupolven biopolttoaineita.

Raportti on koottu Metsätalouden kehittämiskeskus Tapiion ja Metsäntutkimuslaitoksen yhteistyönä, osana Tapiion ja Viron metsähallituksen (Riigimetsa majandamise keskus) hanketta *Energiapuun käytön edistäminen ja ympäristövaikutukset*. Hanke sai rahoitusta Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR) ja toteutti Etelä-Suomen ja Viron INTERREG IIIA -ohjelmaa. Muut rahoittajat olivat Uudenmaan liitto ja Viron sisäministeriö.

Helsingissä 28.1.2008

Martti Kuusinen

Hannu Ilvesniemi

Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset

Sisällys

Johdanto

1 Energiapuuvarat	6
1.1 Suomen metsävarat	6
1.1.2 Energiapuun määrän arviointi	6
1.1.3 Arvio metsähakkeen määrästä	8
1.2 Energiapuun käyttö ja käyttötavoitteet	9
1.3 Metsäenergian korjuumenetelmät	10
1.3.1 Haketustavat	10
1.3.2 Metsäenergian korjuu metsässä	11
1.3.3 Korjuumenetelmät nyt ja tulevaisuudessa	12
2 Metsien kasvihuonekaasutaseet ja energiapuun käyttö	13
2.1 Ilmastonmuutos ja kasvihuonekaasutaseet	13
2.2 Kioton pöytäkirja ja metsät	13
2.3 Metsien kasvihuonekaasutaseiden laskentamenetelmät	14
2.3.1 Hakkuumahdollisuusarviot	14
2.3.2 Arviot metsähakkeen käyttömahdollisuuksista	14
2.3.3 Kasvihuonekaasutaselaskenta	14
2.4 Metsien kasvihuonekaasuase	15
2.4.1 Kasvihuonekaasutaseet nykypäivään asti	15
2.4.2 Kasvihuonekaasutaseet MELA-hakkuumahdollisuusarvioiden mukaan	15
2.4.3 Energiapuun korjuun vaikutus	16
2.5 Puuenergian käytön kasvihuonekaasutasevaikutukset	17
3 Energiapuun korjuu ja metsän ravinnetase	18
3.1 Energiapuun korjuun vaikutukset kangasmaiden ominaisuuksiin	18
3.1.1 Metsämaan happamuus	18
3.1.2 Metsämaan fysikaaliset ominaisuudet	19
3.2 Energiapuun korjuun vaikutukset kangasmaiden ravinteiden saatavuuteen ja ravinnetaseisiin	19
3.2.1 Maaperän ravinnevarat	19
3.2.2 Ravinnetase	20
3.2.3 Energiapuun korjuun vaikutukset ravinteiden, raskasmetallien ja kiintoaineksen huuhtoutumiseen kasvupaikalta	23
3.3 Energiapuun korjuun vaikutukset turvemaiden ominaisuuksiin ja ravinnetaseisiin	24
3.4 Energiapuun korjuun vaikutus kangasmaiden puuntuotoskykyyn	25
3.4.1 Kangasmetsien ensiharvennukset	25
3.4.2 Kangasmetsien päätehakkuut	26
3.5 Puuntuhkan käyttö maanparannusaineena	27
3.5.1 Kangasmaat	27
3.5.2 Turvemaat	28
4 Energiapuun korjuun vaikutukset metsälajiston monimuotoisuuteen	30
4.1 Taustaa	30
4.2 Kasvillisuus	31
4.3 Lahopuusta riippuvaiset eliöt	31
4.4 Maaperäeliöstö	34
4.5 Johtopäätökset ja suositukset	34

5 Energiapuunkorjuu osana metsänhoitoa ja puuntuotantoa	36
5.1 Metsäbiomassan korjuu energiakäyttöön päätehakkuualoilta	36
5.2 Latvusmassan korjuun vaikutukset metsänuudistamisen operaatioihin	36
5.2.1 Kantojen korjuun vaikutukset metsänuudistamisen operaatioihin	36
5.2.2 Metsäbiomassan korjuun vaikutus uudistamistulokseen ja taimikon kehitykseen	37
5.3 Metsäbiomassan korjuu energiakäyttöön taimikoista ja nuorista metsistä	38
5.3.1 Pienpuun korjuu taimikoista ja nuorista metsistä	39
5.3.2 Taimikoista ja kasvatusmetsistä korjatun latvusbiomassan vaikutus puuston kasvuun	39
5.4 Yhteenvedo metsäbiomassan korjuun vaikutuksista metsänhoitoon	40
6 Metsäenergian tuotannon ja käytön resurssitarpeet sekä aluetalousvaikutukset	42
6.1 Metsäenergian tuotannon ja käytön resurssitarpeet	42
6.1.1 Hankintakohteet ja tarvittavan konekaluston määrä	42
6.1.2 Työvoimatarpeet	42
6.1.3 Investointiarviot	43
6.1.4 Lämpötilayrittäjyyden mahdollisuudet	43
6.2 Metsäenergian hankinnan aluetalousvaikutukset	44
6.2.1 Hankintaketjujen välittömät työllisyys- ja tulovaikutukset	44
6.2.2 Metsäenergian tuotannon ja käytön aluetalousvaikutukset	45
6.2.3 Metsänparannustuet jäävät maakuntien hyväksi	46
6.3 Tutkimustietoa metsäenergian tuotannon ja käytön aluetalous- ja ulkoisvaikutuksista tarvitaan	46
7 Metsien terveys ja tuhot	47
7.1 Hyönteistuhot	47
7.2 Energiapuun korjuu ja pienjyrsijät	48
7.3 Sienituhot	49
7.3.1 Juurikäpäriski energiapuuharvennuksissa	49
7.3.2 Juurikäävän torjunta päätehakkuukohteilla	50
7.4 Puutavaran korjuuta koskeva lainsäädäntö	52
8 Energiapuun korjuun vaikutus maiseman laatuun ja metsien	53
8.1 Talousmetsien virkistyskäyttö	53
8.2 Lähimaiseman viihtyisyys	53
8.3 Energiapuun korjuun vaikutus maisemaan ja metsien virkistyskäyttöön	54
8.4 Yhteenvedo	56
9 Johtopäätökset	57
9.1 Ympäristövaikutukset ja metsähakkeen korjuumäärien kasvattaminen	57
9.2 Tapion suositukset energiapuun korjuuseen	58
9.2.1 Merkitys ja toteutuminen käytännössä	58
9.2.2 Korjuusuositusten muutostarpeet	59
9.2.3 Muut toimenpiteet-ehdotukset	60
Kirjallisuus	62

1 Energiapuuvarat

Juha Laitila, Antti Asikainen ja Perttu Anttila
Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö

1.1 Suomen metsävarat

Suomen metsävaratiedot perustuvat valtakunnan metsien inventointeihin (VMI). Tuoreimpien inventointitietojen (VMI 10) mukaan Suomen metsien puuvaranto on 2176 miljoonaa kiintokuutiometriä kuorellista runkopuuta, jonka tilavuudesta puolet on mäntyä, 30 prosenttia kuusta ja viidennes lehtipuuta (Korhonen ym. 2007). Puuston kasvu on 97 miljoonaa kiintokuutiometriä (m³) vuodessa ja puulajien osuudet kasvusta ovat lähes samat kuin ne ovat kokonaistilavuudesta. Puuston poistuma vuonna 2006 oli arviolta 65,4 miljoonaa kiintokuutiometriä runkopuuta (Sevola ja Suihkonen 2007). Poistuma koostuu eri käyttötarkoituksiin korjatusta puutavarasta, metsään puunkorjuun yhteydessä jäävästä hukkarunkopuusta sekä luontaisesti kuolleesta runkopuusta.

Ainespuun hakkuumäärä oli vuonna 2006 noin 51 miljoonaa kiintokuutiometriä ja raakapuun kotitarvekäyttö poltto- ja sahapuuna arviolta 6 miljoonaa kiintokuutiometriä (Sevola ja Suihkonen 2007). Hakkuiden hukkarunkopuun ja luonnonpoistuman määrä on arviolta 8,4 miljoonaa kiintokuutiometriä vuodessa. Kasvun (97 milj. m³) ollessa suurempi kuin poistuma (65,4 milj. m³) Suomen metsien puuvaranto karttuu hakkuusäästönä, jonka kertymä vuonna 2006 oli arviolta 31,6 miljoonaa kiintokuutiometriä. Runkopuun ohella puusto koostuu myös latvuksesta ja juuristosta, joiden osuus puuston kokonaisbiomassasta on merkittävä etenkin kuusella (Hakkila 2004).

Kuiduttavan ja mekaanisen puunjalostusteollisuuden puustamaksukyky on suurempi verrattuna sähkön ja lämmöntuotannon puustamaksukykyyn, minkä vuoksi ainespuumittaista puuta ei juurikaan hankita energiakäyttöön. Poikkeuksen tästä muodostavat nuorten metsien hoitokohteet, joilta kertyy jonkin verran myös ainespuumittaista puutavaraa, mutta jonka erillinen korjuu ei ole pienen kertymän vuoksi järkevää tai kannattavaa puunjalostusteollisuuden tarpeisiin. Kioton ilmastonmuutossopimuksen mukaiset kasvihuonekaasupäästöjen vähennysvelvoitteet sekä päästökauppa ovat lisänneet energian tuottajien mielenkiintoa päästövapaita puupolttoaineita kohtaan. Päästökauppaneکانismi on lisännyt bioenergian kilpailukykyä fossiilisiin

polttoaineisiin verrattuna lisäen myös energiantuottajien maksukykyä. Puun energiakäytön lisääntymistä rajoittaa kuitenkin markkinoilla olevan puun saatavuus. Puunjalostusteollisuuden sivutuotteet (kuori ja puru) hyödynnetään jo nyt täysimääräisesti, joten lisää puuta on käytännössä mahdollista saada ainoastaan metsähakkeena.

Metsähake on polttohaketta tai -murskaa, jonka raaka-aine ei sovellu puu- tai korjuuteknisten ominaisuuksien vuoksi puuta jalostavan teollisuuden tarpeisiin. Tällaista puuta on mm. nuorten metsin kunnostuskohteilta korjattava pieniläpimittainen kokopuu tai karsittu ranka, ainespuun korjuun yhteydessä metsään jäävä hukkarunkopuu ja latvusbiomassa sekä päätehakkuukohteilta korjattavissa oleva kanto- ja juuripuu. Hukkarunkopuun ja latvusbiomassan korjuu keskittyy korjuuteknisistä syistä päätehakkuuleimikoille, joilla latvusmassahakkeen kertymä on moninkertainen normaaleihin ainespuuharvennuksiin verrattuna, ja joilla jäävä puusto ei haittaa työskentelyä. Talteenotto rajoittuu lähinnä kuusen ja toissijaisesti männyn uudistusaloille, sillä kuusikoilla latvusmassan kertymä on kaksinkertainen männiköihin verrattuna (Hakkila 2004). Kanto- ja juuripuuta korjataan lähes pelkästään kuusen päätehakkuukohteilta, koska kuusella on maanpinnan myötäinen juuristo ja puuaineksen kertymä hehtaarilla kohden on korkea. Männyllä kannonnostoa vaikeuttaa syvä paalujuuri ja nostossa kannon mukana nousevat kivet ja muut epäpuhtaudet. Tyypillinen harvennusten energiapuun korjuukohte on hoitamaton, usein lehtipuuvaltainen nuori kasvatusmetsä, jossa valtaosa poistettavasta puusta on alle ainespuumittaista.

1.1.2 Energiapuun määrän arviointi

Puuvaratietojen inventointi on rajoittunut lähinnä perinteisen teollisuuden jalostustarpeisiin kelvollisen ainespuun määrän arviointiin. Metsäbiomassan määrä, jota voidaan hyödyntää energiantuotannossa on jäänyt säännöllisen seurannan ulkopuolelle.

Energiapuuvaroja on kuitenkin arvioitu eri käyttötarkoituksiin olemassa olevien puustotietojen ja

biomassayhtälöiden ja kertoimien avulla. Yleensä tehdyt arviot ovat perustuneet valtakunnan metsien inventointitietoihin (esim. Hakkila 1992, Laitila ym. 2004, Heikkilä ym. 2005) mutta määriä on arvioitu myös metsäyhtiöiden leimikkotietojen pohjalta (Asikainen ym. 2001, Ranta 2002) ja hakkuutilastojen pohjalta (Hynynen 2001). Kertymiä on arvioitu myös metsäsuunnitelmien alueellisten yhdistelmien sekä valtion ja metsäyhtiöiden hakkuu- ja hoitosuunnitelmien avulla (Leiviskä ym. 1993). Vaihtoehtoisten metsikön käsittelyvaihtoehtojen ja hakkuuskenaarioiden tarkasteluun on kehitetty MELA-ohjelmisto ja energiapuulaskelmia varten Energia-MELA (Mielikäinen ym. 1995, Malinen ja Pesonen 1996, Keskimölo ja Malinen 1997). Teknisten ja taloudellisten rajoitteiden vaikutusta energiapuukertymiin on mahdollista tarkastella myös metsäsuunnitelman kuvioaineistoa hyödyntävällä menetelmällä (Pasanen ym. 1997). Tässä esiteltävät tulokset on laskettu VMI-aineistojen ja markkinahakkuutilastojen pohjalta (Helynen ym. 2007).

Metsähakkeen saatavuuden tarkastelussa olivat mukana nuorten metsien harvennuksilta korjattava energiapuu ja päätehakkuukohteille ainespuun korjuun yhteydessä jäävä havupuiden latvusmassa ja kuusen kantobiomassa. Nuorten metsien energiapuu oletettiin korjattavan oksineen ns. kokopuumenetelmällä. Tarkastelussa olivat mukana Ahvenanmaata lukuun ottamatta kaikki Suomen maakunnat. Nuorten metsien energiapuun kertymätarkastelu kattoi koko manner-Suomen, lukuun ottamatta Utsjoen, Enontekiön ja Inarin kuntia, jotka jäivät laskentateknisistä syistä tarkastelun ulkopuolelle. Latvusmassan ja kantobiomassan saatavuutta ei laskettu Utsjoen kuntaan, koska alue sijaitsee pääosin puurajan pohjoispuolella ja alueelta ei ollut saatavissa tarvittavaa laskenta-aineistoa. Ainespuuharvennusten latvusmassa ja kantopuu rajattiin kertymätarkastelun ulkopuolelle, samoin kuin päätehakkuuiden männyn kannot, koska nykyinen korjuuteknologia ei mah-

dollista niiden laajamittaista talteenottoa osana ainespuun hankintaa tai metsänuudistamista.

Ainespuuvaltaiset ensiharvennukset, joissa ainespuumittaisen puutavaran kertymä on yli 25 m³ hehtaarilla, rajattiin myös kertymätarkastelun ulkopuolelle. Ainespuuksi luettiin ne rungot, joiden rinnankorkeusläpimitta oli yli 9 cm ja jotka täyttivät teollisen ainespuun muut mitta- ja laatuvaatimukset. Peruseriaatteena laskelmaa tehtäessä oli, että energian tuotanto ei rajoita metsäteollisuuden raaka-aineen saantia ja energiakäyttöön menee materiaali, joka ei täytä puunjalostusprosessien mitta- tai laatuvaatimuksia.

Nuorten metsien energiapuukertymät perustuvat valtakunnan metsien 9. ja 8. inventoinnin (VMI 9) metsäkeskuskohtaisiin koealatietoihin (esim. Tomppo ym. 2001 ja Korhonen ym. 2001) sekä monilähdeinventoinnin kuntakohtaisiin tietoihin (Tomppo ym. 1998). Laskennassa olivat mukana ne varttuneiden taimikoiden ja nuorten kasvatusmetsien VMI-koealat, joilla oli ensimmäisellä 5-vuotiskaudella harvennustarve, energiapuun kertymä oli yli 25 m³ hehtaarilta ja ainespuumittaista puutavaraa kertyi enintään 25 m³ hehtaarilta (Laitila ym. 2004). VMI:n koealatietoihin, jotka ilmoitettiin runkopuun tilavuuksina, lisättiin oksamassan määrä Hakkilan (1991) biomassayhtälöiden avulla. Lopullisissa tuloksissa kertymää ei jaoteltu erikseen aines- ja energiapuuhun, vaan kaikki harvennuspoistuman puut oletettiin korjattavan kokopuuna energiakäyttöön.

Päätehakkuilta kertyvän latvusmassan ja kantojen kertymät ovat sidoksissa teollisuuden puunkäyttöön, joten saatavuuslaskelmat perustuvat vuoden 2004 toteutuneisiin puutavaralajikohtaisiin markkinahakkuumääriin, jotka on tilastoitu kunnittain ja metsäkeskuksittain (www.metinfo.fi). Vuoden 2004 hakkuutilastossa olivat mukana sekä yksityismetsien, Metsähallituksen että metsäyhtiöiden omien metsien hakkuut. Kertymälaskelmat perustuivat kuusi- ja mäntytukkien kuntakohtaisiin hakkuumää-

Taulukko 1

Latvusmassahakkeen ja kantobiomassan kertymät suhteessa ainespuumäärään ja korjuun talteensaantoprosentit (Hakkila 1991, Asikainen ym. 2001, Hakkila 2004).

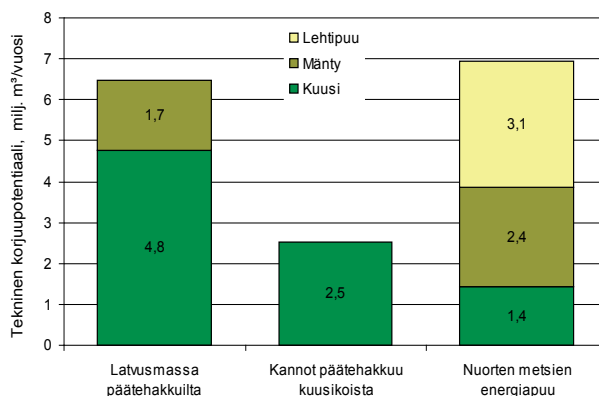
Latvusmassaa Etelä-Suomessa, % per kuusi ainespuu-m ³	44 %
Latvusmassaa Pohjois-Suomessa, % per kuusi ainespuu-m ³	68 %
Latvusmassaa Etelä-Suomessa, % per mänty ainespuu-m ³	21 %
Latvusmassaa Pohjois-Suomessa, % per mänty ainespuu-m ³	28 %
Latvusmassan talteensaanto-% työmaalla	70 %
Kantobiomassaa, % per kuusi ainespuu-m ³	28 %
Kantobiomassan talteensaanto-% työmaalla	95 %

riin. Latvusten, oksien, runkohukkapuun ja kantojen osuus suhteessa korjattuun ainespuumäärään arviointiin taulukon 1 kertoimien perusteella. Kuusen ja männyn latvusmassakertymää laskettaessa Pohjois-Suomen alueeseen kuuluivat Lapin, Kainuun ja Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskusten kunnat (Hakkila 1991).

Kantobiomassan saatavuus laskettiin pelkästään kuusen kannoille. Laskelmissa oletettiin, että 65 % kuusikoiden päätehakkuisista, joista korjataan latvusmassaa, ovat myös sopivia kantojen korjuukohteita. Kuusen kantojen maksimaaliseksi talteensaannoksi oletettiin 95 % (tekninen korjuupotentiaali), koska osa kannoista jätetään ekologisista syistä nostamatta ja maahan jää noston yhteydessä juuripuuta. Latvusmassahakkeen talteensaanto oli laskelmissa 70 % (tekninen korjuupotentiaali). Tarkemmat kantobiomassan laskentaperusteet on esitetty taulukossa 1. Lopullisissa tuloksissa päätehakkuiden latvusmassan, kantobiomassan sekä nuorten metsien energiapuun vuotuiset kertymät ilmoitettiin kiintokuutiometreinä.

1.1.3 Arvio metsähakkeen määrästä

Päätehakkuiden latvusmassan sekä kantobiomassan korjuupotentiaali oli vuoden 2004 hakkuumäärien perusteella 6,5 miljoonaa kiintokuutiometriä havupuiden latvusmassaa ja 2,5 miljoonaa kiintokuutiometriä kuusen kantobiomassaa vuodessa (Kuva 1). Kuusen osuus latvusmassan kertymästä oli 4,8 miljoonaa kiintokuutiometriä ja männyn 1,7 miljoonaa kiintokuutiometriä vuodessa. Harvennuksilta korjattavan nuorten metsien energiapuun korjuupotentiaali oli 6,9 miljoonaa kiintokuutiometriä vuodessa ja kertymästä valtaosa oli lehtipuuta. Mikäli nuorten metsien energiapuu korjattaisiin karsittuna, niin kertymä pienenesi arviolta 42–46 % (Heikkilä ym.



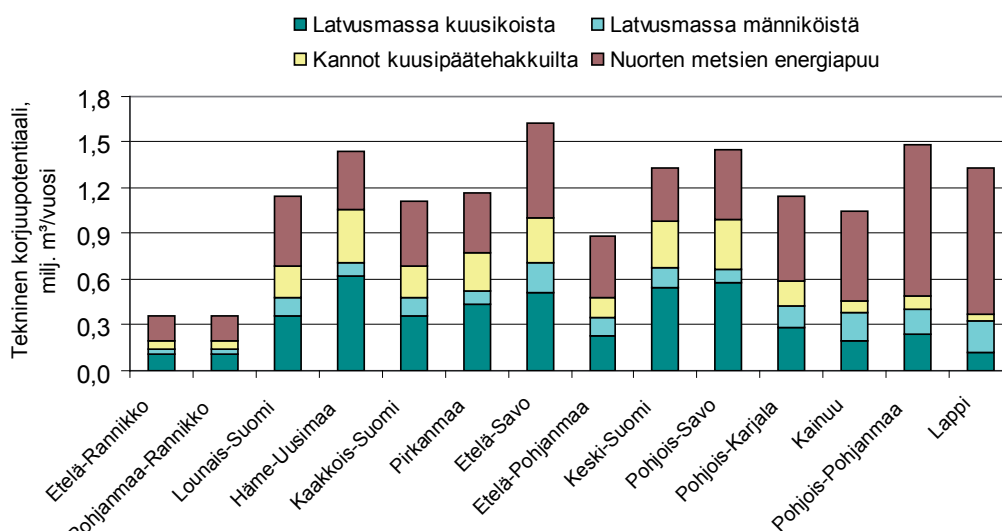
Kuva 1. Päätehakkuiden latvusmassan, kantobiomassan sekä nuorten metsien energiapuun vuotuinen korjuupotentiaali.

2005). Rankana korjuussa kertymä pienenee, kun latvusmassa jää metsään. Lisäksi rankana korjuussa energiapuun kertymälle asetettu 25 m³/ha minimikoko on selvästi vaikeampi saavuttaa kuin kokopuuna korjuussa, mikä myös osaltaan pienentää rankapuun alueellisia kertymiä kokopuun kertymiin verrattuna (Laitila ym. 2005).

Kuvasta 2 huomataan, että päätehakkuilta korjattavan metsähakkeen korjuupotentiaali on suurin Etelä- ja Keski-Suomessa ja että nuorten metsien energiapuun suhteellinen osuus korjuupotentiaalista kasvaa siirryttäessä etelästä pohjoiseen päin. Tulokset ovat esitetty metsäkeskuksittain.

Kuvissa 1 ja 2 esitetyt metsähakekertymät ovat teknisiä korjuupotentiaaleja. Käytännössä kertymien hyödynnettävyyttä rajoittavat teollisuuden ainespuun korjuumäärien suhdannevaihtelut, metsänomistajien halukkuus luovuttaa hakkuutähteitä ja kantoja, nuorten metsien energiapuun tulo markkinoille, sekä nuorten metsien harvennuspuun korjuutukien määrä ja rahoitusehdot. Metsäbiomassan talteensaannossa voi olla myös leimikkokohtaista vaihtelua esim. neulasten varisemisen tai latvusmassan huonon kasoillehakuun takia. Metsäverojärjes-

Kuva 2. Päätehakkuiden latvusmassan, kantobiomassan sekä nuorten metsien energiapuun vuotuinen korjuupotentiaali metsäkeskuksittain.



telmän muutos voi myös jonkin verran vaikuttaa hakkuiden rakenteeseen. Pinta-alaverotuksessa olleet metsäomistajat ovat purkaneet pätehakuiden hakkuusäästöjä. Metsäverojärjestelmän siirtymäkauden jälkeen entistä suurempi osa ainespuusta tultaneen korjaamaan harvennuksilta. Metsäverouudistuksen siirtymäkausi päättyi vuoden 2005 lopussa.

Nuutisen ym. (2005) mukaan kuusitukin ja -kuitupuun hakkuumäärät ylittivät siirtymäkauden loppuvuosina kuusen kestävät hakkuumahdollisuudet monilla alueilla. Skenaariolaskelmien mukaan kuusitukin hakkuut voidaan pitää vuosina 2006–2011 vuosien 2002–2004 tasolla, mutta sen jälkeen hakkuumahdollisuudet vähenevät noin 85 prosenttiin huippuvuosien 1997–2001 keskimääräisestä tasosta. Hakkuumahdollisuudet vähenevät eniten Keski-Suomen, Pohjois-Savon, Etelä-Pohjanmaan, Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun metsäkeskusten alueella. Sen sijaan mäntytukin hakkuut voidaan metsävarojen puolesta pitää viime vuosien tasolla koko maassa (Nuutinen ym. 2005).

Harvennuskäytön ja -koivikoiden hakkuumahdollisuudet kasvavat tulevaisuudessa koko maassa. Energiapuun hankinnalle nuorista metsistä tämä on sekä haaste että mahdollisuus. Myös kuiduttavan metsäteollisuuden mielenkiinto kotimaista ensiharvennuspuuta ja hakkuusäästöjä kohtaan on lisääntynyt. Syynä tähän on se, että uusia käyttömuotoja ensiharvennuspuulle, erityisesti ensiharvennuskäyttöön on löydetty. Myös kiristynyt kilpailu tuontipuusta Itämeren alueella ja Venäjän ilmoittamat tullimaksujen korotukset havupuulle ovat lisänneet harvennuspuun hintakilpailukykyä kuiduttavan teollisuuden prosesseissa. Tämä yhdessä kasvavan puupolttoaineen tarpeen kanssa puoltaa kuitu- ja energiapuun integroitua hankintaa, jossa erottelu kuitu- ja energiaositteeseen tapahtuisi vasta massatehtaan kuorimarmumissa. Integroinnilla tavoitellaan pienempiä kokonaishankintakustannuksia kuin aines- ja energiapuujakeiden erillishankinnassa. Vakiintuneita ja kustannustehokkaita toimintamalleja ja korjuutekniikoita aines- ja energiapuun integroituun hankintaan ensiharvennuksille ei ole kuitenkaan vielä löydetty, ei ainakaan sellaisia, että ne olisivat kustannustehokkaita myös pitkällä kaukokuljetusmatkoilla.

Pätehakuilta korjattavan hakkuutähdehakeen korjuukustannukset ovat pienimmät ja harvennuksilta korjattavan kokopuuhakeen korjuukustannukset ovat suurimmat. Pienpuuhakeen kompastuskivenä on ollut sen hakkuutähdehakea noin 50 % korkeampi tuotantokustannus, joka aiheutuu lähinnä pienpuun kalliista kaadosta ja kasauksesta. Hakkuutähdehakeen kohdalla tätä kustannusta ei juuri ole, koska hakkuutähdehakeen kasaus voidaan hakkuukoneen yöta-

paa muuttamalla integroida ainespuun korjuuseen. Muissa korjuun työvaiheissa kustannuserot hakkuutähdehakeen ja pienpuuhakeen välillä ovat vähäiset. Hakkuutähdehakeen keskimääräinen korjuukustannus tienvarressa organisaatiokustannukset huomioiden on irtonaisella hakkuutähdehakeella 7 €/m³ ja paalatulla hakkuutähdehakeella 12 €/m³. Kantojen korjuukustannus tienvarteen toimitettuna on noin 13 €/m³ ja pienpuun 18 €/m³. Pienpuuhakeen hintakilpailukyky parantavat sille maksettavat korjuutuet. Nykyisellä energian hinnalla pienpuun korjuu on mahdollista vain valtion KEMERA-tukien turvin.

1.2 Energiapuun käyttö ja käyttötavoitteet

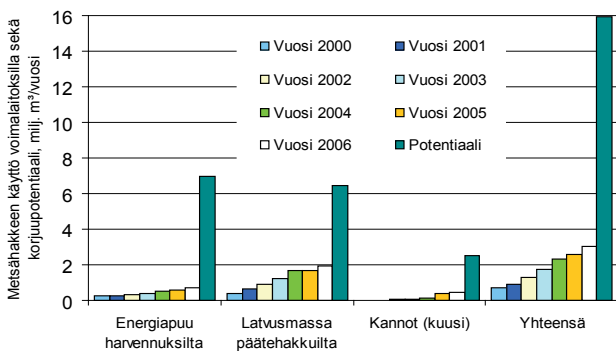
Lämpö- ja voimalaitoksissa käytettiin vuonna 2006 metsähaketta 3,1 miljoonaa kiintokuutiometriä ja pientalokiinteistöissä arviolta 0,4 miljoonaa kiintokuutiometriä (Ylitalo 2007a). Edelliseen vuoteen verrattuna metsähakeen käyttö kasvoi 17 %. Energiantuotannossa hyödynnetty metsähake koostui lähinnä latvusmassahakeesta, eli hakkuualta korjatuista oksista, latvuksista sekä tyvilumpeista. Niiden osuus metsähakeen käytöstä lämpö- ja voimalaitoksissa oli 64 %, kun mukaan lasketaan puunkorjuun yhteydessä kaadettu ja korjattu järeä runkopuu, joka ei esimerkiksi lahovikaisuuden vuoksi kelpaa ainespuuksi. Nuorten metsien harvennuksilta joko karsittuna tai karsimattomana korjatun energiapuun määrä oli 21 % metsähakeen käytöstä energiantuotannossa yhdyskunnissa ja teollisuudessa. Kanto- ja juuripuun osuus metsähakeen käytöstä oli 14 % vuonna 2006 (Ylitalo 2006). Pientalokiinteistöissä käytetty hake oli pääasiassa runkopuuhakea, joka oli tehty esim. pieniläpimittaisesta harvennuspuusta tai hukkarunkopuusta.

Metsähakeen käytön kasvu on ollut ripeää ja energiakäyttö on liki nelikertaistunut 2000-luvun aikana (Kuva 3). Kansallisessa metsäohjelmassa tavoitteeksi on asetettu 5 miljoonan kiintokuutiometrin vuotuinen käyttö vuoteen 2010 mennessä. Metsäsektorin tulevaisuuskaaviossa tavoitteeksi on puolestaan asetettu lisätä metsähakeen vuotuinen käyttö 8 miljoonaan kiintokuutiometriin vuoteen 2015 mennessä. Tämän vuosituhannen alkuvuosina metsähakeen käytön kasvu oli likimain 30 % vuodessa, mutta määrien kasvaessa suhteellinen vuosikasvu on kuitenkin puolittunut parin viime vuoden aikana (Ylitalo 2007a).

Metsähakeen käytön voimakkaan kasvun mahdollistivat 2000-luvun alussa muutamat isot laitosinvestoinnit, jollaisia viime vuosina ei ole ollut.

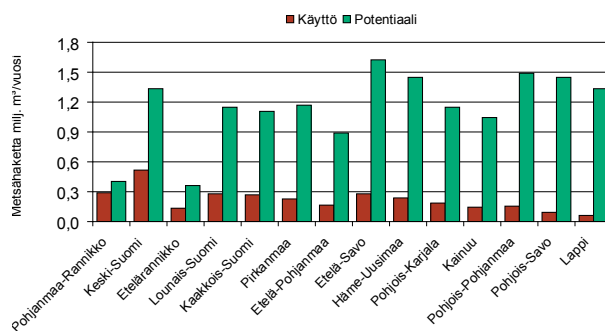
Nykyisin 30 suurinta energialaitoista käyttää 75 prosenttia kaikesta metsähakkeesta (Ylitalo 2007b). Metsähakkeen käyttöä voidaan lisätä nykyisissä laitoksissa, mutta vasta uudet investoinnit sähköä ja lämpöä tuottaviin laitoksiin yhdyskunnissa ja teollisuudessa mahdollistavat asetettujen käyttötavoitteiden saavuttamisen (Helynen 2006).

Verrattaessa laskettuja korjuupotentiaaleja metsähakkeen nykykäyttöön havaitaan, että 16 miljoonan kiintokuutiometrin korjuupotentiaalista on hyödynnetty lämpö- ja voimalaitosten energiantuotannossa noin viidennes (Kuva 3). Latvusmassahakkeen osalta metsähakkeen hyödyntämisaste on korkein. Noin kolmannes teknisesti korjattavissa olevassa latvusmassahakkeesta hyödynnetään jo nyt energiantuotannossa. Kannoista noin viidennes on energiakäytön piirissä. Nuorten metsien energia-puu potentiaalista vain kymmenesosaa hyödynnetään lämpö- ja voimalaitosten energiantuotannossa (Kuva 3).

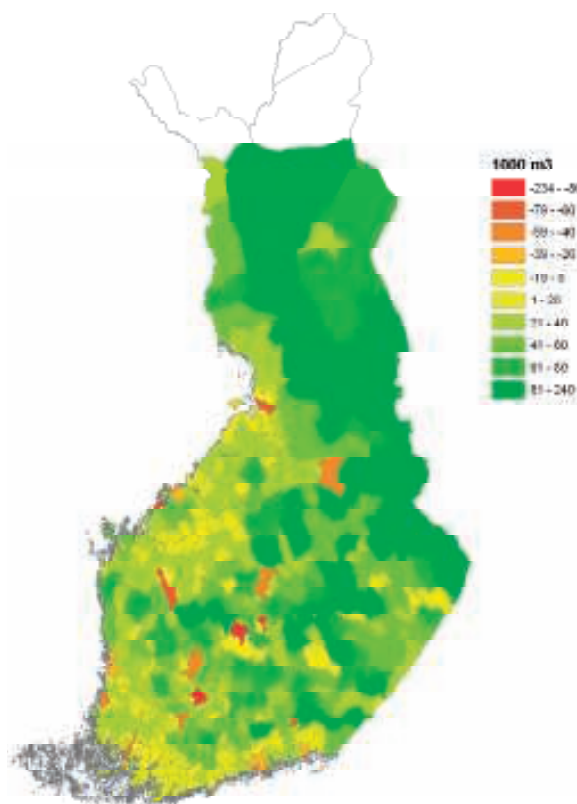


Kuva 3. Metsähakkeen käytön kehitys lämpö- ja voimalaitoksissa vuosina 2000–2006 (Ylitalo 2001–2007) sekä käyttömäärien suhde laskettuihin korjuupotentiaaliin valtakunnan tasolla.

Kun tarkastellaan käyttöä ja metsähakkeen korjuupotentiaaleja metsäkeskustasolla tai kuntatasolla (Kuva 4 ja 5), havaitaan, että käyttö on voimakkaasti keskittynyt rannikkoalueille sekä Keski-Suomeen. Suurimmat hyödyntämättömät raaka-aine varat sijaitsevat pääasiassa Itä- ja Pohjois-Suomessa. Valtakunnan tasolla Suomen metsäenergiavarat mahdollistavat niiden hyödyntämiselle asetetut tavoitteet, mutta alueellisesti voi ilmetä metsäenergian kysynnän ja tarjonnan välistä epätasapainoa ja siitä johtuvaa korjuukustannusten nousua. Käyttömäärien kasvaessa metsähaketta joudutaan kuljettamaan yhä pidemmiltä kuljetusmatkoilta ja korjuu joudutaan ulottamaan kustannuksiltaan aiempaa epäedullisimmille kohteille alueilla, joilla metsäenergian käyttökohteita on runsaasti. Toisaalta on alueita, esimerkiksi Pohjois-Savo, joilla metsäenergiavarat ylittävät reippaasti metsähakkeen nykykäytön ja olosuhteet ovat suotuisat merkittävällekin käyttömäärän kasvulle.



Kuva 4. Metsähakkeen käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa vuonna 2006 metsäkeskuksittain sekä metsähakkeen korjuupotentiaali.



Kuvan 5 kartassa on verrattu metsähakkeen vuotuista korjuupotentiaalia ja metsähakkeen käyttöä kuntatasolla. Punaisella värillä merkityt paikat ovat kuntia, joissa käyttö ylittää reippaasti kunnan alueelta korjattavissa olevan metsähakkeen määrän. Kolme pohjoisinta kuntaa ovat karttatarkastelun ulkopuolella laskentateknisistä syistä johtuen.

1.3 Metsäenergian korjuumenetelmät

1.3.1 Haketustavat

Metsähakkeen korjuumenetelmät voidaan jakaa haketuspaikkansa mukaan keskitetyn ja hajautetun haketuksen menetelmiin. Haketuksen keskittäminen käyttöpaikalle tai terminaaliin mahdollistaa suuret vuosituotokset, korkeat koneiden käyttöasteet ja



Kuva 5. Kuusikoiden päätehakkuaalat ovat merkittävien energiapuulähde, niiden latvusmassat ja kannot käsittävät 46 % metsähakkeen laskennallisesta korjuupotentiaalista. Etelä-Suomen kuusikoiden päätehakkuaaloilta saadaan korjattua latvusmassaa noin 30 % ja kantoja noin 27 % suhteessa hakatun ainespuun määrään (m³/ha).

Kuva: Erkki Oksanen / Metla”

alemmat haketuskustannukset. Menetelmällä päästään eroon ”kuumasta ketjusta”, jolloin tuotantoketjun kukin työvaihe voidaan tehdä niin tehokkaasti kuin kalustolla on mahdollista ilman turhia odotusaikoja. Jos materiaali puretaan suoraan murskaimen syöttökuljettimelle, voi odotusaikoja muodostua tässäkin hankintaketjussa. Käyttöpaikka- ja terminaalihaketusketjuissa metsäkuljetustyövaihetta seuraa tienvarsivarastoinnin jälkeen autokuljetustyövaihe. Käyttöpaikka- ja terminaalihaketuksen heikkoutena on se, että kuljetuksen kuormakoko jää käsittelemättömällä latvusmassalla, kokopuulla sekä kanto- ja juuripuulla pieneksi, mikä kasvattaa kuljetuksen kustannuksia etenkin kaukokuljetuksessa. Kuormakokoa on pyritty kasvattamaan tiivistämällä latvusmassa risutukeiksi, harvennuspuiden karsinnalla ja määrämittaan katkonnalla sekä kanto- ja juuripuulla puuaineksen pilkonnalla.

Suurten investointikustannusten vuoksi käyttöpaikalla haketus sopii vain suurille voimalaitoksille. Terminaaleista haketta voidaan toimittaa eri kokoluokan laitoksille ja terminaali on toimitusvarma puskurivarasto esimerkiksi kelirikkoaikana, jolloin sivuteiden käyttö on rajoitettua raskaan liikenteen osalta. Hakkeen laatua on myös helpompi kontrolloida, koska terminaalia voidaan käyttää hakepuun kuivatuspaikkana, ja kosteaa ja kuivaa haketta voidaan tarvittaessa sekoittaa laadun tasaamiseksi. Hakkeen ja hakepuun käsittely terminaalisissa lisäävät kustannuksia, samoin kuin mahdollinen ristiin kuljetus liikuteltaessa materiaalia ensiksi metsästä termi-naaliin ja sitten terminaalista voimalaitokselle. Haketerminaalit sijaitsevat yleensä metsähak-

keen käyttöpaikoiden läheisyydessä tai turvesoiden yhteydessä.

Hajautetun hakkeen tuotannon menetelmiä ovat välivarastolla tai palstalla tapahtuvaan haketukseen perustuvat korjuuketjut. Välivarastohaketuksessa materiaali haketetaan suoraan vieressä odottavan hakeauton kuormatilaan. Hakkurin ja hakeauton toiminnot kytkeytyvät kiinteästi toisiinsa, mikä merkitsee sitä, ettei haketusta ja kuljetusta voi limittää. Kaukokuljetusmatkasta riippuen odotusaikoja tulee joko hakkurille tai hakeautolle. Käytettäessä useampia hakeautoja hakkurin odotusaikoja voidaan vähentää, mutta silloin hakeautojen odotusajat saattavat kasvaa. Tämä ns. ”kuuma ketju” on myös altis keskeytyksille. Välivarastohaketusmenetelmässä auton kantavuus ja kuormakoko saadaan hyödynnettyä täysimääräisesti ja menetelmä on kuljetustehokas myös pitkällä kaukokuljetusmatkoilla. Välivarastohaketusjärjestelmä on hakkeen tuotannon perusratkaisu, joka soveltuu sekä pienille että suurille käyttöpaikoille. Haketus tehdään yleensä kuorma-autoalustaisilla tai maataloustraktorisoiviteisilla hakkureilla.

Palstahaketusketjussa haketuksen ja metsäkuljetuksen, samoin kuin joissain tapauksissa myös hakkuun tekee yksi ja sama kone yhdellä käyntikerällä. Normaaliin metsäkoneeseen verrattuna palstahakkuri on kalliimpi ja painavampi ja sen vuoksi metsäkuljetusmatkojen on oltava lyhyitä, samaten kuin maapohjan on oltava kantavaa ja tasaista. Kone on myös vika- ja vaurioherkkä, mikä osaltaan nostaa menetelmällä tuotetun hakkeen tuotantokustannuksia. Palstahaketuksella tuotetun hakkeen määrä onkin erittäin pieni ja korjuumenetelmällä on enää korkeintaan paikallista merkitystä metsähakkeen tuotannossa.

1.3.2 Metsäenergian korjuu metsässä

Kun metsähaketta korjataan päätehakkuilta, niin latvusmassan esikasaus kourakasoihin liittyy ainespuun hakkuuseen. Hakkuukoneen työtappaa muutetaan niin, että oksat ja latvat kasautuvat hakkuu-uran varteen, kun normaalissa työtavassa oksat ja latvat on pyritty keräämään ajouralle suojaamaan maaperää ja parantamaan kantavuutta. Kantojen korjuussa kannot nostetaan, pilkotaan ja kasataan kaivukoneilla, joissa on joko kantohara tai kantopuun nosto- ja pilkotalaite. Palstalla olevien kantokasojen koko on 2–6 kantoa. Nuorten metsien energiapuun korjuussa kaato ja kasaus tehdään joko metsurityönä tai konetyönä. Metsurityönä tehtävässä korjuussa puiden kaatokasaus tehdään kaatokahvoilla varustetulla

moottorisahalla. Työmenetelmä on nimeltään siirte-lykaato, ja kasauksessa käytetään hyväksi kaatuvan puun liike-energiaa, mikä keventää ja nopeuttaa työtä. Koneellisessa pienpuun korjuussa kaatokasaus tehdään keräilevällä kaatopäällä. Puiden kouraan keräilyllä ja joukkokäsittelyllä vähennetään kouran liikkeitä ja parannetaan koneen tuottavuutta verrattuna yksinpuin käsittelyyn. Puiden katkaisu tapahtuu leikkaavalla terällä tai ketjusahalla. Kaatokasaukoneen peruskoneena on harvennuksille soveltuva hakkuukone. Koneellisessa pienpuun korjuussa voidaan käyttää myös yhdistelmäkoneita eli korjureita, jossa sama kone hoitaa sekä pienpuun kaatokasauksen että metsäkuljetuksen. Nuorten metsien energiapuun korjuukohteilla kourakasan koko on keskimäärin 5–15 puuta.

Palstalle korjuun yhteydessä jäävän tai varisevan biomassan määrän suhteen metsähakkeen tuotantomenetelmien välillä ei ole eroja. Materiaali kuormataan kuormaimella kourakasoista, joihin se on latvusmassan kasoille hakkuun, kantojen noston tai pienpuun hakkuun yhteydessä kasattu. Kourakasan pohjalle jäävän materiaalin määrä on riippuvainen kuljettajan huolellisuudesta ja palstalla varastointiajan pituudesta, ei valitusta hakkeen tuotantomenetelmästä. Metsäbiomassan lähikuljetuksen metsästä tienvarsivarastolle tai jatkoprosessoinnin suorittaa metsätraktori tai siihen pohjautuva metsäkone. Kasan pohjalle jäävän materiaalin määrä on suurin latvusmassalla, josta varisee neulasia ja katkenneita oksanpätkiä kuormauksen yhteydessä. Kantojen mukana välivarastolle kantautuu kuintaa, kiviä ja kivennäismaata. Kokopuulla varastointihävikki on lähinnä varisevia neulasia ja ohuita oksia. Suuren kuiva-ainehävikin vuoksi latvusmassan varastointiaika on maksimissaan yksi vuosi tienvarsivarastossa. Kanto- ja harvennuspuu kelpaavat energian tuotantoon myös ylivuotisena, koska materiaali kuivuu varastoinnin aikana.

1.3.3 Korjuumenetelmät nyt ja tulevaisuudessa

Metsätehon tekemän tutkimuksen mukaan (Kärhä 2007) metsähakkeen tuotanto nuorista harvennusmetsistä perustuu valtaosin välivarastolla haketuksen (71 %). Terminaaleissa tuotetun hakkeen osuus oli 23 % ja käyttöpaikalla harvennuspuuta hakettiin 6 %. Pääosa tuotetusta hakkeesta oli kokopuu-haketta (Ylitalo 2007), koska oksineen korjuu lisää energiapuun hehtaarikertymää ja kasvattaa käsittely-yksikön kokoa hakkuussa. Latvusmassahakkeen tuotannossa välivarastohaketuksen osuus oli 57 %, käyttöpaikkahaketuksen 27 % ja terminaaleissa

haketuksen 16 %. Kantopalojen murskaus polttojakeeksi edellyttää järeiden murskainten käyttöä, minkä vuoksi palstahaketus ja tienvarsihaketus ovat jo maaperän kantavuuden ja kone- ja kuljetuskaluston tilantarpeen vuoksi poissuljettuja tuotantomenetelmiä (Laitila ym. 2007). Vuonna 2006 voimallaitoksilla käytetystä kantohakkeesta 80 % oli murskattu käyttöpaikalla ja 20 % terminaaleissa (Kärhä 2007).

Metsätehon tutkimuksen mukaan (Kärhä 2007) käyttöpaikalla tai terminaaleissa tuotetun metsähakkeen suhteellinen osuus tulee kasvamaan ja välivarastohaketusmenetelmän valta-asema pienenemään. Muutokset tuotantomenetelmien suhteellisissa osuuksissa eivät kuitenkaan ole kovin suuria. Samassa tutkimuksessa metsähakkeen tuottajat lisäksi arvioivat, että vuonna 2015 nuorista metsistä korjatun energiapuun osuus on 27 %, kanto- ja juuripuu-hakkeen 24 % ja latvusmassahakkeen 43 % energialaitosten käyttämästä metsähakkeesta. Metsähakkeen kokonaiskäytön vuonna 2015 tuottajat arvioivat olevan runsaat 14 TWh (Kärhä 2007) eli noin 7 miljoonaa kiintokuutiometriä vuodessa.

Nykyisellä energian hinnalla pienpuun korjuu on mahdollista vain valtion tukien turvin, ja tehokkaiden korjuumenetelmien kehittäminen onkin avainasemassa, kun pienpuuhakkeen kilpailukykyä pyritään parantamaan. Korjuun kompastuskivenä on pieniläpimittaisen puun korkea hakkuukustannus. Puiden joukkokäsittelyyn perustuvien keräilevien kaatokasaukourien kehitystyö on vielä kesken ja oletettavissa on, että kaatokasauksen kustannukset tulevat laitteiden ja menetelmien kehittyessä alenemaan. Tällä hetkellä kourien kehittyessä on kaksi kehityssuuntaa. Suunnittelussa lähtökohdaksi on otettu, että koura soveltuu joko pelkästään karsimatoman kokopuun korjuuseen tai sillä voidaan korjata sekä ainespuuta että kokopuuta.

Yhdistettyyn aines- ja energiapuun hakkuuseen soveltuvat kourat ovat käyttökelpoisia puustoltaan vaihtelevilla työmailla, joilla on kuitu- ja energiapuukuvioita sekä näiden yhdistelmiä. Rulla- ja telasyöttöisillä hakkuulaitteilla on myös mahdollista tehdä karsittua rankaa. Toinen mielenkiintoinen kehityssuunta on aines- ja energiapuun yhdistetty korjuu joukkokäsittelyhakkuuta ja paalaustekniikkaa hyödyntävällä ns. Fixteri menetelmällä. Kehitystyössä menetelmässä aines- ja energiapuu paketoidaan samaan pakettiin hakkuun yhteydessä ja jaottelu aines- ja energiapuu-jakeisiin tapahtuu vasta kuiduttavan tehtaan kuorimossa (Jylhä ja Laitila 2007, Kärhä ym. 2007). Kehitetty menetelmä sopii teollisuuden suurimittakaavaiseen puunhankintaan.

2 Metsien kasvihuonekaasutaseet ja energiapuun käyttö

Timo Kareinen, Hannu Hirvelä, Risto Sievänen ja Hannu Ilvesniemi

Metsäntutkimuslaitos

2.1 Ilmastonmuutos ja kasvihuonekaasutaseet

Auringon valo on pääasiassa lyhytaaltoista säteilyä, joka läpäisee ilmakehän helposti. Auringon säteilyenergia muuttuu maanpinnan kohdatessaan osittain pidempiaaltoiseksi lämpösäteilyksi. Lämpösäteily ei läpäise ilmakehää yhtä helposti kuin valo, jolloin syntynyt lämpö ei pääse karkaamaan takaisin avaruuteen. Kasvihuonekaasut, hiilidioksidi, metaani ja dityppioksidi, lisäävät ilmakehän kykyä pidättää lämpösäteilyä. Kun kasvihuonekaasujen määrä ilmakehässä kasvaa, kasvaa samalla myös ilmakehään jäävän lämpöenergian määrä ja sen seurauksena ilmasto lämpenee. Viimeisimpien maailmanlaajuisiin ilman lämpötilaan mittauksiin perustuvat havaintosarjat ovat osoittaneet, että tämä muutos on myös mittauksin havaittavissa (IPCC).

Ilman hiilidioksidipitoisuuden vaikuttavat monet tekijät, mutta tällainen trendinomainen ilman lämpötilan nousu on selitettävissä etenkin fossiilisten polttoaineiden käytön jatkuvalla lisääntymisellä ja maankäytössä tapahtuneilla muutoksilla. Kasvihuonekaasujen pitoisuuden nousua on ryhdytty rajoittamaan kansainvälisin sopimuksin. Rio de Janeirossa 1992 tehdyissä päätöksissä sopimuksen allekirjoittaneet maat sitoutuivat raportoimaan omat kasvihuonekaasutaseensa vuosittain. Kiotossa vuonna 1997 käydyissä jatkoneuvotteluissa monet teollisuusmaat sitoutuivat vähentämään omia kasvihuonekaasupäästöjään keskimäärin 5 % vuoden 1990 päästötasosta. Päästötavoitteet vaihtelevat eri maiden välillä. Koko EUn tavoite päästövähennyksissä on 8 %, Suomen osuudeksi EUn sisällä tuli saavuttaa vuoden 1990 päästötaso. Tämä tavoite tulee saavuttaa sopimuskaudella, joka kattaa vuodet 2008–2012. Koska kasvihuonekaasujen päästöt ovat Suomessakin kasvaneet edelleen vuoden 1990 jälkeen, on tämän tason saavuttaminen merkittävä haaste. Tämän lisäksi EU on tehnyt omia sisäisiä päätöksiä, jotka edellyttävät tätä tavoitetta suurempaa panostusta uusiutuvan energian käytön lisäämiseen. Balilla alkaneet Kioton sopimuksen jälkeistä aikaa koskevat neuvottelut tulevat luultavasti päättymään jo sovittuja rajoituksia tiukempiin määräyk-

siin kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämiseksi. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) on julkaissut seikkaperäisen ohjeiston, jonka mukaisesti sopimuksen solmineet maat raportoivat omat päästönsä. YK:n ilmastosopimuksen Kioton pöytäkirjan määräykset koskevat myös metsien päästöjä ja nieluja. Sopimuksessa olevan artikla 3.3:n mukaan metsänhävityksen ja uudelleenmetsityksen aiheuttamat päästöt ja nielut lasketaan velvoitteeseen mukaan täysmääräisesti. Sen lisäksi maat voivat halutessaan valita artiklan 3.4 mukaisia toimia (metsänhoito, maatalousmaan hoito, laidunmaan hoito ja kasvillisuuden palauttaminen), saada niistä ns. nieluhyödyn ja kompensoida tällä artiklan 3.3 mukaisen toimien mahdollisesti aiheuttama nettolähteen. Valtioneuvosto päätti vuoden 2006 lopulla, että Suomi soveltaa tämän artiklan 3.4 mukaista metsänhoitotoimenpidettä jo Kioton pöytäkirjan ensimmäisellä sitomuskaudella vuosina 2008–2012.

2.2 Kioton pöytäkirja ja metsät

Kioton pöytäkirjan 1. sitomuskaudella 2008–2012 artiklan 3.3 mukaisen metsänhävityksen ja uudelleenmetsittämisen on arvioitu aiheuttavan Suomessa runsaan 2 milj. t CO₂-ekv/v päästön, joka on noin 2,5 % Suomen vuoden 2004 kokonaispäästöistä. Tärkeimpinä päästölähteinä ovat turvemaille perustettujen peltojen maaperä ja metsän raivaaminen rakennetuksi maaksi. Vuosina 2008–2012 alueet, joilla on tapahtunut artiklan 3.3 mukaisia toimia, tulevat olemaan pinta-alaltaan yhteensä noin 0,5 milj. ha (Tomppo ym. 2006).

Artikla 3.4 antaa mahdollisuuden kompensoida artiklan 3.3 soveltamisen aiheuttama päästörasite ja saada hyötyä nielusta, joka Suomen metsien tapauksessa oli vuonna 2004 26,2 milj. t CO₂ (Metsätilastollinen vuosikirja 2006). Suomi ei voi hyötyä metsänielustaan täysimääräisesti, vaan sopimukseen on maittain määritelty metsänhoidon nieluhyödyille ensimmäiselle sopimuskaudelle maksimi, joka on

Suomelle 0,59 milj. t CO₂/v (Report of the Conference ... 2002). Maksimitaso on määritelty sopimusneuvotteluissa oletuksella, että vain 15 % metsien nielusta kuuluisi Kioton pöytäkirjan hyvityksen piiriin (vuoden 1989 jälkeen tapahtunein toimenpitein saavutettu) ja loput ovat ”ilmaista”, sisältäen mm. ilmastomuutoksen kasvua lisäävän vaikutuksen (Report of the Conference ... 2006). Suomen kattoluku määräytyi vuoden 2001 kasvihuonekaasuarvioiden (Finland’s Third ... 2001) perusteella.

Näin ollen Suomen artiklan 3.4 perusteella saama hyöty on maksimissaan artiklan 3.3 päästövaikutuksen kompensointi plus nielukatto eli yhteensä noin 3 milj. t CO₂/v, joka vastaa noin 3,5 % vuoden 2004 kokonaispäästöistä. Vuonna 2004 lasketut kokonaispäästöt ylittivät vuoden 1990 tason noin 10 milj. tonnilla CO₂/v, johon verrattuna metsien nieluhyöty 3 milj. t CO₂/v on merkittävä.

2.3 Metsien kasvihuonekaasutaseiden laskentamenetelmä

2.3.1 Hakkuumahdollisuusarviot

Suomen metsien puuston tila tunnetaan toistuvien valtakunnan metsien inventointien perusteella hyvin. Tämän hetkisten puustotunnusten perusteella voidaan myös laskea puuston tulevaa kasvua ja kehitystä. Tässä esitetyt arviot perustuvat MELA-ohjelmistolla tehtyihin metsä- ja kitumaiden hakkuumahdollisuusarvioihin. (Nuutinen ja Hirvelä 2006) vuosille 2005–2035, jotka koskevat puuston määrää, rakennetta sekä hakkuuiden määrää vuosina 2005–2035. Niiden lähtötietoina käytettiin vuosina 2004–2005 mitatuista valtakunnan metsien 10. inventoinnin (VMI10) koeala ja puutiedoista muodostettua laskelma-aineistoa. Metsien kasvihuonekaasutaseisiin vaikuttaa kaikki metsien käyttö. Tästä syystä tarkastelemme metsätalouden kokonaisvaikutusta, jossa yhtenä vaihtoehtona otetaan huomioon energiapuun lisääntynyt käyttö.

2.3.2 Arviot metsähakkeen käyttömahdollisuuksista

Vuoden 2004 markkinahakkuumääriin perustuen Helynen ym. (2007) arvioivat metsähakkeen potentiaaliseksi raaka-ainekertymäksi n. 16 milj. m³ vuodessa. Metsähakkeesta tällöin saatava energiahyöty olisi 32 TWh. Hyvin vastaavaan metsähakkeen potentiaaliseen kertymään (15 milj. m³ vuodessa)

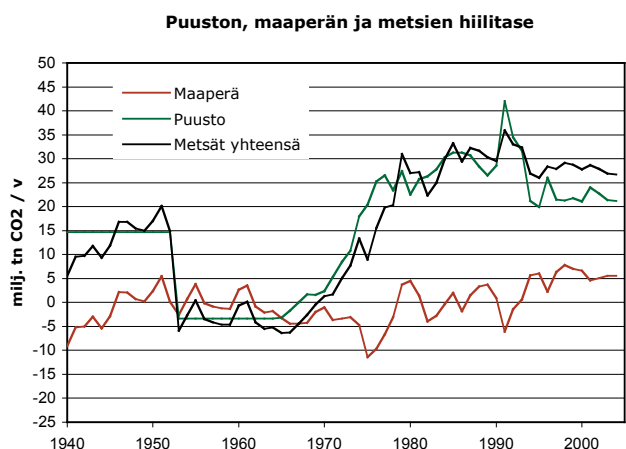
päädettiin myös maa- ja metsätalousministeriön selvityksessä (Metsäenergian tuotannon ..., 2006). Samojen tutkimusten mukaan nykyisten laitosten on arvioitu voivan hyödyntää metsähaketta nykyisellä polttotekniikalla n. 7.5 milj. m³ vuodessa (Helynen ym. 2007) ilman, että raaka-aineen kuljetusmatkat venyvät erityisen pitkiksi. Taloudellisesti kannattavilla investoinneilla metsähakkeen käyttöä on arvioitu voitavan kasvattaa n. 12 milj. m³ v⁻¹ vuoteen 2020 mennessä. Nykyisin metsähaketta käytetään yli 3 milj. m³ v⁻¹.

Energiatilaston (Vuosikirja 2006) mukaan polttoaineiden polton CO₂ keskimääräiset päästöt vuonna 2005 olivat 0.27 milj. tn tuotettua TWh:ia kohden. Nämä tilastoidut päästöt ovat syntyneet öljyn, hiilen, maakaasun ja turpeen poltosta. Metsähakkeen teknis-taloudellisella käyttömäärän lisäyksellä, noin 9 milj. m³ vuodessa, voitaisiin siis korvata noin 5 Tg CO₂ päästöä vuoden 2005 polttoaineiden kuluksijakaumassa.

Pyrittäessä arvioimaan metsähakkeen energiakäytön maksimaalista vaikutusta metsien hiilitaseeseen, hakkeen käyttöä kasvatettiin laskelmissa nykytasosta tasaisesti arvioidulle maksimitasolle (15 milj. m³ v⁻¹) vuoteen 2030 mennessä.

2.3.3 Kasvihuonekaasutaselaskenta

Kasvihuonekaasutaseet arvioitiin puustotietojen perusteella samoin menetelmin kuin käytetään kasvihuonekaasuraportoinnissa (Greenhouse gas emissions in Finland ... 2006, Liski ym. 2006, de Wit ym. 2006, Minkkinen ym 2007a,b). Puuston hiilitase lasketaan kasvun ja poistuman erotuksena. Kuolleen orgaanisen aineen hiilitase puolestaan lasketaan puusto- ja poistumatiedoista tuotetun karikke-tuotoksen sekä mallitetun (kivennäismailla) ja emis-



Kuva 1. Kasvihuonekaasuraportoinnin (Greenhouse gas emissions in Finland ... 2006) mukaisesti laskettu metsien vuotuinen hiilitase 1940-2004.

siokertoimeen pohjautuvan (turvemailla) orgaanisen aineen hajoamisarvion perusteella. Päätehakkui-
käisten kuusikoiden puuston kokonaisbiomassasta
vajaa neljäsosa on hakkuutähteissä sekä kannoissa
eli yhteensä vajaa puolet puun kokonaisbiomassas-
ta, männiköissä maanpäällisten hakkuutähteiden
osuus on selvästi pienempi kuin kuusikoissa. Metsi-
en tulevaa merkitystä kuvaavissa laskelmissa mallit
ja kertoimet (kariketuotoskertoimet, emissiokerto-
imet) ovat samat kuin Suomen kasvihuonekaasura-
portoinnissa on tällä hetkellä käytössä (Greenhouse
gas emissions in Finland ... 2006). Laskelmissa käy-
tetyt maapinta-alat perustuvat valtakunnan metsien
inventointeihin.

Metsien hiilivarat koostuvat puuston ja kasvien
biomassan sekä kuolleen orgaanisen aineen hiilestä.
Puustossa hiiltä on noin 820 Tg (Liski ym. 2006),
kivennäismaiden maaperässä 921 Tg (Ilvesniemi
ym. 2002) ja soiden turpeessa 5600 Tg (Minkkinen
1999). Soiden turpeesta tosin suurin osa on avosoil-
la, jotka eivät olleet laskelmissa mukana.

2.4 Metsien kasvihuonekaasutase

2.4.1 Kasvihuonekaasutaseet nykypäivään asti

Raportoituihin puustotietoihin pohjautuen ja kas-
vihuonekaasuraportoinnin menetelmiä käyttäen
tuotettu metsien hiilitase kaudella 1940–2004 seu-
railee puuston tasetta (Kuva 1, *puuston hiilinielu
on vakio vuosien 1940–1952 ja 1953–1963 välillä,
jolloin ei ollut uusia inventointituloksia saatavilla.).
Heilahtelut taseissa johtuvat hakkuumäärien vaihte-
luista. Äkilliset nykäykset ylöspäin puuston tasees-
sa johtuvat pääosin vähäisistä hakkuista. Pieni hak-
kuumäärä tuottaa vähän hakkuukariketta ja tällöin
maan tase pienenee. Lyhyellä aikavälillä (muutama
vuosi) maaperä kompensoi näin osittain puuston ta-
seen muutoksia. Kymmenien vuosien aikajaksossa
maaperän tase seurailee puustoa, joka voidaan näh-
dä maaperän taseen trendinomaisena li-
säntymisenä 1970-luvun loppuvuosista
noin vuoteen 2000. Puuston tilavuuden
kasvaessa kuolleen orgaanisen aineen
tuotos (karike ja luonnonpoistuma) yleens-
sä kasvaa ja tämän seurauksena kuolleen
orgaanisen aineen varastot kasvavat
myös. Maaperän taseen muutoksiin liittyy
viiveitä, koska osa orgaanisesta aineesta
hajoaa hitaasti.

2.4.2 Kasvihuonekaasutaseet MELA- hakkuumahdollisuusarvioiden mukaan

Emme voi tietää, miten metsiämme tulevaisuudessa
tullaan käyttämään, mutta voimme kuitenkin tehdä
erilaisia oletuksia mahdollisesta käytöstä. Tarkas-
telemme tässä kolmea intensiivisyydeltään erilaista
metsänkäyttövaihtoehtoa, ja huomioimme näissä
laskelmissa myös energiapuun lisääntyvän käytön
vaikutukset yhdessä ainespuun käytön aiheuttamien
vaikutusten kanssa.

Ensimmäisessä (I) hakkuulaskelmassa hakat-
tiin metsänkäsittelysuositusten mukaan hakattavis-
sa oleva ja hakkuukypsäksi tuleva puusto siten että
nettotulojen nykyarvo maksimoitui viiden prosentin
korkokannalla eikä hakkuille asetettu kestävyysvaa-
timuksia. Laskelmassa hakattiin kaikki metsänkäsit-
telysuositusten mukaan hakattavissa olevat kohteet,
jotka eivät täyttäneet kasvattamisen ehdoksi asetet-
tua kannattavuusvaatimusta. Tämä laskentatapa johti
suurimpaan puuston käyttöön. Toinen laskelma (II)
perustui suurimman kestävän hakkuukertymän mu-
kaiseen metsien käsittelyyn, jolloin arvioissa otettiin
huomioon myös taloudellinen ja puuntuotannollinen
kestävyys. Laskelma perustui nettotulojen nykyar-
von maksimointiin neljän prosentin korkokannalla.
Kolmantena vaihtoehtona (III) tarkasteltiin miten
metsävarat kehittyvät hakkuiden pysyessä viime
vuosien keskimääräisellä tasolla. Myös tämä laskel-
ma perustui nettotulojen nykyarvon maksimointiin
neljän prosentin korkokannalla ja kertymätasona
käytettiin vuosien 2001–2005 keskimäärin toteu-
tuneita puutavaralajeittaisia hakkuukertymiä (hak-
kuulaskelmat tarkemmin, ks. Nuutinen ja Hirvelä
(2006).

Hakkuumahdollisuusarvioissa kasvu on pää-
sääntöisesti poistumaa suurempi ja sen vuoksi myös
metsät ovat kokonaisuutena nielu (Kuva 2). Inten-
siivisimmän puunkäytön mukaisessa laskelmassa I
puuston tilavuus vähenee 2005–2014 (Nuutinen ja
Hirvelä 2006). Tästä johtuen puusto on hiilen läh-

Taulukko 2. Arviot metsien kasvihuonetaseista ilman energiapuun
korjuuta ja olettamalla energiapuun korjuun lisääntyvän nykyisestä
(alle 4 milj. m³/v) korjuumäärästä tasaisesti vuoden 2030 korjuu-
määrään (15 milj. m³/v).

Laskelma	Kasvihuonekaasutase milj. t CO ₂ -ekv (+=niemu, -=lähde)				
	Kioto ¹⁾	2010	2015	2020	2030
III	20,7	21,5	28,5	29,5	44,6
III, energiapuun korjataan	18,6	19,3	26,0	26,8	41,5

¹⁾Kauden 2008–2012 keskiarvo

Taulukko 1. Hakkuukertymät hakkuulaskelmissa I-III kolmena vuosikymmenenä (Nuutinen ja Hirvelä 2006).

	Laskelma I	Laskelma II	Laskelma III
2005–2014	86,7	66,4	56,5
2015–2024	60,9	70,8	56,5
2025–2034	69,3	70,9	56,5

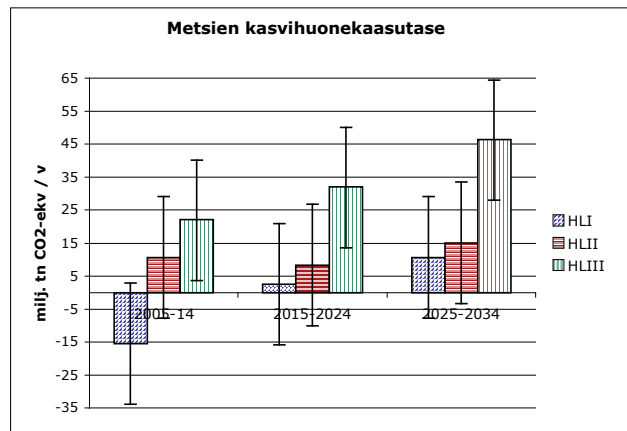
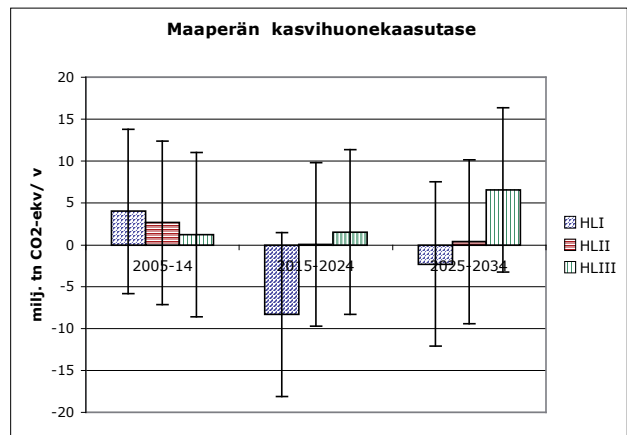
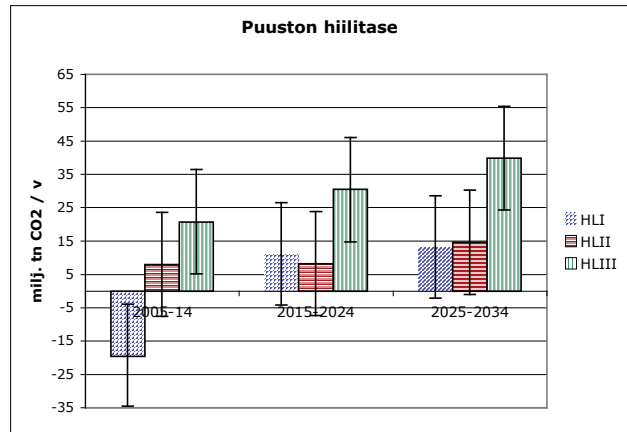
de aiheuttaen sen, että maaperä on lähde seuraavilla kymmenvuotiskausilla 2015–2034. Tämä johtuu siitä, että kauden 2005–2014 voimakkaissa hakkuissa syntyi paljon hakkuutähdettä, joka hajoaa vielä seuraavilla kymmenvuotiskausilla. Laskelmissa II ja III puuston määrä kasvaa koko tarkastelujakson ja tällöin myös maaperä on nielu.

Kasvihuonekaasuraportoinnin vuoden 2004 puuston tase on 21,2 milj. t CO₂ ja metsien tase 26,2 milj. t CO₂. (Metsätilastollinen vuosikirja 2006 ja kuva 1). Laskelman III kauden 2005–2014 tase ilman metaanin ja dityppioksidin vaikutuksia (27,1 milj. t CO₂/v) on varsin lähellä raportoitua metsän tasetta.

2.4.3 Energiapuun korjuun vaikutus

Energiapuun korjuu saattaa tulevaisuudessa vaikuttaa merkittävästi metsien hiilitaseisiin. Edellä esitetyissä laskelmissa kaikki kuollut orgaaninen aine (karike ja hakkuutähteet) siirtyy maaperän varastoon ja hajoaa siellä. Energiapuun korjuussa osa puiden kannoista, juurista ja latvuksesta viedään pois, jolloin maaperän varastoon tulevan orgaanisen aineen määrä vähenee. Sen vaikutuksia metsien kasvihuonekaasutaseisiin havainnollistettiin toistamalla nykyistä ainespuun käytön tasoa vastaavan hakkuulaskelman III arvioihin perustuvat laskennat siten, että karikesyötteestä vähennettiin energiapuun korjuun osuus. Energiapuun käytön oletettiin lisääntyvän nykytasosta tasaisesti oletettuun teknisesti käyttökelpoiseen maksimiarvoonsa 15 milj. m³ v⁻¹ vuoteen 2030 mennessä (Kara 2004). Energiapuun jakautuminen puun eri osiin (kanto, oksat ym.) otettiin raportista Metsäenergian tuotannon ... (2006). Energiapuun tilavuudet muutettiin biomassaksi olettamalla sille tiheys 500 kg kuiva-ainetta/m³. Tiheys arvioitiin todellista suuremmaksi (vrt. Hakkila 1975), jolloin ainakaan tältä osin laskelma ei aliarvioi energiapuun korjuun vaikutusta.

Laskelman mukaan (Taulukko 2) vuotuinen ero nettonieluissa vaihtoehtojen välillä, joissa energiapuun korjuuta ei tehdä tai tehdään on maksimissaan



Kuva 2. Metsä ja kitumaiden puuston hiilitase, maaperän ja metsien kasvihuonekaasutase (+ = nielu, - = lähde) eri hakkuumahdollisuusarvioilla (Taulukko 1) kymmenvuotiskausittain. Metsien ja maaperän kasvihuonekaasutaseet sisältävät metsäisten turvemaiden metaanin ja dityppioksidin päästöarvot (Minkkinen 2007, Minkkinen ym. 2007b), 4,2 milj. t CO₂-ekv. Pystyviivat ovat kasvihuonekaasuraportoinnin 95% luottamusväliä, puusto: ± 15,6 milj. t CO₂, maaperän kasvihuonekaasutase: ± 9,8 milj. t CO₂, metsien kasvihuonekaasutase: ± 18,4 milj. t CO₂.

vuonna 2030, jolloin ero on 3,1 milj. t CO₂/v. Kioton pöytäkirjan 1. sitoumuskaudella ero on 2,1 milj. t CO₂/v. Muissa laskelmissa (I ja II) energiapuun korjuun vaikutus on hyvin samankaltainen. Näin arvioituna on varsin todennäköistä, että hakkuutähteinä (kannot, oksat, neulaset) käyttöön otettava

bioenergia ei uhkaa metsien asemaa hiilen netto-nieluna (laskelmat II ja III, laskelma I vuoden noin 2015 jälkeen).

Laskelmista ilmenee, että jos metsien hakkuut eivät lisääny suuresti viimeaikaisesta tasosta, metsät tulevat olemaan kasvihuonekaasujen nielu. Tämä mahdollistaa sen, että Kioton pöytäkirjan artiklan 3.4 nieluhyöty (noin 3 milj. t CO₂/v) on saatavissa 1. sitoumuskaudesta alkaen. Hakkuulaskelman III (toteutuneiden hakkuiden taso) tapauksessa nieluhyöty saadaan myös virhemarginaalit huomioiden. Hakkuulaskelmassa I metsät ovat lähde kaudella 2005–2014, eikä tämän laskelman mukaan myöskään kaudella 2015–2024 artiklan 3.4 hyötyä saavutettaisi täysin. Mikäli hakkuut toteutuvat tulevaisuudessa hakkuumahdollisuusarvioiden II ja III suuntaisina, Kioton protokollan 1. sitoumuskauden metsänhoidon nieluhyötyn voitaisiin saavuttaa ilman mitään erityistoimia nielujen lisäämiseksi kaudella 2008–2012.

Energiapuun korjuun vaikutus on melko vähäinen metsien kasvihuonekaasutaseeseen. Tulos saattaa tuntua yllättävältä verrattaessa vuoden 2030 energiapuun korjumäärää (15 milj. m³/v) hakkuulaskelman I kauden 2005–2014 hakkuisiin, jotka ovat n. 20 milj. m³/v suuremmat kuin laskelmassa II (Taulukko 1) ja jotka kääntävät metsien kasvihuonekaasutaseen selvästi nielusta huomattavaksi lähteeksi (kuva 2). Selitys vaikutuseroihin on se, että hakkuut vähentävät puuston tasetta, joka on kasvihuonekaasutaseen ylivoimaisesti suurin tekijä. Energiapuun korjuu ei vaikuta elävään puustoon vaan ainoastaan maaperän varaston syötteeseen. Lisäksi karikke hajoaa metsissä joka tapauksessa: kymmenen vuoden jälkeen kuolleesta orgaanisesta aineesta on jäljellä vajaat 25 %, siis myös energiapuun korjuun vaikutuksesta maaperän varastoon.

Energiapuun korjuun vaikutuksia arvioitaessa ei otettu huomioon sen vaikutuksia metsien kasvuun tai karikkeen hajoamiseen. Viime aikaisissa tutkimuksissa on havaittu harvennushakkuiden yhteydessä tehtävän kokopuukorjuun aiheuttavan kasvutappioita jäljelle jäävään puustoon (esim. Jacobson ym. 2000). Mikäli karikkeen hajotus tapahtuukin hitaammin kuin nyt on oletettu, sen vaikutus näkyy voimakkaampana maaperän hiilivarastossa kuin näissä laskelmassa.

Valtakunnan metsien inventoinnin arvio metsä- ja kitumaiden puuston kasvulle on 97,1 milj. m³/v kaudelle 1999–2005 (Korhonen ym. 2006). MELA-arvioissa kasvu oli suurimmillaan 90,2 milj. m³/v kaudella 2005–2015, eli runsas 6,9 milj. m³/v havaittua pienempi. Hiilenä tämä vastaa noin 8,8 milj. t CO₂/v, josta syystä tässä tehtyjen laskelmien hiilinielut saattavat olla aliarvioita. On arvioitu, että

puuston ja maaperän vuotuisten tasearvioiden keskihajonnat ovat 7,8 milj. t CO₂ ja 4,8 milj. t CO₂. Kun puuston ja maaperän keskihajonnat yhdistetään, metsien kasvihuonekaasutasearvion keskihajonta on 9,2 milj. t CO₂ (Greenhouse gas emissions in Finland ... 2006). Kasvihuonekaasutasearvion luottamusväli (95 %) on siten puustolle ± 15,6 milj. t CO₂ sekä metsien kasvihuonekaasutaseelle ± 18,4 milj. t CO₂.

Hakkuumahdollisuusarviot ovat olemassa olevan tiedon, sovellettujen mallien ja tehtyjen oletusten perusteella laskettuja arvioita metsien käyttömahdollisuuksista. Ne eivät ole puun tarjonnan tai todennäköisesti toteutuvan tulevaisuuden ennusteita. Arviot eivät myöskään ole toteutettavaksi tarkoitettuja hakkuusuunnitteita (Nuutinen ja Hirvelä 2006). Sama rajoitus pätee siis myös tässä esitettyihin kasvihuonekaasulaskelmiin; ne kertovat kasvihuonekaasutaseista erilaisilla puuston määrän ja puun käytön tasoilla.

Siinä tapauksessa, että haluttaisiin tehdä ennusteita, joiden todennäköisyyttä ja epävarmuutta arvioitaisiin, olisi tarkasteluun otettava yhdellä kertaa kaikki epävarmuustekijät: raakapuunmarkkinat, ilmasto, mallien ja laskentaparametrien epävarmuudet.

2.5 Puuenergian käytön kasvihuonekaasutasevaikutukset

Puunjalostusteollisuuden oheistuotteina syntyy paljon erilaisia energiakäyttöön soveltuvia sivutuotteita (esim. mustalipeä, kuori, sahanpuru). Näiden tuotteiden energiasisältö on selvästi suurempi kuin metsäenergian arvioitu teknistaloudellinen vuotuinen tuotantopotentiaali (15 milj. m³/v).

Puun poltto ei kasvihuonekaasutaselaskelmissa tuota hiilidioksidipäästöjä, koska laskentateknisesti tämä vaikutus huomioidaan jo puustopääoman muutosta laskettaessa. Metsistä saatavan energian korjuu ja kuljetus tuottavat jonkin verran hiilidioksidipäästöjä, mutta näiden päästöjen osuus on vain 2–3 % tuotetun polttoaineen energiasisällöstä. Hakkeen pitkäaikainen varastointi lisää myös jonkin verran kasvihuonekaasupäästöjä, koska hake alkaa hajota varastossa. Puun polton yhteydessä syntyy myös jonkin verran dityppioksidia. Jos metsäenergian käyttö lisääntyy merkittävästi syntyy polton yhteydessä merkittäviä määriä tuhkaa. Tuhka voidaan käyttää lannoitteena tai sen osana, jolloin sillä on puuston kasvua lisäävä vaikutus. Tuhkan kuljetus puolestaan lisää päästöjä kuljetukseen ja levytykseen käytettävien koneiden polttoaineiden osalta.

3 Energiapuun korjuu ja metsän ravinnetase

Heljä-Sisko Helmisaari, Leena Finér, Mikko Kukkola, Antti-Jussi Lindroos, Jukka Luuro, Sirpa Piirainen, Anna Saarsalmi, Aino Smolander ja Pekka Tamminen.
Metsäntutkimuslaitos

3.1 Energiapuun korjuun vaikutukset kangasmaiden ominaisuuksiin

3.1.1 Metsämaan happamuus

Metsämaan happamuus riippuu monista tekijöistä kuten metsien luontaisesta kehityksestä, hoidosta ja käytöstä. Myös rikki- ja typpilaskeuman aiheuttaman happamoittavan kuormituksen vaikutusta maaperän happamuuteen on tutkittu runsaasti. Metsiin ja metsämaahan kohdistuva happamoittava laskeuma on vähentynyt merkittävästi viimeisen kahden vuosikymmenen aikana, koska etenkin rikkilaskeumaa on onnistuttu vähentämään huomattavasti (Lindroos ym. 2006). Metsämaan happamuus riippuu myös mm. maaperän lähtöaineksesta, mineraalien rapautumisesta ja maannoskehityksestä. Happamuustaso määräytyy luontaisista ja ihmisen aiheuttamista happamoittavista tekijöistä ja niitä vastustavasta maaperän puskuri- ja neutralointikyvystä.

Maaperän happamuudella on tärkeä merkitys kasvillisuuden ravinteiden saatavuudelle. Puiden kannalta on kuitenkin ollut vaikea määrittää maaperän happamuustason optimiarvoja. Puulajimme ovat sopeutuneet hyvin maaperän luontaiseen happamuuteen. Vaikka metsämaata pyrkivät happamoittamaan monet tekijät, maaperällä on yleensä hyvä puskurikyky happamuuden lisääntymistä vastaan. Maaperän puskuri- ja neutralointikyky on pysynyt hyvänä esimerkiksi happamoittavalle laskeumalle (Derome ym. 2007).

Humuskerroksen pH korreloi varsin hyvin kasvupaikkatyypillä ilmaistun viljavuuden kanssa (taulukko 1). Sen sijaan kivennäismaan pH-arvoissa on vähemmän vaihtelua erilaisten kasvupaikkojen välillä.

Happamuus rajoittanee typen mineralisaatiota kangasmailla viljavimpia kasvupaikkoja lukuun ottamatta. Esimerkiksi typpilisäyksellä ei saada merkittävää kasvunlisäystä lehdossa eikä välttämättä lehtomaisilla kankaillaakaan.

Hakkuutähteen korjuun vaikutus maaperän happamuuskehitykseen perustuu puiden ravinteiden ottoon ja puuston biomassaan sitoutuneiden ravinteiden poistumiseen metsäekosysteemistä. Puiden ravinteiden otossa kationit ovat vallitsevia anionien ottoon nähden, minkä vuoksi puuston kasvaessa myös vetyionien määrä maaperässä lisääntyy. Talousmetsissä korjattavaan biomassaan sitoutuneet emäskationit (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) ovat maan puskurikyvyn kannalta tärkeitä. Niiden poistuminen kasvupaikalta voi vähitellen happamoittaa maaperää. Jos ainespuun lisäksi hakkuutähde korjataan mahdollisimman tarkasti, emäskationien poistuma kasvaa selvästi ainespuun korjuuseen verrattuna. Hakkuutähteen poisto saattaa alentaa maaperän orgaanisen kerroksen pH:ta (Staaf ja Olsson 1991)

Taulukko 1. Maan pH kasvupaikkatyypeittäin humus- ja kivennäismaakerroksissa. (Tamminen 1998)

Kasvupaikkatyyppi						
Maakerros	Lehdot	Lehtomaiset kankaat	Tuoreet kankaat	Kuivahkot kankaat	Kuivat ja karukkokankaat	Keskimäärin
pH						
Humus	4,9	4,5	4,0	3,9	3,8	4,1
0–5 cm	4,8	4,5	4,2	4,3	4,3	4,3
5–20 cm	5,0	4,9	4,9	5,0	5,0	4,9
60–70 cm	5,6	5,6	5,5	5,5	5,5	5,5



Kantojen korjuussa maanpinta rikkoontuu yleensä selvästi enemmän kuin perinteisessä maanmuokkauksessa. Tyypillistä kannonnostojälkeä moreenimaalla. Säästökannoiksi on jätetty männyn kantoja. Kuva: Erkki Oksanen / Metla

ja emäskyllästysastetta (Olsson ym. 1996a). Kantojen korjuun vaikutuksista maan pH-arvoihin ei vielä ole kovin runsaasti tietoa saatavilla, mutta sen myötä emäskationien (esim. K, Ca) poistuma kuitenkin voi lisääntyä.

3.1.2 Metsämaan fysikaaliset ominaisuudet

Perinteisessä runkopuun korjuussa kaatokone kaa- taa, karsii ja katkoo rungot puutavaralajeiksi ja kuormaa kantava ajokone kuljettaa puutavaran tien varteen. Jos runkopuun lisäksi korjataan hakkuutäh- teet, ne ajetaan tien varteen kuormaa kantavalla met- sätraktorilla eli tulee yksi ajokerta lisää. Jos näiden lisäksi korjataan kannot, tarvitaan kannonnostoon telaketjukaivuri ja kuormaa kantava metsätraktori kantojen siirtoon tien varteen. Puupolttoaineen kor- juu vaatii siis 3–5 koneen liikkumisen avohakkuu- alalla verrattuna kahteen koneeseen perinteisessä puunkorjuussa.

Jäätäneen maan aikana koneet eivät juuri tiivis- tä maata tai aiheuta syviä raiteita, toisin kuin sulan maan aikana, erityisesti jos maa on märkää. Hakkuu- tähteiden ja kantojen korjuuta ei voida toteuttaa vain jäätäneen maan aikana, kuten runkopuun korjuuta, vaan koneilla on liikuttava aina myös sulan maan aikana, jolloin em. haitallisia vaikutuksia ilmenee useammin (Startsev ja McNabb 2000). Kaatokone karsii perinteisessä runkopuun korjuussa oksia ajo- urille, jotta koneet eivät uppoaisi eivätkä aiheuttaisi raiteita (Hutchings ym. 2002). Hakkuutähteiden korjuukohteilla ei tällaisia ”oksamattoja” voi käyt- tää. Sulan maan aikana paljaalla maalla ajettaessa jo yhdellä ajokerralla voi syntyä syviä raiteita, ja maa tiivistyy koneiden alla sitä enemmän, mitä useam- min samalla kohdalla ajetaan (Lenhard 1986). Jos koneet rikkovat maata, raiteista tulee helposti vesi- kuoppia tai ojia, jolloin vaarana on vesierosio.

Koneiden alla tiivistynyt maa voi olla puiden juurten kannalta epäedullisen tiivis. Tiivis maa hi- dastaa tai estää juurten kasvua kovuutensa takia, ja tiiviissä maassa on vähän happea heikon ilmanvai- don takia. Sen lisäksi tiivistynyt maa johtaa myös vettä heikommin kuin kuohkea maa (Startsev ja Mc- Nabb 2000), jolloin pintamaassa voi olla ajoittain liikaa vettä ja liian vähän happea juurten toiminnan kannalta. Tiivistynyt maa on siksi epäedullinen kas- vualusta. Onneksi pinta-ala, jolla koneet liikkuvat ja jolle syntyy mahdollisia haittoja, on vain muutama prosentti kokonaisalasta.

Hakkuutähteiden ja erityisesti kantojen korjuun vaikutuksia maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ei ole juuri tutkittu. Uudistusaloilla, joilla on nostettu kan- toja, näkyy syvyydeltään vaihtelevia, mutta yleen- sä matalia ja epämääräisiä kuoppia. Sade- ja lumen sulamisvedet voivat suotautua keskikarkeilla ja kar- keilla metsämailla helpommin näiden kantokuoppi- en kautta syvemmälle maahan kuin koskemattoman pinnan kautta. Toisaalta kantokuoppien pohjalle voi syntyä heikosti vettä läpäisevä lietekerros.

3.2 Energiapuun korjuun vaikutukset kangasmaiden ravinteiden saatavuuteen ja ravinnetaseisiin

3.2.1 Maaperän ravinnevarat

Parhaita ravinnetunnuksia kasvupaikan tuotoskyvyn kuvaamiseksi ovat humuskerroksen ja kivennäis- maan pintaosan kokonaistypen pitoisuudet sekä ki- vennäismaan vaihtuvan kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet (Tamminen 1998).

Metsätyypit kuvastavat melko hyvin kasvupai- kan typpi-, kalium-, kalsium- ja magnesiummääriä (taulukko 2), mutta fosforin määrä ei lisäännä vas- taavasti metsätyypin muuttuessa viljavammaksi. Näin ollen typen ja fosforin suhde on puiden kasvun kannalta epäedullisin viljavimmilla kasvupaikoilla.

Maaperän kalsiumin ja magnesiumin yhteys vil- javuuteen perustuu ravinneominaisuuksien lisäksi niiden osuuteen maan happamuuden säätelyssä. Ne tekevät olosuhteet maamikrobistolle edullisiksi ja edistävät siten humuksen hajoamista ja ravinteiden kiertoa. Kalsiumin ja magnesiumin puutteen ei ole havaittu meillä rajoittavan kangasmetsien kasvua.

Maaperän kokonaistypestä valtaosa on orgaani- sissa yhdisteissä, joista mikrobit vähän kerrassaan vapauttavat typpeä kasveille käyttökelpoiseen muo- toon typen mineralisaatiossa. Vuotuisen minera- lisaation osuudeksi metsämaassa on arvioitu noin

Taulukko 2. Metsämaan kokonaistypen sekä käyttökelpoisen fosforin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin määrät Etelä-Suomessa (aineisto: Tamminen 1998).

Ravinne	Kerros	Lehdot	Lehtom. kangas	Tuore kangas	Kuivahko kangas	Kuiva kangas	Keski-määrin
kg/ha							
N _{kok}	Humus	400	670	660	520	300	600
	0–20cm	2 250	2 080	940	750	620	1 110
	Yhteensä	2 650	2 750	1 600	1 270	920	1 710
P	Humus	5.8	7.4	11.6	8.8	6.0	9.5
	0–20cm	5.9	7.7	5.6	5.3	6.1	6.0
	Yhteensä	11.7	15.1	17.2	14.1	12.1	15.5
K	Humus	17	33	44	32	19	36
	0–20cm	44	36	18	15	13	20
	Yhteensä	61	69	62	47	32	56
Ca	Humus	170	180	150	110	55	140
	0–20cm	560	210	70	47	20	80
	Yhteensä	730	390	220	157	75	220
Mg	Humus	17	24	20	14	7	18
	0–20cm	71	43	12	8	5	14
	Yhteensä	88	67	32	22	12	32

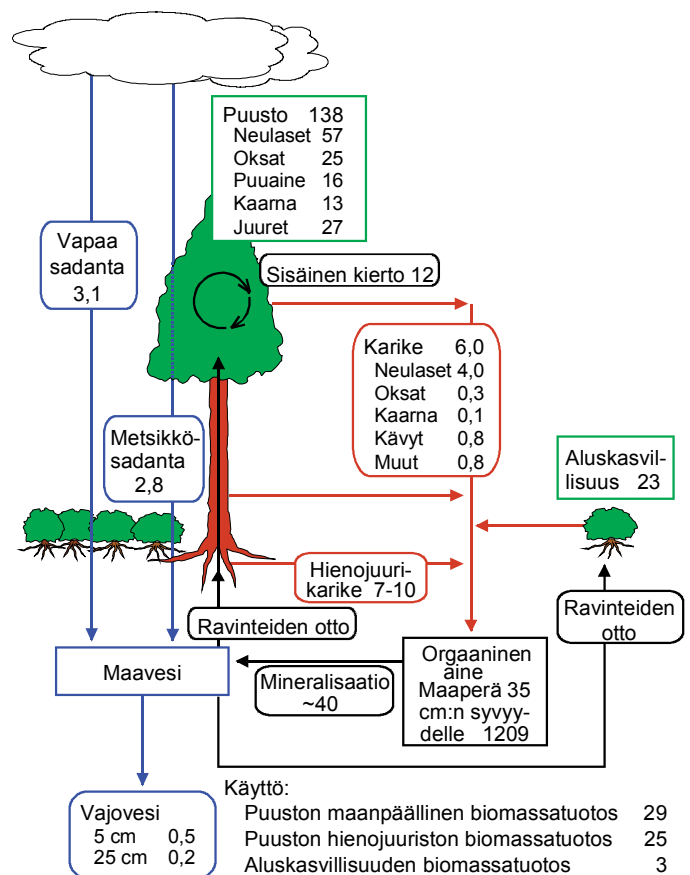
0,5–3,0 % typpivaroista (Persson ja Wirén 1995). Uusien tutkimustulosten mukaan ohutjuurten mykorrhisoiden sienirihmastot voivat jossain määrin hyödyntää myös orgaanista typpeä (Lindahl ym. 2002). Koska maan orgaanisen aineen hajotus ja typen mineralisaatio ovat meillä vallitsevissa oloissa hitaita ilmiöitä, kasveille käyttökelpoisen typen niukkuus rajoittaa kangasmetsien kasvua.

3.2.2 Ravinnetase

Puuston häiriötön kasvu edellyttää, että kaikkia tarpeellisia ravinteita on jatkuvasti saatavilla sopivina pitoisuuksina ja määrinä. Kasvien ottamista ravinteista osa sitoutuu pitkäksi aikaa puuston biomassaansa, osa palautuu vuosittain karikkeeseen mukana takaisin maahan, joten ravinteet ovat jatkuvassa kierrossa kasvillisuuden ja maaperän välillä. Ravinteiden biologisella kierrolla orgaanisen aineen mukana on ratkaiseva merkitys metsämaan puuntuotokseen.

Ravinteiden biologiseen kiertoon sisältyvät kasveille käyttökelpoinen ravinnevarasto maassa, kasvien ravinteiden otto ja ravinteiden sitoutuminen biomassatuotokseen sekä palautuminen uudelleen kasvien saataville kuolleen orgaanisen aineen hajotuksessa ja ravinteiden mineralisaatiossa (kuva 1).

Tärkeimpiä perusprosesseja, jotka tuovat ravinteita metsäekosysteemiin, ovat mineraalien rapautuminen, biologinen typensidonta ja ravinne-laskeuma ilmakehästä. Valtaosa kaliumista, kalsiumista, magnesiumista ja fosforista saadaan rapautumisesta.



Kuva 1. Typen määrät (kg/ha) ja kierto (kg/ha/v.) puolukka-typin nuoressa kasvatusvaiheen männikössä Ilomantsissa (Helmisaari 1998).

Typpeä tulee metsään laskeumassa ja biologisessa typensidonnassa. Leppä sitoo juurinystyröillään ilmakehän typpeä. Maahan tulee lepikoissa yksinomaan lehtikarikkeeseen mukana typpeä Suomessa

60–100 kg/ha/v, ja tämä typpi on helposti hajoavaa (Mikola 1966). Myös sammalet ja jäkälät voivat sitoa pieniä määriä ilmakehän typpeä. Maassa on myös vapaata typensidontaa ja ns. assosiativista typensidontaa juurten pinnoilla, mutta typpimäärät ovat pieniä.

Vuotuinen typpilaskeuma on Suomessa 2–6 kg/ha (Vuorenmaa 2007). Luontainen typpihuuhtouma metsäisiltä valuma-alueilta on selvästi laskeumaa pienempi. Myös fosforia tulee laskeumana metsäekosysteemiin enemmän kuin sitä huuhtoutuu. Kaliumlaskeuma vastaa likimain huuhtoumaa. Suurinta laskeuma on eteläisessä Suomessa ja pienintä pohjoisessa.

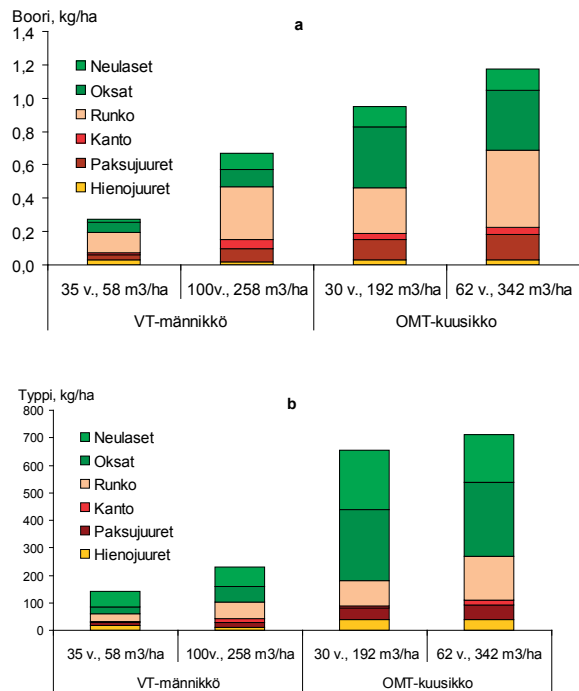
Kasvuisassa metsässä ravinnekierto on hyvin suljettu. Ravinteiden menetys kasvupaikalta, eli huuhtoutuminen vesistöihin tai haihtuminen ilmaan, on vähäistä. Häiriötilanteissa kuten esimerkiksi metsäpalon, puunkorjuun ja uudistamisen sekä kunnostusojituksen yhteydessä kasvupaikalta kuitenkin menetetään ravinteita. Metsäpalossa ja kulotuksessa palavan aineen sisältämä typpi haihtuu ilmaan ns. kivennäisravinteiden jäädessä tuhkaan. Metsän uudistamisvaiheessa, jolloin ravinteita käyttävää kasvillisuutta on vähän, huuhtoutuminen voimistuu muutaman vuoden ajaksi (Palviainen 2005).

Orgaanisen aineen hitaasta hajoamisesta aiheutuva kasveille käyttökelpoisen typen niukkuus rajoittaa kangasmetsien kasvua. Vaikka juuristokerroksessa on typpeä 2 000–3 000 kg/ha, vain muutama prosentti siitä mineralisoituu vuosittain ammoniumtypeksi kasvien uudelleen käytettäväksi. Metsikön ravinnekierrossa hajottajaeliöstön toiminta onkin avainasemassa, ja kasvupaikan viljavuus ja ilmasto vaikuttavat hajotusnopeuteen.

Ravinteiden niukka saatavuus ilmenee puiden ravinteiden käytössä. Osa neulasten sisältämistä ravinteista siirtyy neulasten kellastuessa puun sisäisen ravinnekierron välityksellä talvivarastoihin nuorempiin neulasiin ja oksien sisäkuoreen seuraavana keväänä uudelleen käytettäväksi. Sisäiseen kiertoon osallistuvat vain ne ravinteet, jotka voivat liikkua puun nilassa (N, P, K ja Mg). Sisäinen kierto on tehokkainta typen ja fosforin osalta, mutta sillä on merkitystä myös vuotuisen kalium- ja magnesiumtarpeen tyydyttämisessä (Helmisaari 1995). Puun sisäinen ravinnekierto on tärkeä lyhytaikaisessa puun ravinnetilan säätelyssä kuten keväällä kasvun alkaessa.

Karikkeen mukana maahan palautuvat ravinteet ovat pitemmän päälle olennaisen tärkeitä ravinteisuuden säilymiselle. Maan orgaanisen aineen määrällä on merkitystä maan viljavuudelle muutenkin kuin ravinnevarastona, sillä orgaaninen aine on tärkeä maaperän veden ja ravinteiden pidätyskyvyn kannalta.

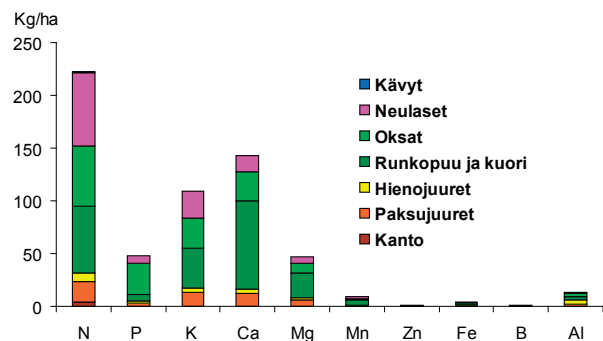
Metsämaan jälkeen seuraavaksi suurimmat typen varastot ovat puustossa (kuva 2a), varsinkin neulasissa ja oksissa. Runkopuun typpipitoisuudet ovat pieniä, ja typen varastot runkopuussa vastaavasti huomattavasti pienempiä kuin latvustossa. Kuusen latvusmassa on noin kaksinkertainen läpimitaltaan ja pituudeltaan samankokoiseen mäntyyn verrattuna, ja siinä on moninkertaisesti enemmän typpeä.



Kuva 2. Esimerkki VT-männiköiden (Helmisaari 1995) ja OMT-kuusikoiden (ikä ja runkotilavuus x-akselilla) puuston biomassaositteiden a) typpi- ja b) boorimääristä.

Kangasmailla boori on typen ohella ravinne, joka voi rajoittaa kasvua. Boorinpuutteen aiheuttamia kasvuhäiriöitä esiintyy laajalti Itä-Suomen viljavissa, nuorissa kuusikoissa (Tamminen ja Saarsalmi 2004). Booria on runkopuussa, kannossa ja paksujuurissa yhtä paljon tai enemmän kuin latvustossa (kuva 2b). Boorinpuutosalueilla kuusikoiden hakkuutähteiden korjuu voimistaisi boorin puutosta.

Myös fosfori on ravinne, jonka saatavuuteen hakkuutähteiden korjuu voi vaikuttaa, koska fosforia on runsaasti neulasissa ja oksissa (kuva 3).



Kuva 3. Ravinteiden määrät 100-vuotiaassa puolukkatyypin männikössä Ilomantsissa (aineisto: Helmisaari 1995).

Puuston ravinnerikkaan biomassan entistä tarkempi talteenotto herättää kysymyksiä metsämaiden puuntuotoskyvyn kestävydestä. Kangasmaiden kuusikoiden päätehakkuussa korjataan hakkuutähteiden mukana kasvupaikasta riippuen jopa yli 300 kg typpeä hehtaarilla silloinkin, kun kolmasosa hakkuutähteistä jätetään metsään (kuva 4b). Tämä vastaa esimerkkikuusikossa yli 10 % maaperän pintakerroksen typen varastoista. Maaperän typen varastoista valtaosa on hitaasti hajoavissa orgaanisissa yhdisteissä ja heikosti kasvien saatavilla. Sen sijaan hakkuutähteiden sisältämistä ravinteista valtaosa on kasvillisuuden uudelleen käytettävissä viiveen jälkeen. Maahan palautuvasta tyypestä suurin osa, helpommin hajotettavat yhdisteet, palautuu uudelleen kasvien saataville kasvupaikan hajotusolosuhteista riippuen neulasista alle kymmenen vuoden kuluessa ja oksistakin parissakymmenessä vuodessa. Osa hakkuutähteidenkin tyypestä jää kartuttamaan maaperän vaikeasti hajotettavaa orgaanista tyypeä, ja osa voi hakkuun jälkeen huuhtoutua.

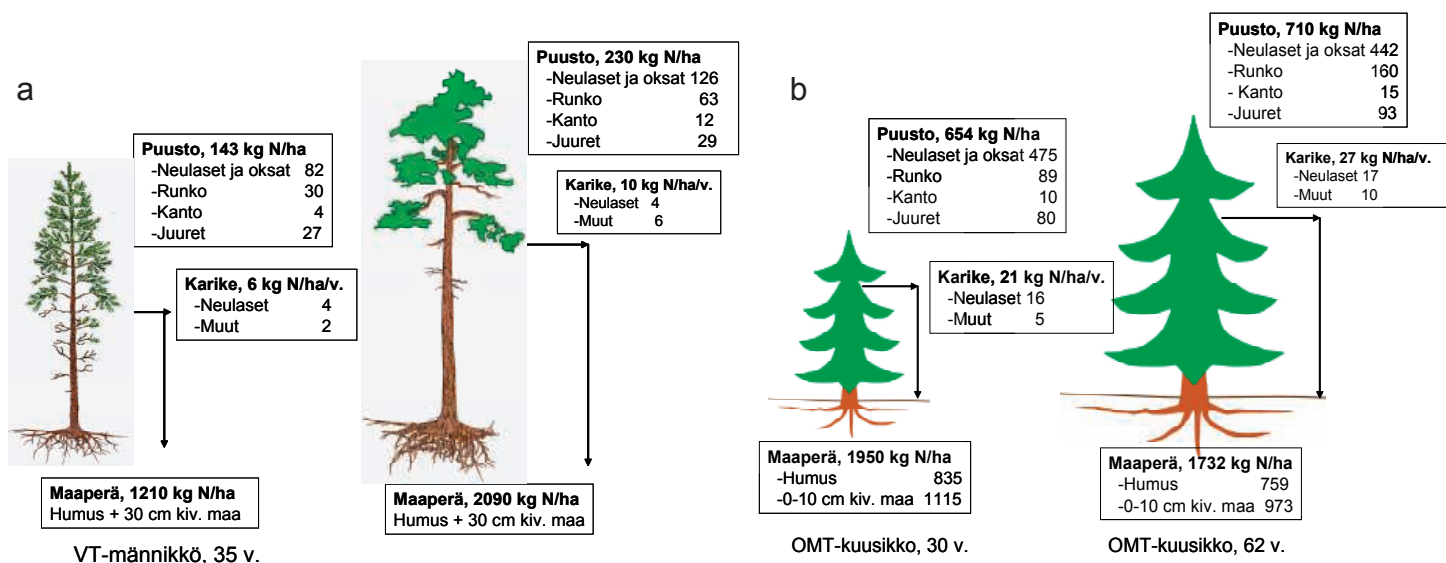
Jos päätehakkuussa korjataan 70 % hakkuutähteistä, korjattava typpimäärä vastaa kuvan 4b esimerkin OMT-kuusikossa 11 vuoden karikesadon typpimäärää. Männikön ensiharvennuksen hakkuutähteissä korjattava typpimäärä vastaa noin neljän vuoden karikesadon typpimäärää (kuva 4a). Hakkuutähteiden vihreissä neulasissa on typpi tallella, kun taas karikeneulasissa on jäljellä vain noin 30 % vihreiden neulasten sisältämästä tyypestä, joka neulasten kellastuessa on siirtynyt nuorempiin neulasiin ja sisäkuoreen (Helmisaari 1998).

Hakkuutähteen korjuun seurannaisvaikutusten kannalta on olennaista se, miten paljon metsikkö tarvitsee ravinteita korjuun jälkeen. Puuston ravinnetarve on suurimmillaan pian ensiharvennuksen

jälkeen eli noin 30–50 vuoden iällä kasvupaikan viljavuudesta riippuen. Myös eri puulajien ravinteiden käytössä on huomattavia eroja. Kuusi käyttää saman biomassamäärän tuottamiseen enemmän ravinteita kuin mänty. Puolukkatyyppin männikkö käyttää noin 25–30 kg typpeä hehtaarilla vuodessa maanpäälliseen biomassatuotukseensa (Helmisaari ym. 2002). Männikön harvennushakkuutähteiden typpimäärä vastaa suuruusluokaltaan maanpäällisten osien yhden vuoden typen käyttöä.

Harvennusemetsikössä kasvamaan jäävä puusto käyttää hakkuutähteestä vähitellen vapautuvat ravinteet tarkoin hyväkseen, mutta uudistusalalle syntyvän taimikon ravinnetarve on vuosikausia suhteellisen pieni. Hakkuutähteiden mukana korjattu neulasten ja oksien tyyppi on kuitenkin poissa ravinnekierrosta, ja tämä voi heijastua puuston kasvussa myöhemmin.

Hakkuutähteiden korjuu voi vaikuttaa kasvupaikan ravinnemääriin muutenkin kuin suoraan vähentämällä saatavilla olevia ravinnemääriä. Mikäli hakkuutähteiden korjuu vaikuttaa maaperän mikrobien hajotustoimintaan, tällä voi olla kauaskantoisia seurauksia kasvupaikkojen ravinteisuudelle. Hakkuutähteen korjuun pitkäaikaisvaikutuksesta maan typen ja hiilen kierron mikrobiprosesseihin on vähän tutkittua tietoa olemassa. Ruotsissa havaittiin maan hiili-typpisuhteen kasvaneen (eli typen määrä oli hiileen nähden vähentynyt) hakkuutähteen korjuun seurauksena tutkimuksessa, joka tehtiin 15 vuotta toimenpiteen jälkeen (Olsson ym. 1996b). Hakkuutähteen korjuu joko ei ole vaikuttanut tai on vähentänyt typen nettomineralisaatiota ulkomaisissa tutkimuksissa korjuun pitkäaikaisvaikutuksista (Brais ym. 2002, Piatek ja Allen 1999, O'Connell ym. 2004).



Kuva 4. Esimerkki kuvan 2 a) VT-männiköiden (Helmisaari 1995) ja b) OMT-kuusikoiden puuston ja maaperän sekä karikesadon typen määristä.

Keski-Suomessa hakkuutähteen korjuu hidasti humuskerroksen hiilen ja typen mineralisaatiota (vapautumista hajotuksessa) OMT-kuusikossa ja alensi lievästi mikrobibiomassan hiilen ja typen määriä (Smolander, Levula, Kitunen ja Mälkönen, käsikirjoitus). Lisäksi humuskerroksen orgaanisen aineen koostumuksessa oli nähtävissä joitakin muutoksia. Tutkimus tehtiin 10 vuotta toimenpiteen jälkeen. Kaiken kaikkiaan näytti siltä, että hakkuutähteen korjuulla oli siis pitkäaikaisia epäedullisia vaikutuksia maan viljavuuden kannalta tärkeisiin tunnuksiin. Parhailtaan selvitetään onko ilmiö yleistettävissä eli tutkimuksia laajennetaan erilaisiin metsiköihin.

3.2.3 Energiapuun korjuun vaikutukset ravinteiden, raskasmetallien ja kiintoaineen huuhtoutumiseen kasvupaikalta

Päätähakkuu lisää valuntaa sekä typen, fosforin, kaliumin ja kiintoaineen huuhtoutumista vesistöihin. Ravinteet vapautuvat pääasiassa orgaanisesta aineesta, kannoista, juurista, hakkuutähteistä, hakkuussa kuolleesta pintakasvillisuudesta ja karikkeesta. Pääosa kaliumista ja fosforista vapautuu neulasista heti hakkuuta seuraavana vuonna, kun taas typen vapautuminen alkaa 2–3 vuoden viiveellä (Palviainen 2005). Tuoreen orgaanisen aineen määrän kasvu ja parantuneet lämpö- ja kosteusolot ovat syynä maaperän mikrobiston hajotustoiminnan lisääntymiseen. Kun pintakasvillisuuden määrä ja sen ravinteidenotto kasvavat, ravinnehuuhtoumat pienenevät. Kiintoaineen lähteenä toimii paljas kivennäismaa: ajourat ja muokkausjälki. Hyvällä leimikon ja maanmuokkauksen suunnittelulla ja vesistöjen varteen jätettävillä suojavyöhykkeillä vähennetään ravinteiden huuhtoutumista vesistöihin. Harvennushakkuut eivät todennäköisesti lisää ravinteiden huuhtoutumista, sillä jäävä puusto sitoo vapautuvat ravinteet.

Energiapuun korjuussa valtaosa hakkuutähteistä ja joissakin tapauksissa myös osa kannoista ja paksujuurista viedään pois kasvupaikalta. Nykyisin suosituksena on, että kolmasosa hakkuutähteistä jätettäisiin korjaamatta ja hakkuutähteet vietäisiin pois vasta sitten, kun neulaset ovat varisseet. Neulaset ovat hakkuutähteistä nopeimmin hajoavia. Isommat hakkuutähdefraktiot kuten oksat sen sijaan pidättävät typpeä neulasia pitempään. Kannot hajoavat vasta vuosikymmenien kuluttua. Energiapuun mukana kasvupaikalta poistuu huomattava määrä orgaanista ainetta ja ravinteita, mikä saattaa vähentää ravinteiden huuhtoutumista vesistöihin ja pohjaveteen. Paltamolla on seurattu kangasmetsän päätähakkuun ja maanpäällisten hakkuutähteen korjuun

vaikutusta pohjaveden nitraattipitoisuuksiin (Kubin 1998). Nitraattipitoisuudet nousivat päätähakkuun jälkeen myös niillä koealoilla, joista hakkuutähteet oli korjattu, mutta laskivat 4–5 vuoden jälkeen hiukan alemmalle tasolle kuin pelkän ainespuun korjuualoilla. Pitoisuudet olivat molemmilla aloilla korkeimmillaankin pieniä. Typen ohella myös kaliumin huuhtomisen on todettu vähentyneen hakkuutähteen korjuun jälkeen (Staaf ja Olsson 1994). Jos isompia hakkuutähdefraktioita jää liian vähän pidättämään typpeä hajotuksen alkuvaiheessa, voi typen huuhtoutuminen kasvaakin ainespuuhakkuuseen verrattuna.

Metsämaiden happamuus voi kasvaa energiapuun korjuun myötä, koska energiapuun mukana poistuu kalsiumia ja magnesiumia. Maan happamoituminen lisää metallien liukoisuutta ja niiden huuhtoutumisriskiä. Alumiini, rauta ja mangaani sekä raskasmetalleista mm. kadmium reagoivat pH-muutoksiin ja muuttuvat liukoiksi. Happamien maiden metsäjärvisissä on havaittu kohonneita alumiini- ja rautapitoisuuksia (Verta ym. 1990). Happamoituminen voi aiheuttaa myös elohopean ja lyijyn liukenemistä ja huuhtoutumista vesistöön.

Kun hakkuutähteet korjataan, ajokertoja alalle tulee enemmän ja suojaavan hakkuutähdekerroksen puuttuessa ajourat syvenevät ja tiivistyvät. Maan tiivistyminen hidastaa veden imeytymistä maahan, jolloin ajourissa voi esiintyä sateilla veden virtausta. Ajourat voivat toimia ojien tavoin, jolloin virtaavan veden mukana kiintoainetta joutuu vesistöihin saakka. Jos energiapuun korjuu käsittää myös kannot ja paksujuuret, maan tiivistyminen ja ajourien synty on vielä voimakkaampaa, koska ajokertoja tulee enemmän. Maa myös paljastuu ja muokkautuu laajoilta aloilta, koska kannonnoston lisäksi maa myös muokataan normaalisti. Maanmuokkauksen tiedetään lisäävän ravinteiden huuhtoutumista, koska hajotustoiminta tehostuu ja ravinteita pidättävää pintakas-



Suurin osa latvusmassaan sitoutuneista ravinteista on neulasissa. Kun latvusmassaa kuivatetaan kasoissa hakkuualalla ennen korjuuta, huomattava osa neulasista varisee lähikuljetuksen yhteydessä kasvupaikalle. Kuva: Erkki Oksanen / Metla.

villisuutta on vähemmän. Pintakasvillisuus palautuu hitaammin muokatulle pinnalle kuin muokkaamattomalle. Aloilla, joilta kannotkin on korjattu, nitraatin huuhtoutuminen on todennäköisesti suurempaa kuin aloilta, joilta on korjattu vain latvukset. Nykykäytännön mukaan energiapuuta kuivataan puolesta vuodesta vuoteen hakkuuaukolla kasoissa ennen jatkokuljetusta. Varastoinnin aikana kasoista voi huuhtoutua kaliumia ja fosforia vesistöihin, jos niitä ei suojata tai ne ovat ojien välittömässä läheisyydessä.

Tutkimustieto ravinteiden huuhtoutumisesta energiapuun korjuualoilta on vähäistä ja tietoa tarvitaan sekä turve- että kivennäismailta. Jos metsiä joudutaan lannoittamaan energiapuun korjuu takia, tarvitaan tietoa myös lannoitteiden huuhtoutumisesta. Tieto auttaa myös kohdentamaan vesiensuojelutoimenpiteet tehokkaasti.

3.3 Energiapuun korjuun vaikutukset turvemaiden ominaisuuksiin ja ravinnetaseisiin

Energiapuun korjuun vaikutuksista turvemaiden ominaisuuksiin ja ravinnetaseisiin ei ole vielä kokeellista tutkimustietoa, mutta vaikutuksia voidaan arvioida ravinnetasetarkastelujen perusteella. Puuston kehitys ja sen sitomat ravinnemäärät eivät turvemaidella merkittävästi poikkea siitä mitä ne ovat vastaavan ravinteisuustason kangasmailla. Ojitettujen turvemaiden puustojen kasvua rajoittaa yleensä fosforin, kaliumin ja boorin niukkuus. Turvemaiden metsistä suurin osa on nuoria tai varttuneita kasvatusmetsiä, joissa on runsaasti harvennustarvetta. Päätehakkuita tehdään turvemaidella vuosittain noin 20 000 hehtaarilla ja tarve kasvaa lähitulevaisuudessa noin 35 000 hehtaariin vuodessa.

Harvennushakkuussa, jossa ainespuun lisäksi poistetaan myös hakkuutähteet, poistuu kasvupaikalta 2–6 kertaa enemmän ravinteita kuin perinteisessä ainespuun korjuussa (taulukko 3). Sekä perinteisessä ainespuun että energiapuun korjuussa menetetetyt typpi- ja fosforimäärät ovat suhteellisen pieniä verrattuna juuristokerroksen ravinnemääriin. Tilanne kaliumin ja boorin kohdalla on kuitenkin toinen. Joillakin turvemaiden kasvupaikoilla jo perinteisessä ainespuun korjuussa voidaan poistaa merkittävä osa kaliumin ja boorin varastoista. Kaliumin niukkuus on yleistä erityisesti nevamaisien soiden ojitusalueilla.

Päätehakkuussa kasvupaikalta poistuvat ravinnemäärät ovat suurempia kuin harvennushakkuissa (taulukko 3). Päätehakkuussa on mahdollista poistaa hakkuutähteiden lisäksi kantoja ja paksujuuria, mikä edelleen lisää poistuvien ravinteiden määrää. Nämä toimenpiteet vähentävät turvemaiden kalium- ja boorivarastojen lisäksi myös fosforivarastoja ja saattavat vaikuttaa jo seuraavan puusukupolven kasvuun. Kantojen nosto aiheuttaa lisäksi turvemaan tiivistymistä, mikä vaikeuttaa kuivatuksen järjestämistä sekä hidastaa hajotustoimintaa. Kantojen nosto vähentää myös maaperän kantavuutta.

Päätelmiä

- Ojitettujen turvemaiden puustojen kasvua rajoittaa yleensä fosforin, kaliumin ja boorin niukkuus.
- Energiapuun korjuu ei ole suositeltavaa paksuturpeisilla turvemaidella, joille ei tule korvaavaa ravinnelisiä alla olevasta kivennäismaasta.
- Mikäli energiapuun korjuuseen kuitenkin ryhdytään ongelmallisimpia kohteita tulevat olemaan paksuturpeiset päätehakkukohteet ja alun perin nevamaiset kohteet.
- Epätasapainoista ravinnetilannetta on varauduttava torjumaan lannoittamalla.

Taulukko 3. Harvennushakkuussa (Kaunisto 1988, julkaisematon aineisto) ja päätehakkuussa (Finér ym. 2003) kasvupaikalta poistuvat ravinnemäärät (kg/ha) toteutettaessa ainespuun ja lisäksi energiapuun korjuu sekä pintaturpeen ravinnevarojen vaihteluväli (Kaunisto ja Paavilainen 1988).

	Typpi	Fosfori	Kalium	Boori
kg/ha				
Harvennushakkuu, männikkö, 40 m³ha⁻¹				
Ainespuukorjuu	17	0,9	7,8	0,10
Energiapuukorjuu, oksat ja neulas	58	5,5	20,8	0,16
Päätehakkuu, kuusikko, 260 m³ha⁻¹				
Ainespuukorjuu (runko ja kuori)	94	8	55	
Energiapuukorjuu, maanpäällisistä 70 % pois	216	22	108	
Energiapuukorjuu, maanpäällisistä 70 % pois ja 40 % kannoista ja paksujuurista pois	268	28	130	
Pintaturve 0–20 cm	1 000–7 000	80–250	30–110	0,20–0,60

3.4 Energiapuun korjuun vaikutus kangasmaiden puuntuotoskykyyn

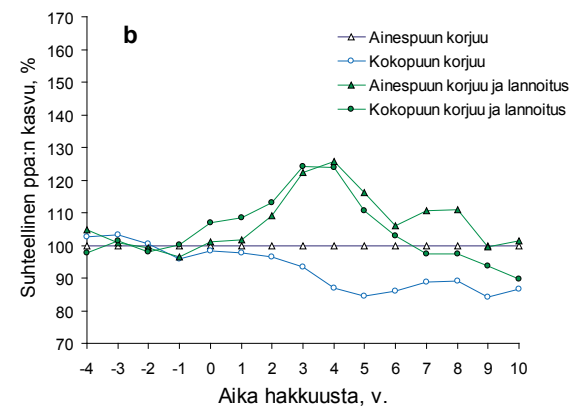
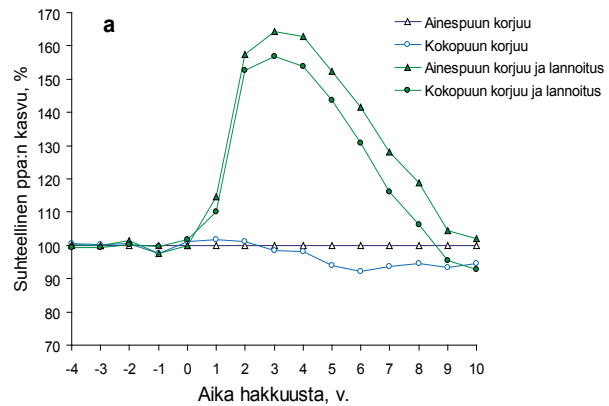
3.4.1 Kangasmetsien ensiharvennukset

Hakkuutähteen korjuun aiheuttamaa ravinnemenetystä ja sen merkitystä puuston kasvulle tarkastellaan koesarjan avulla, johon kuuluu 12 koetta (taulukko 4). Kokeet sijaitsevat Etelä-Ruotsista Rovaniemen korkeudelle ulottuvalla vyöhykkeellä; 5 koetta Ruotsissa ja 7 Suomessa (Jacobson ja Kukkola 1999, Jacobson ym. 2000).

Kokeilla hakkuutähteet poistettiin koelaloilta siirtelemällä hakkuun jälkeen. Oksat korjattiin lukuun ottamatta osuutta, joka katkeili ja varisi kaadettaessa ja kuljetettaessa. Näin tapahtui varsinkin kuolleiden oksien kohdalla. Toisaalta sinne, mihin hakkuutähteet jätettiin, ne levitettiin tasaisesti. Käytännön ainespuuharvennuksissa hakkuutähteet keskittyvät ajourille ja niiden varsille. Epätasaisesta jakaumasta syntyy kasvutappiota, jos hakkuutähteitä lähistolleen saaneiden puiden kasvunlisäys ei riitä kompensoimaan hakkuutähteitä vaille jääneiden puiden alemmaa kasvua. Kokeiden tuloksia tulkittaessa ja käytettäessä kasvuvaiikutukset täytyy suhteuttaa kulloiseenkin ravinnepoistumaan, johon puusto, harvennusvoimakkuus ja korjuutekniikka vaikuttavat.

Hakkuutähteen korjuun aiheuttama pohjapinta-alan kasvun taantuma oli männiköissä keskimäärin 7 % ainespuun korjuun jälkeiseen kasvuun verrattuna (kuva 5a). Se vastasi koemetsiköissä noin 5 m³/ha 10-vuotiskauden aikana. Kuusikoissa, joissa ravinnemenetys hakkuutähteen korjuussa oli noin kaksinkertainen männiköihin verrattuna, pohjapinta-alan kasvun taantuma oli keskimäärin 12 %, mikä vastasi 17 m³/ha 10-vuotisen havaintokauden aikana (kuva 5b).

Pohjapinta-alan kasvun kehitys osoittaa, että puuston kasvu alkoi taantua 3–5 vuoden kuluttua harvennuksesta eli ajankohtana, jolloin tyypeä alkaa vapautua hakkuutähteestä. Kasvun elpymisestä ei ilmennyt merkkejä 10 vuoden kuluttua hakkuutähteen korjuusta, eikä kasvun taantumasta ole tarkkaa tietoa. Avohakkuualoilla arvioidaan pääosan



Kuva 5. Männiköiden (a) ja kuusikoiden (b) suhteellinen pohjapinta-alan kasvu hakkuutähteen korjuuta seuranneella 10-vuotiskaudella (Jacobson ja Kukkola 1999). Lannoitus: Männiköt 150 kg N/ha, kuusikot 150 kg N/ha ja 30 kg P/ha.

hakkuutähteen ravinnesisällöstä mineralisoituvan 15 vuoden kuluessa hakkuusta (Olsson ym. 1996a, 1996b), eli ravinnevaikutus kestää pitempään kuin kertalannoitus. Koekuusikot on harvennettu uudelleen 10 vuoden kuluttua, jolloin käsittelyt on toistettu. Kasvun taantuma on jatkunut 10 vuoden jälkeenkin, mutta yksittäisen korjuukerran vaikutuksen kokonaiskesto on vaikea arvioida.

Koetulokset osoittavat, että harvennusvaiheessa hakkuutähteillä on merkitystä kasvamaan jäävän

Taulukko 4. Koemetsiköiden puusto- ja hakkuutähdetunnuksia (Jacobson ja Kukkola 1999).

Metsikkö	Puuston ikä, v	Tilavuus ennen harvennusta, m ³ /ha	Harvennuspoistuma, m ³ /ha	Hakkuutähte					
				Biomassa, t/ha	Ravinnesisältö, kg/ha				
					N	P	K	Ca	Mg
Männiköt, 8 kpl	44	163	49	8.4	41	4	15	21	4
Kuusikot, 4 kpl	40	259	81	15.5	94	11	33	81	10

puuston kannalta. Kasvuvaikutukset vaihtelevat metsiköittäin paljon, eikä kaikkia niihin vaikuttavia tekijöitä vielä tarkemmin tunneta. Juuri valmistuneiden puuston kasvun 20–25-vuotismittausten alustava tarkastelu kuitenkin vahvistaa aikaisempia tuloksia hakkuutähteiden merkityksestä jäävän puuston kasvulle.

Päätelmiä

- Ensiharvennusemetsissä hakkuutähteen korjuusta aiheutuva ravinnemenetyks ajoittuu puuston suurimman ravinnetarpeen ajanjaksolle. Kasvu on taantunut voimakkaimmin viljavilla kasvupaikoilla, joilla hakkuutähdettä on ollut eniten.
- Mänty ei ilmeisesti ole yhtä herkkä ravinteiden menetykselle kuin kuusi. Koska kangasmetsissä typen niukkuus on puuston kasvun minimitekijä, kasvun taantuminen aiheutuu ensisijaisesti typen puutteesta.
- Ainespuun korjuussa maanpinnalle tuleva hakkuutähdetkerros lisää typen mineralisaatiota myös allejäävässä karikkeessa ja humuksessa. Orgaanisen aineen laadun lisäksi ravinteiden vapautumista säätelevät maaperän lämpö- ja vesiolot.
- Kasvatettavaksi jäävän puuston reagointi hakkuutähteen korjuuseen vaihtelee metsiköittäin. Kaikkia tähän vaikuttavia tekijöitä ei vielä tunneta. Ilmeisesti orgaanisen aineen laadun lisäksi paikallisilla hajotusoloilla on suuri merkitys.

3.4.2 Kangasmetsien päätehakkuut

Hakkuutähteen ravinnesisältö

Päätehakkuumetsiköissä puustoon sitoutunut ravinnemäärä on huomattavasti suurempi kuin ensiharvennusemetsiköissä (kuva 2). Ravinnemenetyksen osalta on syytä painottaa, että kuusikoissa on noin kaksinkertainen määrä neulasia ainespuun kuutiometriä kohti männiköihin verrattuna. Pohjoismaisten tulosten mukaan eri ravinteiden menetys päätehakkuuvaiheessa muodostuu hakkuutähteen korjuun seurauksena 1,5–4,5-kertaiseksi ainespuun korjuuseen verrattuna (Rosén 1991).

Hakkuutähteen korjuun vaikutusta männyn taimikon kehitykseen on selvitetty Rautavaaran metsänviljelykokeella. Ennen avohakkuuta koealueella kasvoi puolukkatyyppin mänty-kuusisekametsä, jonka puuston tilavuus oli 260 m³/ha. Kokeessa vertaillaan kahta korjuumenetelmää: ainespuun korjuuta ja kokopuujuontoa. Vuosikymmenen kuluttua päätehakkuusta humuskerroksen ravinnevaroissa ei ilmennyt merkittäviä eroja käytettyjen korjuumenetelmien välillä.

Päätehakkuualoilla humuskerroksen pH on hakkuutähteen korjuun seurauksena jäänyt 0–0,4 pH-yksikköä alemmaksi kuin ainespuun korjuun jälkeen (Nykqvist ja Rosén 1985). Hakkuutähteen korjuun aiheuttama humuskerroksen lievä happamoituminen on joillakin kohteilla ilmennyt jopa 20 vuotta. Hakkuutähteen korjuu on kuvastunut herkemmin vaihtuvien emäskationien pitoisuuden ja emäskyllästysasteen laskuna kuin pH:n muutoksena. Kivennäismaan happamuuteen hakkuutähteen korjuu ei ole vaikuttanut (Staaf ja Olsson 1991), joten yhden korjuukerran happamoittava vaikutus jäänee suhteellisen vähäiseksi.

Taimikon alkukehitys

Rautavaaran kokeella hakkuutähteen korjuulla ei ollut vaikutusta männyn taimien elossa säilymiseen eikä taimikon pituuskehitykseen ensimmäisen 10-vuotiskauden aikana. Koealue muokattiin auraamalla, joten hakkuutähteen vaikutus voi ainakin aluksi peittyä voimaperäisen muokkauksen aiheuttamiin muutoksiin taimien elinympäristössä.

Ruotsalaisten tulosten mukaan hakkuutähteen korjuu on parantanut havupuiden istutustaimien elossaoloa; selvemmin männyllä kuin kuusella (Sinclair ym. 1992, Egnell ja Lejon 1996). Lisäksi hakkuutähteen korjuu on lisännyt luontaisesti syntyneiden taimien, etupäässä lehtipuun määrää (Kardell 1992).

Ruotsissa (Egnell ja Lejon 1999) seurattiin kuusentaimien kasvua 15 vuotta hakkuutähteiden oton jälkeen kahdella kokeella Etelä- (hakkuutähteissä 390 kg typpeä hehtaarilla) ja Pohjois-Ruotsissa (hakkuutähteissä 270 kg typpeä hehtaarilla). Taimien pituuskasvu alkoi vähentyä selkeästi vajaan kymmenen vuoden jälkeen koealoilla, joilta hakkuutähteet oli poistettu, verrattuna koealoihin, joille ne oli jätetty levälleen. Männiköissä ei ollut taimien kasvueroja em. käsittelyjen välillä. Ruotsalaisten kokeiden perusteella on päätelty, että kasvun taantuma, joka on ilmennyt noin 15 vuoden ajan, vastaa sitä ajanjaksoa, jolloin typpeä vapautuu hakkuutähteestä hajotustoiminnan tuloksena kasvillisuuden käyttöön (Olsson ym. 1996b). Kasvun taantuma on vastannut keskimäärin kahden vuoden pituuskasvua.

Hakkuutähteen korjuun vaikutus uuden taimikon alkukehitykseen voi olla merkityksellinen erityisesti sen vuoksi, että uudistaminen helpottuu työteknisesti sekä muokkauksen että istutuksen osalta. Vaikka taimien parempi elossaolo hakkuutähteen korjuun jälkeen voi osin selittyä esimerkiksi hyönteisvaurioiden vähenemisellä, se voi useimmiten johtua taimien vakiintumisesta paremman viljelytyön vuoksi.

Päätelmiä

- Tuoreen hakkuutähteen korjuu päätehakkuaaloilta merkitsee huomattavan suuren ravinnemäärän poistumista kasvupaikalta.
- Maan ravinteisuuden ylläpitämiseksi neulasten pitäisi aina jäädä tasaisesti hakkuualalle. Tällöin biomassan entistä tarkemmasta korjuusta aiheutuvat riskit ja ravinteiden kompensointitarve jäisivät ilmeisesti vähäisiksi.
- Pohjoismaisten tutkimusten mukaan kuusen taimikoiden kasvu on taantunut selvimmin viljavilla kasvupaikoilla, joilta hakkuutähteen korjuussa on poistunut eniten ravinteita. Hakkuutähteen yhdellä korjuukerralla ei näyttäisi olevan olennaista vaikutusta männyn taimikoiden alkukehitykseen. Erilaisilta kasvupaikoilta ei kuitenkaan ole luotettavia tuloksia käytettävissä.
- 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.
- Hyvä uudistumistulos on ratkaisevan tärkeä uuden puusukupolven tuotokselle. Uudistusalan nopealla taimettumisella voi tietyissä tapauksissa olla suurempi merkitys metsikön kehitykselle kuin maan ravinteisuuden lyhytaikaisella heikkenemisellä.
- Hakkuutähteen korjuun seurauksena metsämaiden ravinteisuuden hoitoon joudutaan kiinnittämään kasvavaa huomiota puuntuotoskyvyn kestävyden turvaamiseksi.

3.5 Puuntuhkan käyttö maanparannusaineena

3.5.1 Kangasmaat

Puuta polttavissa energialaitoksissa syntyy vuosittain suuria määriä tuhkaa. Puuntuhka sisältää typpeä ja rikkiä lukuun ottamatta muita ravinteita likimain samoissa suhteissa kuin niitä sitoutuu puuston biomassaan. Puuntuhkan hyötykäyttöön lannoitteena on tunnettu mielenkiintoa tuhkan monipuolisen ravinnesisällön ja maan happamuutta lieventävien ominaisuuksien vuoksi. Palauttamalla energiatuotannossa puusta syntyvä tuhka metsään voitaisiin korvata puunkorjuun ja ravinteiden huuhtoutumisen aiheuttamaa ravinnemenetystä ja maan happamoitumista, kuten metsien ekologisesti kestävä käyttö edellyttää. Näin saataisiin tuhka hyötykäyttöön ja välttyttäisiin lisäksi jäteongelmilta.

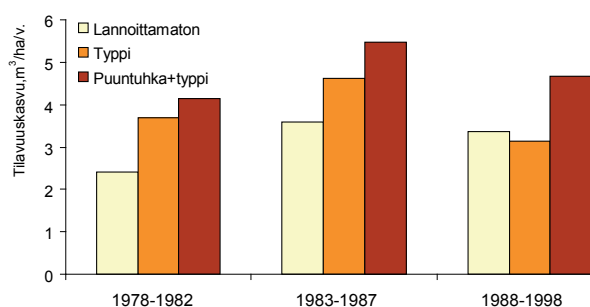
Kangasmailla puun tuhka vähentää tehokkaasti happamuutta ja parantaa maan ravinnetilaa pitkäaikaisesti (Saarsalmi ym. 2001, 2004, 2005). Äkilliset ja voimakkaat pH:n muutokset voivat olla haitallisia maan biologiselle toiminnalle. Jotta tuhkan levi-

tyksen jälkeen tällaisilta vaikutuksilta välttyttäisiin, irtotuhkan kerta-annos kangasmailla ei saisi ylittää 2 500–3 000 kg/ha. Rakeistettaessa tai pelletöitäessä tuhka liukenee hitaammin, joten mahdolliset haitta-vaikutukset lievenevät esikäsiteltyä tuhkaa käytettäessä.

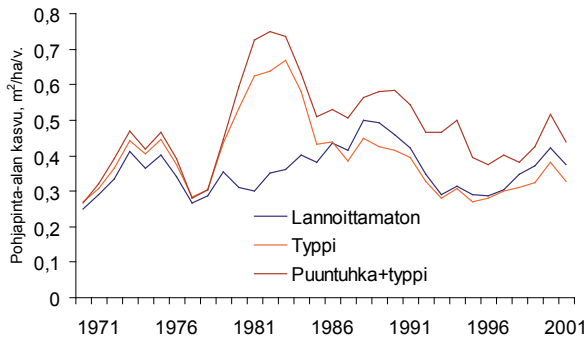
Kangasmaiden ravinteisuuden hoidon kannalta ongelma on se, ettei tuhka sisällä typpeä. Kangasmailla tuhka ei ole myöskään yleensä parantanut typen saatavuutta, mikä on tärkeää puuston kasvunlisäyksen kannalta. Puiden kasvureaktiot ovatkin jääneet karuilla, vähätyppisillä kasvupaikoilla olemattomiksi (Jacobson 2003, Saarsalmi ym. 2004, 2005). Viljavimmilla kangasmailla tuhkalannoitus on kuitenkin voinut lisätä puuston kasvua (Jacobson 2003). Biomassaa korjataan eniten juuri viljavilta kangasmailla, joille tuhkan levitys olisi tästä syystä perustellumpaa ja myös teknisesti helpompaa kuin turvemaille.

Kangasmetsissä kasvunlisäyksen aikaansaaminen näyttää yleensä edellyttävän tuhkan ohella myös typen lisäystä. Kun CT-männikköä lannoitettiin typpellä ja typpellä ja tuhkalla, niin typen välitön kasvua lisäävä vaikutus loppui alle 10 vuodessa, mutta yhdistetty typpi-tuhkalannoitus paransi mäntyjen kasvua toiset 10 vuotta (kuvat 6 ja 7) (Saarsalmi ym. 2006). Puusto oli harvennettu ennen lannoituksia. Tämä näkyi tilavuuskasvun paranemisena toisella viisivuotisjaksolla myös lannoittamattomilla koealoilla, kun puut olivat ottaneet vapautuneen kasvu-tilan käyttöönsä.

Puiden ravinnetilassa tuhkalannoitus kuvastuu kangasmailla usein selvimmin neulasten booripitoisuuden kohoamisena (Jacobson 2003, Saarsalmi ym. 2004, 2005). Tuhkalla voisi olla merkitystä boorin puutoksesta aiheutuvien kuusikoiden kasvuhäiriöiden torjunnassa. Kuusen kasvuhäiriöt ovat yleisimpiä viljavimmilla, typpirikkailla kangasmailla, jotka ovat entisiä kaski- ja laidunmaita (Tamminen ja Saarsalmi 2004).



Kuva 6. Puuston tilavuuskasvu CT-männikössä tuhka- ja typpi-lannoituksen (urea 185 kg N/ha syksyllä 1978, puuntuhka 2,5 t/ha keväällä 1979) jälkeen (Saarsalmi ym. 2006).



Kuva 7. Puuston pohjapinta-alan kasvu CT-männikössä tuhka- ja typpilannoituksen (urea 185 kg N/ha syksyllä 1978, puuntuhka 2,5 t/ha keväällä 1979) jälkeen (Saarsalmi ym. 2006).

Päättehakuuvaiheen kuusikoissa ja männiköissä suurin osa boorista on hakkuussa poistettavassa runkopuussa. Siksi booria poistuu metsästä eniten korjattavan runkopuun mukana, mutta neulasten ja oksien korjuu lisää boorin kokonaismenetystä. Jos päättehakuussa kuusen neulasten kuivamassa on keskimäärin 13 000 kg/ha ja kuusen neulasten booripitoisuus 4,6 mg/kg (Tamminen ja Saarsalmi 2004), niin päätehakuun hakkuutähteissä poistuu pelkästään neulasten mukana noin 60 g booria hehtaarilla. Tämä vastaa moninkertaisesti vuosittaiseen taimikon biomassatuotokseen sitoutuvaa boorimäärää. Tuhkalla voisi olla merkitystä boorilannoitteena kuusen kasvuhäiriöiden torjunnassa erityisesti boorinpuutosalueilla.

Puuta poltettaessa sen sisältämät kivennäisaineet ja raskasmetallit rikastuvat tuhkaan. Raskasmetalleista voisi olla haittaa ensisijaisesti maan orgaanisen aineen hajotukselle ja ravinnekierrolle sekä keräilytuotteiden, kuten marjojen ja sienien hyväksikäytölle. Puuntuhkan sisältämistä raskasmetalleista pidetään haitallisimpana kadmiumia, jonka pitoisuus tuhkassa on yleensä 4–20 mg/kg. Se on tuhkassa pääosin oksidina (CdO) ja säilyy maassa kauan liukenemattomana tuhkan aiheuttaman pH:n nousun vuoksi. Asetuksen (12/2007) mukaan metsätaloudessa käytettävässä puuntuhkassa saa olla kadmiumia enintään 17,5 mg/kg:ssa kuiva-ainetta, ja enimmäiskuormitus saa olla 40 vuoden aikana enintään 60 g hehtaarilta. Kokeissa normaalisti käytettyjen tuhka-annosten ei ole havaittu aiheuttaneen merkittäviä muutoksia sienien ja marjojen raskasmetallipitoisuuksissa (Levula ym. 2000, Perkiömäki ym. 2003, Moilanen ym. 2006) eikä myöskään maan mikrobistossa (Frize ym. 1994, Perkiömäki ja Fritze 2002, Perkiömäki ym. 2003).

3.5.2 Turvemaat

Puuntuhka sopii parhaiten ojitettujen ravinteisuudeltaan keskitasoisten suometsien lannoitteeksi. Turvemaiden puuston kasvua rajoittaa yleisimmin kaliumin, fosforin tai boorin niukkuus, vain karuimmilla kohteilla voi myös typestä olla puutetta. Puuntuhkassa on kaikkia puiden tarvitsemia ravinteita tyypeä lukuun ottamatta. Tuhkaerien ravinnemäärät kuitenkin vaihtelevat eri puulajien ja poltossa käytettyjen seosaineiden (mm. turve) erilaisesta koostumuksesta johtuen. Lannoitussuosituksia, 35–40 kg P/ha ja 70 kg K/ha, voidaan käyttää myös tuhkan lannoitusmäärää laskettaessa ja yleensä niihin päästään käytettäessä puuntuhkaa 3 000–5 000 kg/ha. Puuntuhkan esikäsitteily rakeistamalla tai pelletöimällä parantaa sen koneellista levitettävyyttä ja vähentää pölyämishaittoja. Esikäsitteily myös hidastaa ravinteiden liukenemistä tuhkasta (Piirainen ja Domisch 2004). Suometsissä voidaan käyttää sekä maalevitystä että helikopterilevitystä. Vuotuiset levitysalat ovat muutamia tuhansia hehtaareja.

Puuntuhka on emäksisistä ja soveltuu hyvin happamien turvemaiden lannoitukseen. Pintaturpeen pH nousee 1–3 yksikköä puuntuhkalannoituksen jälkeen ja vaikutus on pitkäaikainen (Moilanen ja Issakainen 2003). Happamuuden vähentyminen vilkastuttaa maamikrobien toimintaa ja lisää ravinteiden liukoisuutta, myös typen saatavuus paranee. Fosforilannoitteena puuntuhkan vaikutus on hyvin pitkä, sillä tuhkan sisältämä fosfori sitoutuu tuhkan ja turpeen sisältämiin rauta- ja alumiiniyhdisteisiin eikä huuhtoudu helposti. Tämän vuoksi puuston kasvureaktiot nähdään muutaman vuoden viiveellä kaupallisiin lannoitteisiin verrattuna, mutta pitkän aikavälin kasvuerot puuntuhkan ja muiden fosforilannoitteiden välillä jäävät vähäisiksi (Moilanen 2005). Kaliumlannoitteena puuntuhka on lyhytvaikutteisempi kuin hidasliukoinen biotiitti, mutta toisaalta kasvureaktio nähdään heti lannoitusta seuraavana vuonna ja se kestää pitkään. Tuhkassa kalium on vesiliukoisena ja se huuhtoutuu helposti syvemmälle turvekerrokseen ja vesistöihin. Boorilannoitteena puuntuhkan vaikutus alkaa nopeasti, mutta kestää varsin kauan (Moilanen 2005). Tuhkalannoitusaloilla ei ole ilmennyt hivenravinnepuutoksista johtuvia kasvuhäiriöitä.

Puuntuhkalannoituksen vaikutukset suometsien kasvuun tunnetaan hyvin, mutta muista ympäristövaikutuksista on vielä vähän tietoa. Puuntuhkassa on myös alumiinia, rautaa ja raskasmetalleja, kuten kadmiumia, nikkeliä ja arseenia, jotka pääosin jäävät pintaturpeeseen. Marjoissa tai sienissä ei ole havaittu haitallisen korkeita metallipitoisuuksia tuhkalannoituksen jälkeen (Moilanen ym. 2006). Metallien huuhtoutumista pinta- tai pohjavesiin ei myöskään ole havaittu (Piirainen ja Domisch 2004). Tuhkalannoitusta ei kuitenkaan suositella tehtäväksi kuin kerran puuston kiertoajassa.

Tuhkalannoitus muuttaa kasvupaikan kasvijaistoa niin, että ilmaislajien perusteella hyvyysluokitus nousee 1–2 boniteettia. Rahkasammalet ja jäkälät kärsivät pH- ja ravinnemuutoksista ja niiden tilalle ilmaantuu pioneerisammalia. Myös heinä- ja ruoholajisto runsastuu runsastyyppisillä kasvupaikoilla. Puuntuhkan kasvupaikan laatua parantavat vaikutukset jatkuvat sitä kauemmin, mitä suurempia tuhka-annoksia käytetään, jopa useampia kymmeniä vuosia. Suuria tuhkamääriä tulee kuitenkin välttää kohonneiden metallipitoisuuksien vuoksi. Tuhkan raskasmetallipitoisuuksia pitäisi saada alennettua jo polttolaitoksella.

Päätelmiä

- Puuntuottamista ajatellen ravinteisuudeltaan keskitasoiset ojitetut suometsät ovat ensisijaisia tuhkalannoituskohteita.
- Tuhkalannoituksella voi kangasmailla pitemmän päälle olla ravinnekiertoa vilkastuttava ja kasvua lisäävä vaikutus ainakin jos tuhkan ohella on annettu typpeä.
- Suometsien tuhkalannoituksessa sopivana kertannoksena pidetään 3 000–5 000 kg/ha ja kangasmetsissä enintään 3 000 kg/ha.
- Tuhkalannoitus vähentää maan pintakerroksen happamuutta jopa muutaman vuosikymmenen ajaksi.
- Tuhkalannoitus ei ole merkittävästi muuttanut sienien ja marjojen raskasmetallipitoisuuksia eikä maan mikrobistoa.
- Puuntuhkan laajamittainen hyväksikäyttö maanparannusaineena edellyttää vielä monipuolista tutkimus- ja kehitystyötä.

4 Energiapuun korjuun vaikutukset metsälajiston monimuotoisuuteen

Juha Siitonen

Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö

4.1 Taustaa

Suomesta tunnetaan noin 44 000 eliölajia, mutta todellisen lajilukumäärän arvioidaan olevan yli 50 000. Erityisesti loispistiäisissä (Hymenoptera) sekä kaksisiipisissä (Diptera) tiedetään olevan runsaasti lajeja, joita ei tutkimuksen puutteen takia ole toistaiseksi maastamme löydetty. Myös monet sieniryhmät tunnetaan puutteellisesti, ja niiden lajimäärä saattaa olla paljon tunnettua suurempi. Karkeasti arvioiden noin puolet lajistostamme elää erilaisissa metsissä, joten metsälajeja on noin 20 000–25 000 (Siitonen ja Hanski 2004).

Kaikki metsissä tehtävät metsätaloudelliset toimenpiteet kuten harvennushakkuut, päätehakkuu, maanmuokkaus jne. vaikuttavat tavalla tai toisella lajistoon – niin myös energiapuun korjuu. Avohakkuun seurauksena osa vanhan sulkeutuneen metsän lajistosta häviää, ja tilalle tulee sukkession alkuvaiheen avoimeen ympäristöön sopeutunutta lajistoa. Melko suuri osa lajistosta pystyy säilymään avohakkuun yli, mutta lajiston runsaussuhteissa tapahtuu suuria muutoksia. Kuitenkin myös luontaiset häiriöt, kuten metsäpalot ja myrskytuhot, muuttavat äkillisesti ja voimakkaasti lajistoa. Harvennushakkuut muuttavat samoin metsikön olosuhteita ja lajistoa, mutta myös kokonaan ilman käsittelyä kehittyvässä metsikössä puuston rakenne ja lajisto muuttuvat vähitellen sukkession seurauksena.

Kun arvioidaan energiapuun korjuun merkitystä metsäluonnon monimuotoisuuden tai yleisemmin metsätalouden ekologisen kestävyuden kannalta, on tarpeen tarkastella laajan mittakaavan ja pitkän aikavälin mahdollisia vaikutuksia. Mikä on energiapuun korjuun lisävaikutus verrattuna muihin metsätalouden toimenpiteisiin tällä hetkellä? Entä jos korjuumäärät nousevat vuositasolla 5–10 miljoonaan kuutiometriin tai vielä suuremmiksi? Voidaan-ko energiapuuta korjata kestävästi sekä harvennushakkuissa että päätehakkuissa useamman kiertoajan yli? Millaiset energiapuun korjuun vaikutukset monimuotoisuuteen tai metsäekosysteemiin olisivat ylipäänsä merkittäviä?

Vaikutusten merkittävyyttä pitää arvioida vähintään voimassa olevan lainsäädännön (mm. metsälaki, luonnonsuojelulaki, ympäristönsuojelulaki) sekä

kansainvälisten sopimusten asettamien velvoitteiden näkökulmasta. Myös kansallisissa poliittisissa päätöksissä ja ohjelmissa (mm. Kansallinen metsäohjelma 2010, Metsäsektorin tulevaisuuskatsaus 2006, Suomen luonnon monimuotoisuuden suojelun ja kestävä käytön strategia ja toimintaohjelma 2006–2016) on asetettu monimuotoisuuden säilyttämistä sekä ekologista kestävyttä koskevia tavoitteita.

Merkittäviä ekologisia vaikutuksia olisivat esimerkiksi seuraavat:

- uhanalaisten lajien uhanalaisuuden lisääntyminen
- muiden lajien tai elinympäristötyyppien merkittävä taantuminen tai uhanalaistuminen
- haitalliset vaikutukset metsämaiden pitkän aikavälin tuotto- tai uusiutumiskykyyn
- merkittävät haitalliset vaikutukset muihin ekosysteemien tuottamiin aineellisiin tai aineettomiin hyödykkeisiin tai palveluihin (esim. sienisadot, hiilen sidonta, vesien laatu, virkistyskäyttö)

Metsäsektorin tulevaisuuskatsauksessa 2006 tavoitteeksi on asetettu, että metsähakkeen käyttö nousee vähintään 8 miljoonaan kuutiometriin vuodessa vuoteen 2015 mennessä – kuitenkin siten, ettei se aiheuta haittaa luonnon monimuotoisuudelle ja metsien ravinnetaseelle. Suomen luonnon monimuotoisuuden toimintaohjelmassa puolestaan on asetettu tavoitteeksi, että energiapuun korjuun lisääntymisen ja korjuumenetelmien vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen arvioidaan ja varmistetaan haitallisten vaikutusten ennaltaehkäisy lainsäädännössä ja neuvonnassa.

Tässä katsauksessa keskitytään tarkastelemaan energiapuun hankinnan vaikutuksia metsälajiston monimuotoisuuteen pääasiassa pohjoismaisten tutkimustulosten valossa. Viime vuosina on ilmestynyt myös useampia pohjoismaisia kirjallisuuskatsauksia tai tutkimusprojektien yhteenvetoja, joissa aiheetta on käsitelty (Siitonen 2001a, Helträdsutnyttjande 2006, Miljöeffekter av skogsbränsleuttag ... 2006, Antikainen ym. 2007, Berglund ja Åström 2007). Tässä tarkastelussa lajisto on jaettu kolmeen laa-

jaan ryhmään: kasvillisuus, lahoppuusta riippuvainen eliöstö sekä maaperäeliöstö, johon on luettu myös mykorritsasienet ja kariketta lahottavat sienet.

4.2 Kasvillisuus

Hakkuutähteiden poiston vaikutuksia kasvilajistoon on selvitetty Ruotsissa useissa tutkimuksissa (Kardell 1992, 1993, 1996, Olsson ja Staaf 1995, Bråkenhielm ja Liu 1998, Berquist ym. 1999, Rosenberg ja Jacobson 2004, Åström ym. 2005). Koejärjestelyissä on yleensä ollut verrokkina tavanomainen avohakkuu ja käsittelyinä joko kokopuukorjuu, hakkuutähteiden korjuu tai sekä hakkuutähteiden että kantojen korjuu. Vaikutuksia on pisimmillään seurattu 20 vuotta.

Tutkimusten tulosten mukaan avohakkuulla sinänsä on suuri vaikutus kasvilajistoon, johon verrattuna hakkuutähteiden poiston lisävaikutus on vähäinen. Käsittelyjen väliset erot putkilokasvilajistossa ovat yleensä pieniä ja muistuttavat luontaisen kasvupaikkavaihtelun aikaansaamia eroja kasvipeitteessä. Uusia lajeja ilmestyy sitä enemmän, mitä enemmän käsittelyssä aiheutetaan maaperähäiriöitä – eniten siis kannonnoston ja vähiten pelkän avohakkuun jälkeen. Uudet lajit ovat valtaosin joko tehokkaasti leviäviä, kilpailuvapaata kasvutilaa nopeasti hyödyntäviä lajeja tai maanpinnan rikkomisesta aktivoituvia siemenpankkilajeja. Hakkuutähteiden pääasiallinen vaikutus putkilokasvilajistoon liittyy neulasten mukana tulevaan ravinnelisäykseen. Hakkuutähteen korjuun vaikutukset sammallajistoon ovat suurempia. Vallitsevien metsäsammalten peitto väheni noin 50 %, ja kolmannes maksasammalajeista hävisi hakkuutähteiden poiston seurauksena (Åström ym. 2005).

Hakkuutähteiden poisto yleensä vähentää tiettyjen kasvilajien runsauksia, mutta toisaalta lisää toisten lajien runsauksia (Ingelög 1978, Kardell ja Wärne 1991, Kardell 1983, 1992, 1993, 1996, Olsson ja Staaf 1995, Bråkenhielm ja Liu 1998, Berqvist ym. 1999). Väheneviä lajeja ovat erityisesti tyypeä suosivat lajit, kuten maitohorsma ja vadelma, runsastuvia lajeja puolestaan yleensä karuja kasvupaikkoja suosivat lajit kuten poronjäkälät, karhunsammalet, puolukka ja kanerva. Eri tutkimusten tulokset eivät kuitenkaan kaikkien lajien osalta ole yhdenmukaisia, mikä voi johtua mm. siitä, että vaikutukset vaihtelevat ravinteisuudeltaan erilaisten kasvupaikkojen välillä.

Edellä tiivistetyt tutkimustulokset koskevat lähinnä yleisiä ja runsaita metsäkasvilajeja. Tarkasteltiinpa sitten paikallista monimuotoisuutta (yksittäisen hakkuualan lajistoa) tai alueellista mo-

nimuotoisuutta, yleisten lajien vähäisillä runsauseroilla pelkän avohakkuun tai avohakkuun ja hakkuutähteiden talteenoton jälkeen ei liene merkitystä. Energiapuun korjuun vaikutuksista harvinaisten kasvilajien säilymiseen ei ole tutkimustietoa. Suurin osa harvinaisista metsäkasvilajeista esiintyy kuitenkin ympäristöstään poikkeavilla kasvupaikoilla kuten lehdoissa, lähteiköissä, puronvarsissa jne. Metsälakikohteet, muut arvokkaat elinympäristöt ja pelkästään metsänhoitosuosituksiin perustuvat muut huomionarvoiset luontokohteet rajataan pääosin hakkuiden ulkopuolelle (ks. Kuusinen 2006), eikä niillä siten tehdä myöskään energiapuun korjuuta.

Myös yleisten ja runsaiden kasvilajien runsauden muutoksilla voi olla ekologisesti merkittäviä seurannaisvaikutuksia. Kannonnostosta kärsivät useimmat kasvullisesti lisääntyvät kloonikasvit kuten mustikka. Mustikka on metsissä kenttäkerroksen runsain kasvilaji. Mustikanvarvikot ovat vähentyneet 1950-luvulta noin 18 %:n keskipeittävydestä 8 %:n peittävyteen vuonna 1995 valtakunnan metsien inventoinnin kasvillisuuskartoitusten perusteella (Reinikainen ym. 2000). Vähentyminen on pääasiassa avohakkuiden ja maanmuokkauksen seurausta. Mustikka on varttuneissa metsissä tärkein kasvin-syöjähyönteisten ravintokasvi, jolla elää toukkana noin 80 perhoslajia ja 5 sahapistiäislajia (ks. Siitonen ja Hanski 2004). Kasvin-syöjähyönteisten toukat ovat puolestaan tärkeä ravintokohde monille hyönteissyöjälinnuille niiden pesimäaikaan (Atlegrim ja Sjöberg 1996) – esimerkiksi metson poikasten tärkein ravintokohde muutaman ensimmäisen elinviikon aikana (Kvasnes ja Storaas 2007).

4.3 Lahoppuusta riippuvaliset eliöt

Luonnontilaisissa vanhoissa metsissä lahoppuun keskimääräinen tilavuus on noin 60–120 m³/ha kasvupaikkatyyppistä riippuen (Siitonen 2001b, Ranius ym. 2004). Luonnontilaisessa metsässä lahoppuun määrä on kuitenkin suurimmillaan sukkession alussa heti metsikön uudistumiseen johtavan häiriön, kuten metsäpalon jälkeen, jolloin kuollutta puuta voi olla jopa satoja kuutiometrejä hehtaarilla (määrä riippuu lähinnä elävän puuston tilavuudesta ennen häiriötä sekä puuston kuolleisuudesta häiriössä; ks. Siitonen 1998, 2001). Järeän lahoppuun (minimiläpimitä 10 cm, minimipituus 1,3 metriä) tilavuus Etelä-Suomen talousmetsissä on keskimäärin 2,5 m³/ha valtakunnan metsien yhdeksännen inventoinnin tulosten perusteella (Ihalainen ja Siitonen 2006). Järeän lahoppuun määrä talousmetsissä on siten yli 95 % pienempi kuin luonnonmetsissä.

Pieniläpimitäisen lahoppuun (< 10 cm, minimi-

läpimittana on käytetty useimmiten 1 cm tai 5 cm läpimittaa, ks. esim. Kryus ja Jonsson 1999, Siitonen ym. 2000, Nordén ym. 2004a) määrä – samoin kuin kantojen määrä – puolestaan on todennäköisesti lisääntynyt metsätalouden seurauksena. Talousmetsissä säännöllisesti toistuvat harvennus- ja päätehakkuut tuottavat pieniläpimittaista kuollutta puuta vähintään yhtä paljon kuin mitä luontaisen häiriöiden kautta voi syntyä luonnontilaisessa metsässä. Pieniläpimittaisen tai hakkuukannoissa olevan lahoppuun keskimääräisiä tilavuuksia eri ikäisissä talousmetsissä ei ole kuitenkaan selvitetty esimerkiksi valtakunnan metsien inventoinneissa. Päätehakkuussa tai harvennushakkuussa kantoihin ja latvuksiin jäävän pieniläpimittaisen lahoppuun biomassaa ja tilavuus voidaan laskea korjattavan puuston tunnusten avulla (Hakkila 1979, 1991, Hynynen 2001). Suuruusluokka esim. tuoreen kankaan vanhan kuusikon avohakkuussa on noin 10–20 m³/ha kantojen maanpäällisissä osissa sekä muutamia kuutiometrejä latvuksissa ja oksissa. Alueellisella tasolla talousmetsissä on todennäköisesti enemmän pieniläpimittaista lahoppuuta ja kantoja kuin järeää lahoppuuta.

Lahoppuusta riippuvaisia lajeja eli saproksyylejä on eri eliöryhmissä yhteensä noin 4 000–5 000 lajia eli vähintään viidennes kaikista metsälajeista (Siitonen 2001b, Siitonen ja Hanski 2004). Lajimäärältään suurimpia ryhmiä ovat lahottajasienet, kovakuoriaiset, kaksisiipiset ja loispistiäiset. Lahoppuun määrän väheneminen tehokkaan metsien käytön seurauksena on keskeisin niistä metsätalouden seurannaisvaikutuksista, jotka ovat johtaneet lukuisten metsälajien taantumiseen tai uhanalaistumiseen (Metsien suoje-lun tarve ... 2000, Siitonen 2001b). Uhanalaisia ja silmälläpidettäviä metsälajeja on yhteensä 980 lajia, joista 419 lajille (43 %) lahoppuun väheneminen on yksi uhanalaisuuden syy (Rassi ym. 2001).

Järeä lahoppuu on uhanalaisen lahoppuusta riippuvaisen lajiston kannalta tärkeämpi elinympäristö kuin pieniläpimittainen lahoppuu. Suurin osa uhanalaisista saproksyyililajeista suosii vähintään 20 cm läpimittaisia kuolleita puita (Dahlberg ja Stokland 2004). Lajit, jotka tulevat toimeen myös pieniläpimittaisella lahoppuulla tai kannoilla, eivät ole metsätalouden seurauksena uhanalaistuneet. Järeillä lahoppuilla kokonaislajimäärä per runko on keskimäärin suurempi kuin ohuilla rungoilla (Andersson ja Hyt-teborn 1991, Bader ym. 1995, Renvall 1995, Jonsell ym. 1998, Kruys ym. 1999). Tämä johtuu useista eri tekijöistä, mm. siitä, että isoissa rungoissa lahoaste, läpimitta ja muut olosuhteet vaihtelevat rungon eri osissa, jolloin vaatimuksiltaan erilaiset lajit voivat esiintyä samassakin rungossa. Järeissä rungoissa kosteusvaihtelut ovat pienempiä ja ne säilyttävät

kosteutensa kuivienkin jaksojen aikana, mikä on tärkeää monien lahottajasienet kannalta. Lisäksi järeiden runkojen lahoaminen kestää pitempään, jolloin lajeilla on enemmän aikaa asuttaa sopivassa lahoamisen vaiheessa olevat rungot ja lisääntyä niillä. Lajimäärä per tilavuusyksikkö on sen sijaan keskimäärin suurempi pieniläpimittaisella kuin järeällä lahoppuulla (Kruys ym. 1999, Kruys ja Jonsson 1999, Nordén ym. 2004b). Tämä johtuu siitä, että tietty lahoppuun tilavuus sisältää useampia ja keskenään vaihtelevampia runkoja koostuessaan pieniläpimittaisista rungoista kuin sama tilavuus koostuessaan järeistä rungoista.

Pieniläpimittaisen lahoppuun ja kantojen merkitykseen lahoppuusta riippuvaisen lajiston kannalta on alettu kiinnittää enemmän huomiota vasta lähiaikoina. Suomen 4 000–5 000 saproksyyililajista ei ole tehty kattavaa arviota siitä, mikä osuus lajeista elää < 10 cm läpimittaisilla kuolleilla puilla tai rungonosilla, ja mikä osuus hakkuukannoilla. Nykyisessä tilanteessa, missä järeän lahoppuun keskimääräinen tilavuus talousmetsissä on hyvin pieni, hakkuutähdelatvuksilla ja kannoilla, joiden tilavuus on keskimäärin suurempi kuin kuolleen ≥ 10 cm läpimittaisen runkopuun tilavuus, on epäilemättä merkitystä monien saproksyyililajien säilymiselle talousmetsämaaisemassa.

Ruotsissa on tehty katsaus saproksyyililajien isäntäpuuvaatimuksista perustuen tietokantaan, joka sisälsi tietoja noin 3600 lajin elintavoista (Dahlberg ja Stokland 2004). Vaikka katsaus onkin alustava ja koskee Ruotsin lajistoa, voidaan tuloksia ainakin suuruusluokka-arviona soveltaa Suomeenkin. Pieniläpimittaisista, 1–5 cm lahoppuuta pystyi käyttämään 2072 lajia eli lähes 60 % tarkastelluista lajeista, ja noin puolet saproksyyililajeista pystyi käyttämään läpimitaltaan hyvin monenlaisia lahoppuita. Tuloksen perusteella pieniläpimittaisen lahoppuun merkitys saproksyyililajiston monimuotoisuudelle on suurempi kuin mitä aiemmin on uskottu (Miljöeffekter av skogsbränsleuttag ... 2006).

Hakkuutähteillä esiintyvää lajistoa on selvitetty muutamissa uusissa tutkimuksissa (Nittérus ym. 2004, Caruso ym. 2007, Caruso ja Thor 2007, Gedminas ym. 2007, Jonsell ym. 2007). Ruotsalaisessa tutkimuksessa selvitettiin puulajin, läpimitan ja hakkuusta kuluneen ajan vaikutusta hakkuutähteissä lisääntyvään kovakuoriaislajistoon (Jonsell ym. 2007). Kasvatukseen otetuista hakkuutähteistä kuoriutui 160 lajia, joista 20 on Ruotsissa luokiteltu silmälläpidettäväksi ja kaksi uhanalaiseksi. Lajimäärässä ei ollut suuria eroja eri läpimittaluokkien (1–4 cm, 4–8 cm ja 8–15 cm) välillä. Lajimäärässä ei myöskään ollut merkittäviä eroja eri puulajien (kuusi, koivu, haapa, tammi) välillä yhden kesän



Energiapuun korjuun vaikutuksia lahoppulajistoon voidaan vähentää jättämällä korjuualoille säästöpuita ja tekopötkkelöitä sekä säästämällä mahdollisuuksien mukaan olemassa oleva lahoppuusto. Tällä kohteella tekopötkkelöitä on jätetty runsaasti, ja myös tekopötkkelöiden latvukset on jätetty yhteen kasaan. Säästökan- toja on sijaan niukasti, ja hakkuu- tähdettä on jätetty selvästi vähemmän kuin suositusten mukainen 30 %.
Kuva: Erkki Oksanen / Metla

ikäisessä hakkuutähteessä, mutta vanhemmassa hakkuutähteessä lajimäärä kuusella oli selvästi alhaisempi kuin muilla puulajeilla. Haavalta tavattiin eniten silmälläpidettäviä lajeja: haavalla näitä oli 11 lajia, koivulla 8 ja kuusella vain 2 lajia (Jonsell ym. 2007, Jonsell 2007). Lajimäärä on suurempi vanhassa, kolmesta viiteen vuoden ikäisessä hakkuutähteessä kuin tuoreessa yhden kesän ikäisessä hakkuutähteessä (Nittérus ym. 2004, Jonsell ym. 2007). Kannoilla ja hakkuutähteillä esiintyy myös runsaasti epiksiyylistä, lahoppulla kasvavaa jäkälälajistoa. Ruotsalaisessa tutkimuksessa hakkuutähteiltä ja kannoilta löydetyistä 60 lajista vain vajaa kolmannes kasvoi myös elävien puiden rungoilla (Caruso ja Thor 2007, Caruso ym. 2007). Varsinkin kannoilla voi olla merkitystä harvinaisten epiksiyylisten jäkälien säilymiselle talousmetsämaisemassa.

Hakkuutähteiden korjuuseen liittyy saproksyytilajiston kannalta myös haitallinen pyydysvaikutus (Jonsell ym. 2007). Tuoreet hakkuutähteet houkuttelevat ympäristöstä vastakuolleessa puussa eläviä lajeja lisääntymään hakkuutähteissä. Jos hakkuutähteet poistetaan vasta hyönteisten (nilaa ja puuta syövät lajit sekä niiden pedot ja loiset) iskeytymisen jälkeen, samalla poistetaan huomattava osa näiden lajien lisääntyvästä paikallispopulaatiosta.

Lahoppuun merkitys metsäluonnon monimuotoisuudelle on tiedostettu, ja lahoppuun määrän lisääminen on sisällytetty keskeisenä tavoitteena talousmetsien luonnonhoidon suosituksiin (Heinonen 2004, Saaristo ja Lehesvirta 2004, Hyvän metsänhoidon ... 2006). Järeän lahoppuun määrää voidaan lisätä säästämällä kuolleet puut harvennushakkuissa ja jättämällä päätehakkuualoille eläviä ja kuolleita säästöpuita. Päätehakkuualoille on 2000-luvulla jätetty yksityismailla keskimäärin noin 4 m³/ha elävää

ja kuollutta säästöpuustoa ja Metsähallituksen maila noin 6 m³/ha (ks. Hänninen 2001, Kuusinen 2006, Siitonen ja Ollikainen 2006). Elävän ja kuolleen säästöpuuston kokonaistilavuus kaikkien omistajaryhmien mailla on suuruusluokkaa 1 milj. m³ vuodessa.

Energiapuun korjuu vähentää lahoppuun määrää ja samalla saproksyytilajeille sopivien elinympäristöjen määrää kolmella eri tavalla: (1) Pieniläpimittaisen hakkuutähteen ja kantojen määrä vähenee korjuukohteilla huomattavasti (hakkuutähteen noin 70 % ja kantojen > 90 %). (2) Hakkuutähteen mukana korjataan myös järeää lahoppuuta kuten lumppeja, ainespuun korjuussa palstalle jääneitä pöllejä, järeitä latvuksia ja tuulenkaatoja. (3) Energiapuun korjuukohteilla ajetaan koneilla useampaan kertaan, jolloin suurempi osuus lahoista maapuista tuhoutuu kuin pelkän uudistushakkuun yhteydessä.

Hakkuutähteen mukana korjattavan järeän lahoppuun määrää ei yleensä ole arvioitu erikseen. Ruotsalaisessa tutkimuksessa kolmasosa avohakkuun jälkeen uudistusaloilla olleista järeistä maapuista korjattiin hakkuutähteen korjuun yhteydessä (Rudolphi ja Gustafsson 2005). Huomattava osa uudistuskypsässä metsässä ennen hakkuuta olevista maalahoppuista tuhoutuu hakkuun ja maanmuokkauksen yhteydessä. Avohakkuun ja äestyksen seurauksena maapuuston tilavuus pieneni keskimäärin 70 % murskaantumisen ja hautautumisen seurauksena (Hautala ym. 2004). Mätästys on todennäköisesti keskimäärin säästeliäämpi maanmuokkauksen menetelmä. Toisessa tutkimuksessa avohakkuun, mätästykseen ja joko pelkän hakkuutähteen korjuun tai hakkuutähteen korjuun ja kannonoston seurauksena maapuuston tilavuus pieneni keskimäärin noin 40 % (Rabinowitsch-Jokinen 2007).

4.4 Maaperäeliöstö

Maaperäeliöstö on metsämaan moottori, joka vastaa maaperän hajotusprosesseista ja vaikuttaa siten oleellisesti metsän ravinnekiertoihin. Maaperäeliöstö vaikuttaa sekä kasvupaikan lyhyen aikavälin tuottokykyyn orgaanisen aineen hajotusnopeuden ja ravinteiden vapautumisen kautta että kasvupaikan pitkän aikavälin tuottokykyyn metsämaan rakenteen ja uuden metsämaan muodostamisen kautta. Avohakkuu ja hakkuutähteiden poisto vaikuttavat puolestaan maaperäeliöiden fysikaaliseen ympäristöön ja saatavilla olevaan ravintovarastoon.

Hakkuutähteiden poistolla voi olla monia eri vaikutuksia maaperäeliöstön koostumukseen ja toimintaan (mm. Lundmark 1983, Lundkvist ym. 1991, Olsson 1996, Laurén ja Palviainen 2007). Lämpötila ja kosteusolot humuskerroksessa muuttuvat äärevämmiksi suojaavien hakkuutähteiden puuttuessa, maaperäeliöille ravinnonlähteenä käytettävissä olevan biomassan määrä pienenee, hajottajille tärkeä hiili-typin suhde muuttuu ja maaperän happamuus kasvaa. Maaperäeliöstön, erityisesti bakteerien ja sienten, kokonaislajimäärästä ja lajikoostumuksen vaihtelusta tiedetään hyvin vähän. Kiinnostuksen kohteena eivät näissä ryhmissä yleensä olekaan yksittäiset lajit vaan yhteisön rakenne lajia korkeammassa taksonomisissa ryhmissä (esim. bakteeribiomassa) tai toiminnallisissa eli funktionaalisissa ryhmissä (esim. hajottajien, sienensyöjien ja petojen lukumäärät ja runsaussuhteet).

Avohakkuun vaikutuksista maaperäeliöstöön on Pohjoismaissa julkaistu melko paljon tutkimuksia, ja myös hakkuutähteiden poiston vaikutuksia maaperäeliöstöön on selvitetty Ruotsissa useissa tutkimuksissa, joko kolmena ensimmäisenä vuonna korjuun jälkeen (Bååth 1980, 1981, Bååth ja Söderström 1982, Lundgren 1982, Sohlenius 1982, Lundkvist 1983, 1996) tai 15–30 vuotta korjuun jälkeen (Sohlenius 1996, Bengtsson ym. 1997, 1998, Mahmood ym. 1999, Hagerberg ja Wallander 2001).

Lyhyellä aikavälillä avohakkuun ja kokopuun korjuun vaikutuksissa mäntymetsän maaperäeliöstöön ei ollut olennaisia eroja. Samoilla koealoilla 15–18 vuotta korjuusta kokopuukorjuu oli vähentänyt hyppyhäntäisten, eräiden punkkien (Gamasida), hämähäkkien, petohyönteisten sekä kaksisiipistoukkien määriä noin 30–55 %, mutta ei ollut vaikuttanut oleellisesti änkyrimatojen, ankerioisten tai kaksoisjalkaisten määriin (Bengtsson ym. 1997, 1998). Toisessa kenttäkokeessa selvitettiin maaperäeliöstön rakennetta Etelä-Ruotsissa rehevässä kuusimetsässä, joka avohakkuun jälkeen oli harvennettu neljä kertaa joko ainespuun korjuuta tai kokopuukorjuuta käyttä-

en (Bengtsson ym. 1998). Hakkuutähteiden poiston vaikutukset maaperän ravintoverkon rakenteeseen ja lajiston funktionaalisten ryhmien koostumukseen olivat lähinnä määrällisiä, eivät niinkään laadullisia, ts. mikään yksittäinen laji tai funktionaalinen ryhmä ei ollut hävinnyt. Kirjoittajien (Bengtsson ym. 1997) mukaan tulosten osoittama useiden funktionaalisten ryhmien väheneminen voi kuitenkin tarkoittaa sitä, että muutokset maaperäeliöstössä saattaisivat osaltaan vaikuttaa kasvupaikan pitkän aikavälin tuottokykyä alentavasti. Vaikutukset puuston kasvuun olisivat siis saman suuntaisia kuin hakkuutähteiden poiston aiheuttama maaperän ravintoveraston väheneminen, ja maaperäeliöstö saattaisi positiivisten takaisinkytkentöjen kautta vahvistaa tätä vaikutusta.

Tämän hetkisen tutkimustiedon valossa hakkuutähteen korjuu ei näytä vaikuttavan oleellisesti lahohtajasienten tai mykorritsasienten lajirikkauteen, lajikoostumukseen, biomassaan tai sienirihmaston määrään maassa (Bengtsson ym. 1998, Mahmood ym. 1999, Hagerberg ja Wallander 2001, Allmér 2005). Kuitenkin koealoilla, joilta oli korjattu sekä hakkuutähte päätehakkuun yhteydessä että pienpuu harvennushakkuiden yhteydessä, humuskerros oli ohuempi ja sienijuurten määrä pienempi kuin verrokialoilla (Mahmood ym. 1999). Sienijuurten määrän pieneneminen voi puolestaan vaikuttaa puiden ravinnonottoon ja kasvuun – vaikutukset olisivat siis saman suuntaisia kuin hakkuutähteiden mukana poistuvien ravinteiden sinänsä aiheuttama kasvun pieneneminen. Kantojen noston vaikutuksista maaperän mykorritsaverkostoon ja sienilajistoon tiedetään edelleen hyvin vähän (Timonen ja Pennanen 2007).

4.5 Johtopäätökset ja suositukset

Vaikka hakkuutähteen korjuun vaikutuksista monimuotoisuuteen onkin runsaasti uusia tutkimustuloksia, on silti selvää, että nopeasti lisääntyvän korjuun laajan mittakaavan ja pitkän aikavälin vaikutuksista lajistoon ei ole riittävän hyvää käsitystä. Kannonoston vaikutuksista lajistoon on toistaiseksi vähän tutkimustuloksia. Kannonnosto vaikuttaa kuitenkin hakkuutähteiden korjuuta selvästi voimakkaammin moniin lajiston ja ekologisten prosessien kannalta tärkeisiin metsikön rakennepiirteisiin, kuten laho- puun määrään tai rikkoutumattoman pintakasvillisuuden ja humuskerroksen osuuteen.

Jotta mahdollisia haitallisia vaikutuksia voitaisiin ehkäistä ennakolta, energiapuun korjuun suosi-

tuksia (Koistinen ja Äijälä 2006) on syytä noudattaa ja korjuun työljälkeä seurata. Suositukset ovat pääpiirteissään seuraavat: (1) Hakkuutähteestä jätetään 30 % korjaamatta. (2) Vanhat kannot sekä eri puulajien järeitä tuoreita kantoja jätetään ≥ 25 kpl/ha (hienojakoisilla mailla ≥ 50 kpl/ha). (3) Säästetään olemassa oleva lahoppuusto. (4) Jätetään metsäluonnon arvokkaat elinympäristöt korjuun ulkopuolelle. (5) Ei korjata kantoja jyrkistä rinteistä, kivikoista tai kalliokoista, kosteikoista, vesistöjen suojakaistoilta eikä säästö- ja lahoppuiden lähiympäristöstä.

Avohakkuu sinänsä muuttaa huomattavasti metsikön olosuhteita. Näihin muutoksiin verrattuna hakkuutähteiden korjuun lisävaikutus kasvilajistoon on useimmissa tapauksissa merkitykseltään vähäinen. Suurin osa uhanalaisista ja vaateliaista kasvilajeista esiintyy tavanomaisista kangasmetsistä poikkeavilla kasvupaikoilla, jotka useimmissa tapauksissa tulee jättää energiapuun korjuun ulkopuolelle. Kuitenkin myös yleisten ja runsaiden kasvilajien, kuten mustikan, mahdollisella vähenemisellä kannonnoston seurauksena voi olla ekologisesti merkittäviä seurannaisvaikutuksia.

Lahoppuun väheneminen on keskeisin yksittäinen talousmetsien monimuotoisuutta vähentävä tekijä. Tästä syystä metsänhoitosuosituksissa on kiinnitetty erityistä huomiota järeäläpimittaisen lahoppuun lisäämiseen jättämällä eläviä säästöpuita ja säästämällä mahdollisuuksien mukaan olemassa oleva järeä lahoppu hakkuissa. Jos lahoppuun määrä talousmetsissä edelleen merkittävästi laskee energiapuun korjuun seurauksena, lajien uhanalaistuminen kiihtyy. Energiapuun korjuu ei siten saisi johtaa siihen, että järeä kuollut puusto otetaan metsistä yhä tarkemmin talteen vastoin ekologisen kestävyiden

ja monimuotoisuuden säilyttämisen tavoitteita, jotka puolestaan perustuvat kansainvälisiin sitoumuksiin, kansalliseen lainsäädäntöön ja poliittisiin päätöksiin.

Järeäläpimittainen lahoppu on lajiston monimuotoisuuden kannalta tärkeämpää kuin pieniläpimittainen latvus- ja oksapuu. Pelkästään korjuuteknologisista syistä noin 30 % hakkuutähteistä jäänee joka tapauksessa uudistusaloille korjaamatta, joten varsinkaan pieniläpimittaisen kuusen hakkuutähteen korjuulla ei todennäköisesti ole merkitystä saproksyytilajien alueellisen säilymisen kannalta. Erityisesti männyn ja koivun järeitä latvuuksia ja hukkapuuta tulisi pyrkiä säästämään korjuun yhteydessä. Haavan hakkuutähteitä ei pitäisi korjata lainkaan. Kannonnoston vaikutuksista lahoppulajistoon ei ole riittävästi tietoa.

Orgaanisen aineen poistamisen vaikutuksista maaperäeliöstöön, metsämaan rakenteeseen ja toimintaan (mm. vedenpidätyskyky, kationinvaihtokapasiteetti, happamoitumisen puskurointikyky) sekä uuden metsämaan muodostumiseen tiedetään edelleenkin aivan liian vähän. Kaikki nämä tekijät yhdessä vaikuttavat kasvupaikan pitkän aikavälin tuottokykyyn. Pohjoisissa havumetsissä metsämaa on varsin hyvin puskuroitunut kestämaan erilaisia kertaluonteisia tai harvoin toistuvia voimakkaitakin häiriöitä, kuten metsäpaloja tai maanmuokkausta. Ainakaan kertaluonteinen energiapuun korjuu päätehakkuun tai harvennusten yhteydessä tuskin aiheuttaa pysyviä vaikutuksia metsämaahan. Tutkimuksella on siten lisäaikaa pitkän aikavälin (useiden korjuukertojen, koko kiertoajan tai useiden puusukupolvien) vaikutusten selvittämiseen.



Silmälläpidettävien kovakuoriaislajien on ruotsalaisessa tutkimuksessa havaittu lisääntyvän lehtipuiden, ennen kaikkea haavan, hakkuutähteissä. Haavan hakkuutähteet pitäisikin jättää korjaamatta. Kuva: Martti Kuusinen / Tapio

5 Energiapuunkorjuu osana metsänhoitoa ja puuntuotantoa

MMT Timo Saksu

Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen toimintayksikkö

5.1 Metsäbiomassan korjuu energiakäyttöön päätehakkuualoilta

Päätehakkuun yhteydessä korjattava latvusmassa ja kannot muodostavat 70–80 % nykyisin energiakäyttöön korjattavasta metsähakkeesta. Latvusmassan korjuuta tehdään nykyisin arviolta 30 000 hehtaarin alalta ja kantoja nostetaan noin 8 000 hehtaarilta. Aivan lähivuosina latvusmassan korjuuala nousee kansallisen metsäohjelman tavoitteiden mukaan noin 50 000 ha ja kannonostoala ehkä 25 000 hehtaariin. Tuolloin energiapuun korjuu tehtäisiin joka kolmannelta uudistusosalta. Koska korjuu keskittyy pääosin kuusivaltaisiin metsiin, korjattaneen latvusmassaa kahdella kolmesta ja kantoja joka kolmannelta kuusen uudistusosalta.

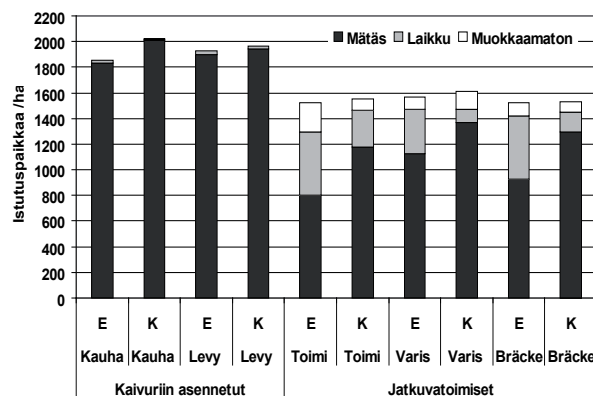
5.2 Latvusmassan korjuun vaikutukset metsänuudistamisen operaatioihin

Latvukset ja oksat haittaavat ns. jatkuvatoimisten muokkauslaitteiden kuten metsä-äkeen tai laikkumätätäjän työtä. Äestyksessä latvusmassan korjuun jälkeen hyvien istutuskohtien määrä on hieman suurempi ja muokkausjäljen laatu tasaisempaa kuin hakkuutähteellisellä uudistusosalalla (esim. Saksa 2001). Jatkuvatoimisten laikkumätätäjien muokkausjäljen laatuun latvusmassan korjuulla on äestystä suurempi positiivinen vaikutus (Saarinen & Harstela 2004, kuva 1).

Kaivinkoneella tehtävän laikutuksen ja mätästyksen tuottavuus nousee latvusmassan korjuun ansioista keskimäärin 15–20 % (Saksa ym. 2002, Saarinen & Harstela 2004). Kuljettajan kannalta muokkaustyö on hakkuutähteettömällä alueella selkeämpää kuin hakkuutähteellisellä, koska siirtymisen ja istutuspaikkojen valinta helpottuu. Hakkuutähteiden alla saattaa olla työtä haittaavia kantoja ja kiviä. Usein mättään paikka pystytään valitsemaan vasta hakkuutähteiden siirtämisen jälkeen. Hakkuutähteellisellä uudistusosalalla työajasta kuluu n. 10 % hakkuutähteiden siirtelyyn (Saksa ym. 2002).

Latvusmassan korjuu on todettu myös lisäävän

istutustyön tuottavuutta. Manuaalisessa istutuksessa tuottavuuden nousu jäi vähäiseksi (Saksa ym. 2002), mutta koneellisessa istutuksessa (Bräcke istutuskone) tuottavuuden nousu on ollut noin 20 % hakkuutähteellisen kohteen istutuksen tuottavuuteen verrattuna (Saarinen 2006a). Tuottavuuden nousu aiheutuu koneistutuksessa siinä, ettei hakkuutähteitä tarvitse siirrellä mättäitä tehdessä latvusmassan korjuu aloilla. Muutoinkin istutustyön laatu oli latvusmassan korjuun jälkeen jonkin verran parempi.



Kuva 1. Esimerkki latvusmassan korjuun vaikutuksesta kaivuri-pohjaisten muokkauslaitteiden ja jatkuvatoimisten laikkumätätäjien muokkausjäljen laatuun (Saarinen & Harstela 2004). E = Ei latvusmassan korjuuta, K = Latvusmassaa korjattu.

5.2.1 Kantojen korjuun vaikutukset metsänuudistamisen operaatioihin

Kantoja nostetaan yleensä uudistusaloilta, joilta latvusmassa on jo korjattu. Kantojen nosto antaa mahdollisuuden yhdistää maanmuokkaus itse kannonosto operaatioon. Tällöin ns. täydentävän muokkauksen ajanmenekki oli 40 % normaalin muokkauksen ajanmenekistä (Saarinen 2006a). Kantojen noston yhteydessä tehtävän maanmuokkauksen jälki poikkeaa laadultaan tavanomaisen maanmuokkauksen jäljestä. Säännöllisen kaksinkertaisen humuskerroksen sisältävien mättäiden osuus jää kannonostoalaa täydennysmuokattaessa selvästi pienemmäksi kuin normaalisti laikkumätäste-

tyllä alalla. Lisäksi kannonnostoaloilla huomattava osa taimista istutetaan kannonnostossa syntyneisiin kohoumiin ja laikkuihin (Saarinen 2006a). Kannonnostoaloille syntyvien istutuspaikkojen laadunvaihtelun merkityksestä istutustaimien menestymiseen on vasta ensimmäisiä alustavia tutkimustuloksia. Niiden mukaan kuusen istutustaimien alkukehityksessä ei ollut oleellisia eroja erilaisilla istutuspaikoilla kannonnostoalalla (Saarinen 2006b). Pelkkä kantojen nosto (ei latvusmassan korjuuta) voi jopa parantaa kuusen taimien pituuskehitystä (Miljökonsekvenser 2007; Kardell 1992).

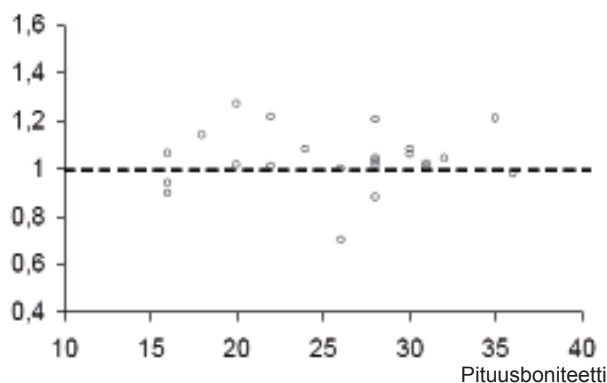
Toisena vaihtoehtona on tehdä kantojen korjuu mahdollisimman tehokkaasti vain energiapuun korjuun näkökulmasta. Tällöin kannonnostossa keskitytään kantopuun talteen ottoon ja pyritään välttämään juuriin mukaantuloa ja maanmuokkaus tehdään sitten joko omana operaationaan tai koneellisen istutuksen yhteydessä. Istutusalan kantojen vähyys edesauttaa koneellisen istutuksen toimintaedellytyksiä sekä istutuskoneiden teknisiä kehitysmahdollisuuksia. Samoin kantojen korjuun jälkeen jatkuva toimien muokklauslaitteiden toimintaedellytykset paranevat ja muokkausjäljen laatu paranee. Tehtiin maanmuokkaus sitten kannonnoston yhteydessä tai sen jälkeen erikseen, on muokkausjäljen laadunvaihtelu tavanomaista suurempaa. Tämä korostaa muokkausjäljen laadun seurannan merkitystä käytännön toiminnassa.

5.2.2 Metsäbiomassan korjuun vaikutus uudistamistulokseen ja taimikon kehitykseen

Tutkimusten mukaan istutustaimien elossa olo on ollut muutamia %-yksikköjä suurempi hakkuutähteettömillä kuin hakkuutähteellisillä koealoilla (Miljöeffekter ... 2006). Mänyllä vaikutus on ollut selvempi kuin kuusella, mutta kuusellakin metsäbiomassan korjuun positiivinen vaikutus on havaittavissa (kuva 2). Paremmassa elossa olon on arvioitu johtuvan taimien nopeammasta sopeutumisesta istutuspaikalle paremman maanmuokkausjäljen ansiosta ja näin kestävästi paremmin mm. taimiin kohdistuvia hyönteistuhoja. Samoin hyvä muokkausjälki antaa istutustaimelle paremmat edellytykset kilpailla pintakasvillisuutta vastaan.

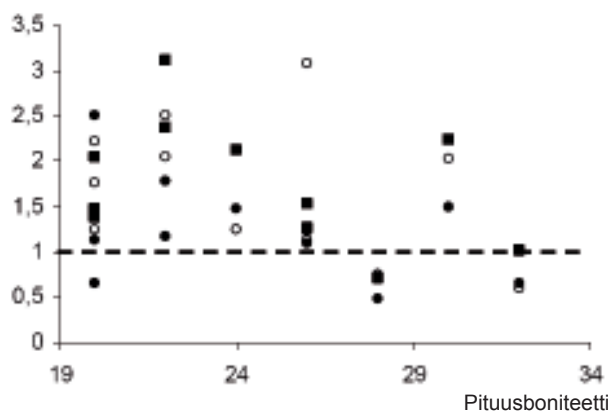
Luontaisen taimettumisen on havaittu olleen parempaa latvusbiomassan (Saksa ym. 2002) ja erityisesti kannonnoston jälkeen (Kardell 1992, kuva 3).

Metsäbiomassan korjuun ansiosta lisääntynyt havupuiden luontainen taimettuminen parantaa uudistamistulosta havupuutaimikoissa, mutta valtaosa luontaisesti syntyneistä taimista on kuitenkin lehti-



Kuva 2. Istutuskuusten suhteellinen elossa olo (ympyrät) 5–10 vuoden kuluttua istutuksesta latvusmassan korjuualoilla verrattuna kontrollialoihin, joilta hakkuutähteitä ei korjattu (katko viiva) tutkimusten mukaan Pohjoismaissa. Havainnot viivan yläpuolella tarkoittavat parempaa elossa oloa niillä koealoilla, joilta hakkuutähteet oli korjattu. X- akselilla kuvataan koekenttien viljavuutta pituusboniteetilla. (Miljöeffekter ... 2006).

puuta. Kannonnoston seurauksena lehtipuumäärän on arvioitu 1,3–1,8 kertaistuvan tavanomaiseen muokkaukseen nähden (Kardell 1992, Saarinen 2006b, Strandström 2007). Kantojen nostoaloilla maata rikkoutuu 65–90 % kun tavanomaisessa muokkauksessa rikotun maanpinnan osuus jää 20–30 % -tasolle (Strandström 2007). Rikkoutuneen maanpinnan osuus ei yksinään selitä lehtipuiden taimettumisessa havaittua suurta vaihtelua. Ilmeisesti mm. kohteen maalajilla, vesitaloudella, kasvukauden säätekijöillä ja kannonnoston ajankohdalla on oma vaikutuksensa luontaisen taimettumisen volyyymiin. Tarkempien syy-seuraus -yhteyksien selvittämiseksi tarvitaan tässä yhteydessä vielä lisää tutkimustietoa.



Kuva 3. Luontaisen taimien suhteellinen määrä seitsemäntenä kasvukautena koealoilla, joilta on korjattu latvusmassaa (avoin ympyrä), kannot (musta piste) tai molemmat (musta neliö) verrattuna kontrollialoihin, joilta latvusmassaa eikä kantoja ole korjattu. Havainnot viivan yläpuolella tarkoittavat suurempaa taimimäärää niillä koealoilla, joilta metsäbiomassaa oli korjattu. X- akselilla kuvataan koekenttien viljavuutta pituusboniteetilla (Miljökonsekvenser 2007; Kardell 1992).

Runsaasta luontaisesta taimettumisesta johtuen taimikonhoidon, etenkin perkauksen kustannukset, nousevat kannonnostoaloilla tavanomaista suuremmiksi. Jos lehtipuun määrä nousee 50 %, on taimikonhoitokustannusten arvioitu kasvavan 15–30 % (Harstela 2004a). Lisäksi kannonnostoalojen taimikonhoidossa perkauksen ajoituksella on kustannusten kannalta erityisen suuri merkitys. Tavanomaisessa perkauksessa kahden vuoden viivästyminen perkauksessa nosti kustannuksia 10–40 % (Kaila ym. 2006), mutta suuremman lehtipuuntuheyden vuoksi perkauksen myöhästyminen aiheutuva kustannusten nousu voi kannonnostoaloilla olla selvästi suurempi.

Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan lehtipuiden suuri osuus kannonnostoalojen puustossa säilyy taimikonhoitotoimenpiteistä huolimatta vielä ensiharvennusvaiheessakin (Miljökonsekvenser ... 2007), mikä heikentää havupuun tuotosta ja metsikön tuottoa jatkossa. Toisaalta kannonnostoalojen runsas lehtipuusto antaa mahdollisuuksia tavoitteellisen energiapuun ja ainespuun yhteiskasvatukseen (Heikkilä ym. 2007).

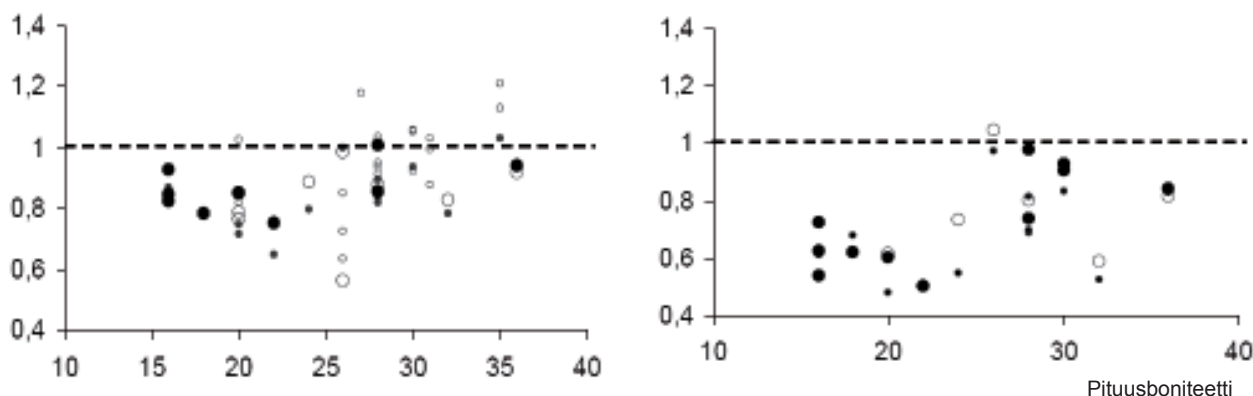
Metsäbiomassan korjuun on todettu aiheuttavan etenkin kuusen istutustaimikoissa puuston keskipoikkeavuuden ja pohjapinta-alan kehityksen hidastumista (Miljöeffekter ... 2006, kuva 4). Ruotsalaisten tutkimusten mukaan kasvun taantuma alkaisi näkyä kuusikossa muutaman vuoden kuluttua istutuksesta (4–5 vuotta) ja se kestäisi noin 10 vuoden ajan. Pituuskehityksen taantuma ajoittuu näin ollen sille ajalle, jolloin tavanomaisen uudistusalan hakkuutähteistä vapautuu ravinteita puuston käyttöön. Pituuskehityksen taantumien suuruus on kenttäkokeis-

sa vastannut 2 vuoden pituuskasvua (Miljöeffekter ... 2006). Männiköissäkin on havaittu vastaavaa kasvun taantumaa, mutta se on ilmennyt selkeästi kuusta myöhemmin, 12–15 vuoden kuluttua istutuksesta (Egnell ja Valinger 2003).

Em. kenttäkokeissa latvusmassan korjuu on lähes totaalista, joten niissä saadut tulokset kuvaavat niitä ääriarvoja mitä metsäbiomassan korjuu voi vaikuttaa tulevan puuston kehitykseen. Käytännössä uudistusalalle pyritään jättämään 30 % latvusmassasta ja osa kannoista (esim. Koistinen ja Äijälä 2006), jonka ansioista metsäbiomassan korjuun vaikutukset tulevan puuston kehitykseen käytännössä jäävät pienemmiksi mitä em. järjestetyissä kokeissa on havaittu. Kysymystä voitaisiin valottaa vertailemalla vanhimpien (vähintään 15 vuotta vanhojen) käytännön hakkuutähdekorjuukohteiden puuston kehitystä verrokkialoihin.

5.3 Metsäbiomassan korjuu energiakäyttöön taimikoista ja nuorista metsistä

Pienpuun korjuu energiapuuksi energiapuuhakkuussa/ensiharvennuksessa vastaa nykyisin 20–30 % metsähakkeen volyyymistä. Energiapuun korjuujohotteet ovat toistaiseksi olleet pääosin ns. nuorenmetsän kunnostusta vaativia metsiköitä, joissa taimikonhoito viivästynyt tai jäänyt oikeaan aikaan tekemättä. Pienpuun korjuu energiakäyttöön on toistaiseksi ollut taloudellisesti kannattamatonta ilman yhteiskunnan tukea.



Kuva 4. Istutuskuusten suhteellinen keskipoikkeavuus (vasen) ja pohjapinta-ala (oikea) 5–20 vuoden kuluttua istutuksesta latvusmassan korjuualoilla verrattuna kontrollialoihin, joilta hakkuutähteitä ei korjattu (katko viiva) tutkimusten mukaan Pohjoismaissa. Erikokoisilla symboleilla kuvataan latvusmassan korjuusta kulunutta aikaa seuraavasti: pieni avoin ympyrä= 5–10, pieni musta piste = 11–15, suuri avoin ympyrä = 16–20 ja suuri musta piste = > 20 vuotta latvusmassan korjuusta. Havainnot viivan alapuolella tarkoittavat pienempää keskipoikkeavuutta / pohjapinta-alaa niillä koealoilla, joilta hakkuutähteet oli korjattu. X- akselilla kuvataan koeenttien viljavuutta pituusboniteetilla (Miljöeffekter ... 2006).

5.3.1 Pienpuun korjuu taimikoista ja nuorista metsistä

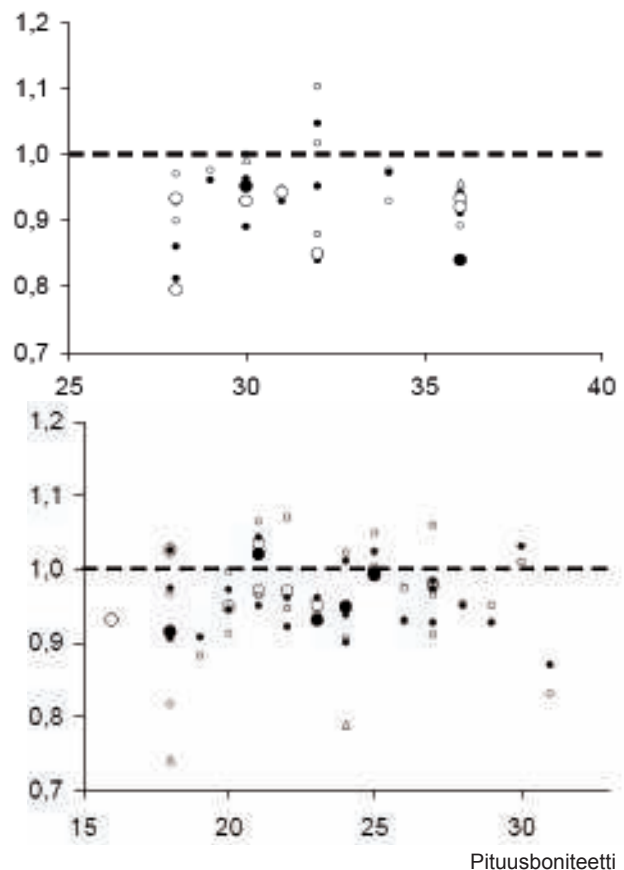
Nykyisissä metsän kasvatusmalleissa nuoren metsän kunnostuksessa ja taimikonhoidossa on ensisijaisesti kysymys metsänhoidollisesta toimenpiteestä, jonka tavoitteena on saattaa metsikkö ainespuunkasvusta varten mahdollisimman hyvään tilaan. Toistaiseksi tässä yhteydessä korjattu pienpuu energiaksi on usein ollut enemmänkin toiminnan sivutuote.

Ensiharvennusta lähestyvissä mäntyvaltaisissa nuoren metsän kunnostuskohteissa (taimikonhoito tekemättä), energiapuuhakkuu on laskettu olevan edullisin vaihtoehto, jos poistuvan ainespuun määrä jää alle 20 m³/ha (Heikkilä ym. 2007). Kun ainespuun määrä ylittää 20 m³/ha, tulee ainespuun erotelu energiapuun joukosta kannattavaksi. Toisena vaihtoehtona on viivästyttää ensiharvennusta muuttamalla vuodella ja tehdä se tavanomaisena ainespuuhakkuuna (Heikkilä ym. 2007).

Uutena vaihtoehtona pienpuun energiakäytön edistämiseksi on viimeisiin metsänhoitosuosituksiin lisätty energiapuun ja ainespuun yhdistetyn kasvatuksen kasvatusvaihtoehto (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006). Tällöin taimikon harvennusvaiheessa jätetään puusto selkeästi nykyistä tiheämmäksi ja energiapuuhakkuu tehdään huomattavasti tavanomaista ensiharvennusta aiemmin. Ainespuun ja energiapuun nykyisillä hintasuhteilla tavoitteellinen energiapuun ja ainespuun kasvattaminen ei kuusivaltaisissa taimikoissa ole taloudellisesti kannattavaa, mutta mäntyvaltaisissa kohteissa energiapuun ja ainespuun yhdistetty kasvatusohjelma näyttäisi olevan taloudellisesti mahdollinen pienellä energiapuun kantohinnalla (3–5 euroa/m³) (Siren ym. 2007). Mäntyvaltaisissa kohteissa riukumetsävaiheen tavanomaista suuremmalla tiheydellä voidaan olettaa parannettavan jossain määrin tulevan ainespuun laatua, mutta käytännön havainnot tai tutkimustulokset asiasta toistaiseksi puuttuvat.

5.3.2 Taimikoista ja kasvatusmetsistä korjatun latvusbiomassan vaikutus puuston kasvuun

Varttuneen taimikon ja nuoren metsän harvennuksessa tehdyn latvusbiomassan korjuun on todettu aiheuttavan kasvutappioita jäävälle puustolle (kuva 5). Kuusikoissa reaktio on voimakkaampi kuin männiköissä ja metsiköiden välillä on suurta vaihtelua. Kasvutappioita voidaan pienentää jättämällä neulaset ja/tai osa latvuksesta korjaamatta. Samoin ravinhävikki voidaan tehokkaasti korvata lannoituksella kasvatusmetsässä. Tuhkan käytöstä tällaisessa



Kuva 5. Kuusikon (yläkuva) ja männikön (alakuva) suhteellinen pohjapinta-alan / tilavuuden kasvu harvennuksen (perkauksen) jälkeen latvusmassan korjuualoilla verrattuna kontrollialoihin, joilta hakkuutähteitä ei korjattu (katko viiva) tutkimusten mukaan Pohjoismaissa. Erikokoisilla symboleilla kuvataan harvennuksesta (perkauksesta) kulunutta aikaa seuraavasti: kolmio = 0–4 vuotta, pieni avoin ympyrä = 5–10, pieni musta piste = 11–15, suuri avoin ympyrä = 16–20 ja suuri musta piste = > 20 vuotta latvusmassan korjuusta. Havainnot viivan alapuolella tarkoittavat pienempää pohjapinta-alan / tilavuuden kasvua niillä koealoilla, joilta hakkuutähteet oli korjattu. X- akselilla kuvataan koekenttien viljavuutta pituusboniteetilla (Miljöeffekter ... 2006).

kompensointilannoituksena on Ruotsista runsaasti pääosin positiivisia tutkimustuloksia (Miljöeffekter ... 2006).

Energiapuuhakkuiden korjuussa jäävälle puustolle aiheutuu korjuuvaurioita enemmän kuin keskimäärin muissa harvennushakkuissa. Vuonna 2006 tehdyissä korjuujäljen tarkastuksissa lähes 6 % jäävästä puustosta oli energiapuunkorjuussa vaurioitunut (Äijälä 2007). Samoin ajouraväli oli energiapuunkorjuukohteilla hieman pienempi kuin muissa harvennuksissa ja lähes joka toisessa kohteessa keskimääräinen ajouraväli jäi alle 20 metrin. Heikompi korjuujälki selittyy osin muista harvennuskohdeista vaikeimmilla olosuhteilla (metsikön tiheys, alikasvos jne.) energiapuun korjuukohteilla (Äijälä 2007), osin uuden toiminnan opetteluvaiheella.

5.4 Yhteenveto metsäbiomassan korjuun vaikutuksista metsänhoitoon

Metsäbiomassan korjuun vaikutukset metsätalouteen ovat valtaosaltaan välillisiä. Energiapuun kanto hinnalla on toistaiseksi ollut vähäinen merkitys metsänomistajan tulonlähteenä. Metsänhoitoon energiapuun korjuun yleistymisen on luonut sekä haasteita että uusia mahdollisuuksia.

Päättehakkualoilla latvusmassan ja kantojen korjuu nostavat maanmuokkauksen ja metsänviljelyn tuottavuutta, jonka arvioitu tuovan kustannussäästöjä 45–50 euroa /ha (Harstela 2004a). Parimmasta uudistamistuloksesta ja lyhyemmästä uudistamisajasta huolimatta metsäbiomassan mukana viedystä ravinteista aiheutuu arviolta 20 euron lisäkustannus hehtaaria kohti, kun ravinnemenetys korvataan lannoittamalla (Harstela 2004a). Energiapuun korjuu päättehakkualoilta edistää laitekehitystä maanmuokkauksessa ja metsänviljelyssä ja nopeuttaa koneellisen istutuksen yleistymistä. Käytännön haasteena on saada latvusmassan ja kantojen korjuu sujumaan logistisesti niin, ettei se viivästytä maanmuokkausta ja viljelyä.

Erityisesti kannonnostoaloille syntyvän, tavanomaista runsaamman lehtipuuston voidaan arvioida aiheuttavan taimikonhoitoon noin 45–90 euron lisäkustannuksen hehtaaria kohti. Kannonnostomenetelmiä kehittämällä voitaneen rajoittaa lehtipuuden syntymistä jossain määrin, mutta vesakoitumisen hallitsemiseksi tarvitaan lisää tutkimustietoa lehtipuuston syntyyn vaikuttavista tekijöistä kannonnostoaloilla. Runsaan ja usein tasaisen lehtipuuvesakon vuoksi kannonnostoalat ovat ilmeisen sopivia koneellisten perkausmenetelmien kehittämiseen. Samoin aines- ja energiapuun yhdistetty kasvatusta kannon-

nostoaloilla edellyttää vielä lisää tutkimustietoa ja käytännön osaamista.

Metsikön metsänhoidollisen tilan kohentaminen on ensisijainen tavoite taimikoiden perkauksessa ja harvennuksessa ja useimmiten myös nuoren metsän kunnostuksessa, ja tällöin korjattava energiapuu on luonteeltaan enemmänkin sivutuote. Metsänhoidollisen hyödyn puuntuotannon lisäyksenä nuoren metsän kunnostuksen jälkeen on arvioitu olevan noin 100 euroa hehtaaria kohti, kun latvusmassan mukana menevät ravinteet korvataan lannoituksella (Harstela 2004a).

Metsäbiomassan korjuun aiheuttamien ravinnehävikkien suuruusluokka ja merkitys lyhyellä aikavälillä taimikon tai harvennetun puuston kehitykseen on tutkimuksin todennettu. Pidemmän aikavälin vaikutuksista ei vielä ole riittävästi tietoa etenkin kantojen noston vaikutuksesta metsämaan puuntuottokykyyn. Edelleen tarvitaan tutkimus- ja kehitystyötä energiapuuharvennusten kustannustehokkuuden parantamiseksi, korjuuvaurioiden vähentämiseksi ja ravinnehävikin pienentämiseksi. Yhdistetyn aines- ja energiapuun kasvatuksesta mäntyvaltaisissa kohteissa ei ole riittävästi käytännön kokemusta.

Kokonaisuudessaan metsäbiomassan korjuun vaikutukset metsänhoitoon ja metsätalouteen voidaan katsoa olevan positiivinen. Metsähakkeen tuotannon on arvioitu pienentävän metsätalouden kustannuksia reilulla 2 %:lla ja lisäävän metsätalouden nettotuottoja 0,5 % (Harstela 2004b) vuonna 2010, jos kansallisen metsäohjelman tavoitteet metsähakkeen käytön osalta toteutuvat.



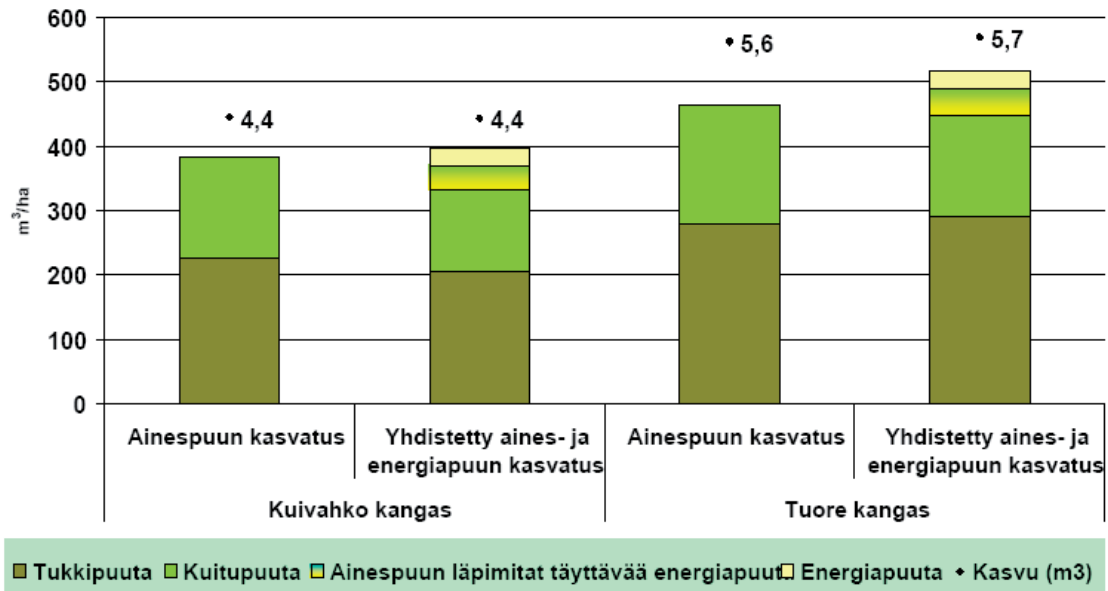
Kuva 6. Kannonnostokohteet ovat useimmiten kuusen istutuskohteita, joissa parhaaseen uudistamistulokseen päästään mätästävillä muokkausmenetelmillä. Kuvassa laikkumätästetään kanto haralla, jossa on erillinen muokkauslevy mättäiden tekoa ja tiivistämistä varten.

Kuva Erkki Oksanen / Metla.

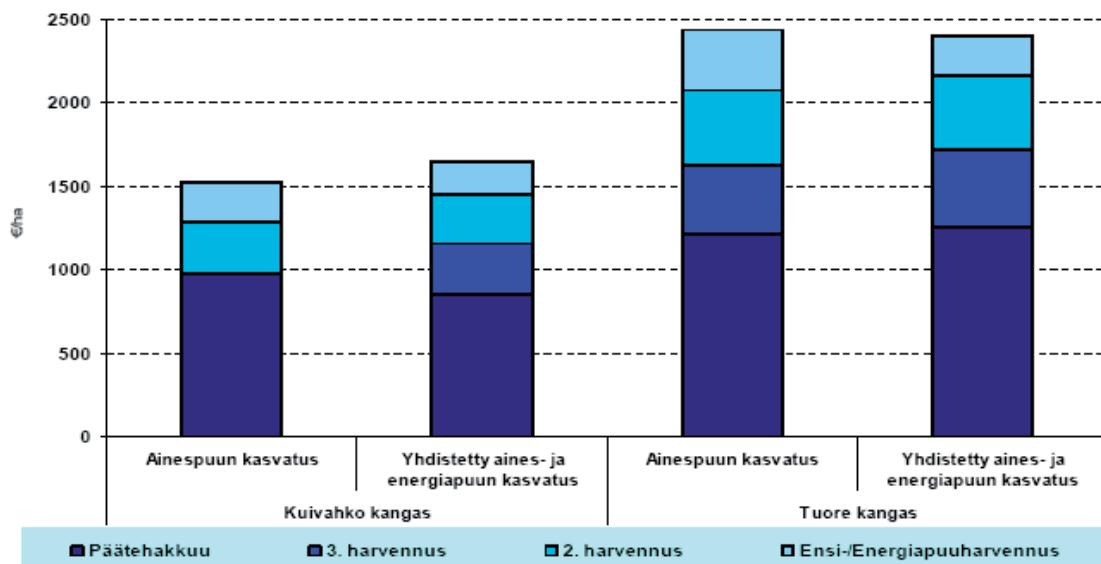
Yhdistetty aines- ja energiapuun kasvatusta mäntyvaltaisissa metsissä

Mäntytaimikon varhaisperkaus tehdään 1–2 m pituudessa, jolloin poistetaan havupuiden kehitystä haittaava lehtipuu. Taimikon harvennus noin 5 m valtapituusvaiheessa tiheyteen 3 000–4 000 runkoa/ha. Energiapuuharvennus 10–13 m valtapituudella, jolloin jäävän puuston tiheys 1 000–1 400 runkoa/ha. Muut harvennukset tehdään tavanomaisesti.

Kiertoaajan puuntuotos ja kasvu



Kuva 7. Koko kiertoaajan puuntuotos ja vuotuinen keskimääräinen kasvu männikössä (Sirén ym. 2007).



Kuva 8. Harvennusten ja päätehakkuun kantarahatut, kun energiapuun kantohinta 5 euroa /m³ (laskentakorko 3 %) männikössä (Sirén ym. 2007).

6 Metsäenergian tuotannon ja käytön resurssitarpeet sekä aluetalousvaikutukset

Lauhanen, Risto & Laurila, Jussi

Seinäjoen ammattikorkeakoulu, maa- ja metsätalouden yksikkö

6.1 Metsäenergian tuotannon ja käytön resurssitarpeet

6.1.1 Hankintakohteet ja tarvittavan konekaluston määrä

Metsäenergian hankinta keskittyy nuorten metsien hoitokohteille sekä kuusikoiden uudistamisalojen latvusmassan, kantojen ja juurakoiden korjuuseen (Hakkila 2004, Lauhanen ja Laurila 2007). Hankintalogistiikka edellyttää riittävän raaka-ainevarannon lisäksi asianmukaista konekalustoa sekä osaavaa ja alalle motivoitunutta työvoimaa. Hankintamäärien ja -alueiden toimintasäteiden kasvaessa korjuukoneiden, hakkureiden ja kaukokuljetuskaluston taroituksenmukaiset siirrot edellyttävät yhteiskunnalta metsäautoteiden ja paikallistieverkoston ylläpitoa.

Metsäntutkimuslaitos on ennustanut metsäenergian hankinnassa tarvittavan konekaluston tarpeen kasvavan seuraavan parin vuosikymmenen aikana

(Asikainen 2004). Esimerkiksi hakeautojen määrän on arvioitu yli kaksinkertaistuvan vuodesta 2010 vuoteen 2025 ulottuvalla tarkastelujaksolla (Taulukko 1).

6.1.2 Työvoimatarpeet

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) ja Metsäntutkimuslaitos ovat ennustaneet metsäenergialiiketoiminnan työvoima- ja kalustotarpeita vuoteen 2020 saakka (Helynen ym. 2007). Nykytasolla ainespuun korjuussa ja kaukokuljetuksessa tarvitaan noin 8000 ja metsäenergian hankinnassa runsaat

Taulukko 1. Metsähakkeen hankinnassa käytettävien työkoneiden ja ajoneuvojen vuosisuoritteet, uushankintahinnat sekä arvioidut lukumäärät vuosina 2010 ja 2025 (Asikainen 2004).
Selitykset: --- = puuttuva tieto, * = Etelä-Pohjanmaan EAKR tavoite 2 -alueen Epanet-hankkeen tilastoima yksittäistieto.

	Koneen vuosisuorite, m ³	Uushankintahinta, €	Lukumäärät, kappaletta	
			vuosi 2010	vuosi 2025
Metsätraktori	30 000	270 000	167	333
Hakkuutähdepaalain	25 000	350 000	50	100
Hakkuri	30 000	660 000	67	150
Käyttöpaikkamurskain	120 000	1 500 000	25	46
Siirrettävä kantomurskain	---	700 000*		
Kaatokasauskone	10 000	360 000	90	250
Kaivinkone	17 000	240 000	114	189
Kanto- ja risuauto	25 000	270 000	70	120
Hakeauto	25 000	220 000	80	180
Puutavara-auto	25 000	220 000	50	100
Lavettiauto	---	150 000	141	304

2 000 työntekijää. Kotimaisen puunhankinnan maksimivaihtoehdossa puun tuonnin tyrehtyminen sekä öljyperäisten polttoaineiden hinnan nousu ovat johtamassa kotimaisten hakkuumäärien kasvamiseen. Tällöin ainespuun korjuussa ja kuljetuksissa tarvitaan noin 11 000 työntekijää ja energiapuun hankinnassa vastaavasti noin 7000 työntekijää (Taulukko 2). Lisäksi metsäenergian kasvava käyttö näkyy lisääntyvinä laitosinvestointeina (Taulukko 3).

Taulukko 2. Metsäenergian tuotannon ja käytön työvoimatarve henkilötyövuosina vuonna 2020, mikäli tuontipuun käyttö tyrehtyy ja kotimaisiin hakkuisiin panostetaan (Helynen ym. 2007).	
Metsähakkeen tuotanto ja kuljetus	6 200
Pilkekauppa	500
Lämpöyrittäjäyys	400
Sähkön ja lämmön suurtuotanto	150
Polttoainejalosteiden valmistus	150

Taulukko 3. Metsäenergian tuotannon ja käytön investointitarpeet M€ (Helynen ym. 2007).	
Uudet CHP-laitokset	900
CHP-saneeraukset	200
Lämpökeskukset	500
Polttoainejalosteiden valmistus	500
Metsähakkeen tuotanto	50

Ennakoitu ilmaston lämpeneminen heikentää aines- ja energiapuun korjuuolosuhteita erityisesti ojitetuissa suometsissä. Ainespuun hankinta tapahtuu jatkossa aikaisempaa enemmän harvennuskasvatussissa, joissa puunkorjuun tuottavuus jää alhaiseksi pienten hakkuukertymien ja hakkuupoistuman rungon pienen keskikoon takia. Metsäenergian hankinta puolestaan keskittyy jatkossa entistä enemmän nuorten metsien harvennuskasvatukselle. Ainespuun ja metsäenergian hankinnassa ilmennee kuitenkin vuotuista resurssitarvevaihtelua toisiaan korvaavien polttoaineiden hintamuutosten sekä päästöoikeuden hintavaihtelujen takia (Helynen ym. 2007).

Suuren mittakaavan ainespuun ja energiapuun hankinta kytkeytyvät toisiinsa. Metsäteho on laskenut osin Venäjän puun tuonnin taantuessa kotimaan ainespuunhankinnan kasvavan 10 milj. kuutiometrillä vuoteen 2010 mennessä, jolloin puunkorjuuketjuja tarvittaisiin lisää 500 kappaletta ja puutavara-autoja 260. Metsäkoneen kuljettajien lisätarve on 800 ja puutavara-auton kuljettajien 400 vuoteen 2010 mennessä (Väkevä 2007).

Käytännössä miljoonaan ainespuukuutiometrin lisähankinta edellyttää myös 20 metsätoimihenkilön

palkkaamista ainespuun ostotehtäviin, mikäli keskimääräinen ostotavoite on 50 000 m³ toimihenkilöä ja vuotta kohti. Miljoona lisäkuutiometriä edellyttää kolmen korjuuesimiehen ja kahden kuljetusesimiehen lisätarvetta. Metsänhoitopalvelujen tuottaminen puukauppalvelujen osana edellyttää noin kolmen metsänhoitotoimihenkilön palkkaamista miljoonaan kuutiometrin ainespuun lisähankintaa kohti (Lahdenmäki, Sippola & Huhtala 2007).

Puupohjaisten biopolttoaineiden valmistus on tuotu esille bioenergian suuren mittakaavan tuotantovaihtoehdona. Taustalla on metsäteollisuuden kilpailukykyyn parantaminen (McKeough & Kurkela 2006). Suomalainen metsäteollisuus ja VTT ovat alkaneet tutkia puun jalostusta biopolttoaineeksi sellun ja paperin valmistuksen yhteydessä. Varkauden paperitehtaiden yhteyteen suunniteltu Stora Enso oy:n ja Neste Oil oy:n biojalostamo tuottaisi noin 100 000 tonnia puudieseliä vuodessa. Tämä merkitsee noin miljoonan puukuutiometrin hankintamäärän lisäystä Savon seudulla (Kilpeläinen 2007). Toisaalla Vapo oy suunnittelee energiaturpeella, puulla ja peltoenergialla toimivien biojalostamoiden rakentamista (Mutka 2007).

6.1.3 Investointiarviot

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) ja Metsätutkimuslaitos ovat arvioineet metsäenergian tuotannon ja käytön investointitarpeiksi noin 2 500 milj. €, mikäli tuontipuun käyttö tyrehtyy, kotimaisiin hakkuisiin panostetaan ja öljypohjaisten polttoaineiden hintojen nousu jatkuu (Taulukko 3). Eryteisesti yhdistettyyn sähkön ja lämmöntuotantoon investoitaisiin jatkossa (Helynen ym. 2007).

6.1.4 Lämpöyrittäjäyden mahdollisuudet

Työtehoseura on pitkäjänteisesti tutkinut lämpöyrittäjäyttä valtakunnan tasolla. Vuoden 2003 lopussa lämpöyrittäjät vastasivat lämpölaitosten polttoainehuollosta ja lämmön tuotannosta ainakin runsaalla 200 lämpölaitoksella. Yleisintä lämpöyrittäminen oli Länsi-Suomessa. Metsähaketta käytettiin tuolloin 290 000 irtokuutiometriä, sahauspintahaketta 20 000 sekä purua ja kuorta 11 000 irtokuutiometriä yrittäjävetoisissa laitoksissa. Pala- ja jyrsinturvetta käytettiin lisäksi 20 000 irtokuutiometriä. Pellettien ja brikettien osuus oli 4 000 irtokuutiometriä, samoin halkojen ja muiden polttoaineiden. Kunnat olivat lämpöyrittäjien tärkein asiakasryhmä. Kuntien alue-lämpölaitokset sekä koulujen ja vanhainkotien laitosten ovat tärkeitä metsähakkeen toimituskohteita. (Nikkola & Solmio 2004, Solmio 2006).

Maassamme oli vuonna 2005 noin kolmesataa 1,0–2,5 MW:n lämpölaitosta (Solmio 2006). Lämpöyrittäjiä on eniten Etelä-Pohjanmaalla osin maakunnallisen yrittäjähengen, osin Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen tulokellisen hanketyön ja neuvonnan ansiosta. Valtakunnan tasolla lämpöyrittäjistä 60 prosenttia piti toimintaansa kannattavana tai hyvin kannattavana ja 38 prosenttia tyydyttävänä. Alan kustannusrakenteessa oli yritys kohtaista vaihtelua. Esimerkiksi yhdellä yrittäjällä lämmön myyntihinnasta (noin 30 €/MWh) katteen osuus oli 0,9 €, kun taas toisessa esimerkissä katteen osuus oli 29,7 € noin 50 €/MWh:n myyntihinnasta (Solmio 2006).

Myös pilkkeiden valmistaminen ja toimittaminen luo maaseudulle uusia liiketoimintapalveluja. Seinäjoen ammattikorkeakoulu toteutti Kuusiokuntien kehittämisyhdistyksen kanssa polttopuun käyttöä ja mökkitalonmiespalveluita koskevan kyselyn kaikkiaan 700 kesämökkikiinteistön omistajalle Soinissa ja Lehtimäellä (Monto & Ranttila 2005). Mökkiteiden lumenaurauksille ja polttopuun kuljetuspalveluille oli kysyntää. Sen sijaan pilkkeiden pinoamiselle ei ollut kysyntää, sillä moni haluaa mennä mökille nimenomaan töitä tekemään. (Monto & Ranttila 2005). Myös klapien vientikaupasta on keskusteltu (Aho 2006).

Pienessä mittakaavassa paikalliset energiaosuuskunnat lämpöyrittäjiineen ovat tärkeitä toimijoita. Vaikkakin metsäenergian hankinta työllistää aluetason toimijoita eniten, myös turpeen ja peltoenergiakasvien käyttö on olennainen osa alueiden ja seutukuntien lämpöyrittäjyyttä.

Ähtärin energiaosuuskunta

- Noin 30 jäsentä
- Kaksi lämpölaitosta, joiden kattilateho yhteensä noin 2 MW
- Polttoainetta 5000 irtom³ vuodessa
- Haketta, palaturvetta, ruokohelpeä, sahanpurua, energiakauraa ja kantomursketta
- Polttoainetoimitukset ja laitoksen päivystykset työllistävät kolmen osakkaan renkaan
- Ähtärin, Töysän ja Alavuden nuoria metsiä hoidetaan samalla kuntoon

6.2 Metsäenergian hankinnan aluetalousvaikutukset

6.2.1 Hankintaketjujen välittömät työllisyys- ja tulovaikutukset

Metsähakkeen hankinta merkitsee maakunnille välittömiä, paikallisia työllisyysvaikutuksia (Kuva 72). Risutukkien hankinnan työllistyvyys on ollut laskelmissa pienin eli 0,3 työvuotta 1 000 kuutiometriä kohti (Taulukko 4). Kokopuuhaaketta hyödyntävällä lämpöyrittäjyydellä on laskettu olevan eniten työllisyysvaikutuksia eli 1,4 työvuotta 1 000 kuutiometriä kohti. Konetyönä tehtävä kokopuuhaake työllistäisi 0,6 työpäivää per 1 000 m³ vähemmän kuin metsurityönä tehtävä kokopuuhaakkeen tuotanto. Alan työt ovat kuitenkin yleensä kausiluonteisia. (Hakkila 2004). Toisaalta maatilataloudessa tilan



Kuva 1. Hake-toimitus Ähtärin energiaosuuskunnan Tuomarniemen lämpölaitokselle. Osuuskunta ja laitokset yrittäjiineen palvelevat myös bioenergia-alan ope-tusta sekä alueellista T&K-toimintaa (Jussi Laurila).

tuotantosuunnasta (kasvinviljelytila, karjatila, metsätila) riippuen metsä- ja peltotöiden aikataulutus on yrittäjän itsensä säädeltävissä.



Kuva 72. Metsäenergian tuotannon ja käytön vaikutukset (Saksa ja Teittinen 1996). Täydentänyt Risto Lauhanen, ja uudelleen piirtänyt Jussi Laurila.

Hakkuutähdehakkkeen hankinnan nettotulovaikutuksen on laskettu olevan 18–24 €/m³ ja kokopuu- hakkkeen 29–38 €/m³ haketyypistä ja käytettävästä tuotantoteknologiasta riippuen. Suurin osa tuloista kanavoitui laskelmissa hakkkeen tuotantoalueelle. Poltto- ja voiteluaineet, koneet ja laitteet sekä kuorma-autot ja varaosat merkitsevät ulkomaille meneviä tuloja. Kokopuu- hakkkeen hankintaa koskevassa tarkastelussa on mukana valtion tuet (-11 €/m³). (Hakkila 2004).

Hakkila (2004) on arvioinut metsähakkkeen tuotannon työllisyysvaikutuksia vuonna 2010. Metsäverojärjestelmän muutos sekä viimeaikaisten hakuiden painottuminen uudistushakkuisiin korostaa pienpuuhakkkeen hankinnan työllistävyttä lähivuosina. Pienpuuhakkkeen tuotanto merkitsee myös merkittävää hoitopanosta maakuntien nuorille metsille, mikä osaltaan turvaa teollisuuden ainespuuhoitoa tulevaisuudessa. Hakkila (2004) on tuonut esille myös valtiovallan merkittävät panostukset metsäenergia-alan T&K-toimintaan erilaisten ohjelmien kautta.

Taulukko 4. Arvio metsähakkkeen tuotannon työllisyysvaikutuksista vuonna 2010 Hakkilan (2004) laatiman yhteenvedon mukaan.

Metsähaketyyppi ja teknologia	Tuotanto 1 000 m ³	Työpäivät/ 1 000 m ³	Työvuodet
Kokopuu konehakuuna	600	0,6	360
Kokopuu metsurihakuuna	200	1,2	240
Ranka omatoimisesti	200	2,0	400
Hakkuutähdehake	2 500	0,3	750
Kantomurske	1 500	0,35	525
Metsähake yhteensä	5 000	0,45	2 275

6.2.2 Metsäenergian tuotannon ja käytön aluetalousvaikutukset

Vatanen (1997) on laskenut panos-tuotosmallilla ainespuun puunkorjuun ja kaukokuljetuksen aluetaloudellisia vaikutuksia Suomen maaseudulla. Toimialan tuotos kohosi kerrannaisvaikutuksineen noin kaksinkertaiseksi. Kokonaistyöllisyysvaikutukset olivat noin puolitoistakertaiset välittömään työllisyyteen verrattuina (Vatanen 1997). Toisaalla Raitila (2006) on esittänyt välittömien työllisyysvaikutusten kertoimeksi 1,4. Puunkorjuun- ja kuljetustoimialan kokonaisvaikutukset kohdistuivat kotitalouksien lisäksi kaupan, julkisen sektorin, rahoituksen, vakuutuksen sekä asuntojen omistuksen toimialoille (Vatanen 1997). Lisäksi kotimaisen metsäkonevalmistuksen työpaikkojen osalta välittömät työpaikat luovat alihankintasektorille vastaavan määrän työpaikkoja. Julkiset palvelut ja muut sektorit huomioon ottaen yksi metsäkonevalmistajan työntekijä työllistää itsensä lisäksi kaksi muuta (Hyttinen 2007).

Metsäenergian hankinnan aluetalousvaikutusten voidaan arvioida suuntautuvan samalla tavalla kuin ainespuun hankinnankin. Yksi työpaikka metsäenergian tuotannossa ja käytössä kertautuu noin 1,4–1,5 työpaikkana muilla yhteiskunnan sektoreille. Vastaavasti yksi euro kaksinkertaistuu tulo- ja tuotosvaikutuksia arvioitaessa. Aluetalouden kannalta metsäenergian tuotannolla ja lämpöyrittämisellä voidaan saada paikallisia hyötyjä sellaisessa toimintaympä-

ristössä, jossa ei ole omaa kemiallista metsäteollisuutta. Suuren mittakaavan ainespuun ja metsäenergian yhdistetyssä hankinnassa metsätyön osuus jää aluetalouksille, mutta jalostuksesta saatavat hyödyt teollisuuspaikkakunnille ja yritysten kotipaikkakunnille. Toisaalta metsäenergian, turpeen ja peltoenergian, kuten ruokohelven, jalostaminen nestemäiseksi biopolttoaineeksi paikallisissa jalostamoissa toisi lisäarvoa tehtaattomille seutukunnille.

Arvioinneissa on otettava huomioon myös kansantaloudellinen kokonaistarkastelu. Metsähakkeen käyttö vähentää vientivaluutan tarvetta, koska öljypohjaisten lämmityspolttonesteiden tuonti vähenee (Hakkila 2004). Toisaalta ainespuuta ei ole järkevää polttaa, koska silloin menetetään metsäteollisuuden raaka-ainetta ja koko kansantalouden vientituloja (Hakkila 2004). Metsäteollisuus ry:n mukaan Keski-Euroopassa puuta jalostava ja bioenergiaa tuottava teollisuus työllistää 13 kertaa enemmän ja luo yhteiskunnalle lisäarvoa 8 kertaa enemmän kuin pelkkä puun polttaminen (Fagerblom 2007). Metaania tuottavien turvepeltojen metsittäminen hiiltä sitovalla energiapajulla ehkäisisi ilmaston muutosta. Lyhytkiertoviljelmissä kasvava energiapaju on raaka-ainetta lämpölaitoksille ja biojalostamoille. Samalla ainespuun hankinnan ja perinteisen metsäteollisuuden toimintaedellytykset turvattaisiin professori Veli Pohjosen näkemysten mukaan.

6.2.3 Metsänparannustuet jäävät maakuntien hyväksi

Taimikonhoitotöiden sekä nuoren metsän kunnostustukia maksettiin suomalaisille yksityismetsänomistajille kaikkiaan 25 miljoonaa euroa vuonna 2005. Näiden tukien osuus oli 47 % kaikista valtion maksamista metsänhoito- ja perusparannustöiden tuista. Yksityismetsien oma rahoitus ja oman työn arvo olivat noin 24 miljoonaa euroa valtakunnan tasolla (Metsätilastollinen... 2006).

Eniten taimikonhoidon tukia ja nuorten metsien kunnostustukia maksettiin Pohjois-Pohjanmaan (3,9 milj.€) sekä Etelä-Pohjanmaan (3,4 milj. €) metsäkeskusalueilla sekä vähiten Kaakkois-Suomessa (1,0 milj. €) ja Ahvenamaalla (0,07 milj. €). Energiapuun korjuuseen ja haketukseen myönnettiin tukea 5,2 milj. €, mistä Pohjois-Pohjanmaalle 0,8 milj. € ja Etelä-Pohjanmaalle 0,8 milj. €. Rannikon, Häme-Uusimaan metsäkeskusalueilla sekä Ahvenanmaalla korjuu- ja haketustuet alittivat 0,2 milj. €. (Metsätilastollinen... 2006).

6.3 Tutkimustietoa metsäenergian tuotannon ja käytön aluetalous- ja ulkoisvaikutuksista tarvitaan

Metsäenergian aluetalousvaikutuksia on arvioitu erilaisissa aluetason energiastrategioissa sekä bioenergiainkannoissa ja -ohjelmissä. Ajan tasalla olevaa tutkimustietoa metsäenergian tuotannon ja käytön aluetalousvaikutuksista on varsin vähän. Seinäjoella Helsingin yliopiston Ruralia Instituutissa kehitetyllä yleiseen tasapainomalliin perustuva ohjelmistolla on mahdollista laskea bioenergian tuotannon ja käytön aluetalousvaikutuksia (Törmä 2006). Tutkimustietoa tarvitaan myös metsäenergian tuotannon ulkoisvaikutuksista. Sitä ennen on kuitenkin tutkittava metsäenergian tuotannon ja käytön maakunnittaiset ympäristövaikutukset (ks. Lauhanen ja Laurila 2007), joista voidaan laskea ympäristövaikutusten talousvaikutukset eli ulkoisvaikutukset niin metsänomistuksen, metsien monikäytön sekä aluetalouden näkökulmasta esimerkiksi Materon (2002) esittämällä tavalla.

Sen sijaan päästökaupan yksityistaloudellisia ja yhteiskunnallisia vaikutuksia on jo tutkittu (mm. Perrels 2007, Villa 2007). Villan (2007) mukaan ainespuun ja hakkuutähteiden yhdistetty korjuu tuli suurten metsäyhtiöiden kolmelle suomalaiselle tehtaalle taloudellisesti edullisemmaksi hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä kuin tehtailla tapahtuva energiansäästö investointeineen. Uusia tutkimuksia kuitenkin tarvitaan, sillä energiataaselaskelmiin liittyy lukuisia oletuksia ja epävarmuustekijöitä. Analyysissä on huolella määriteltävä mukaan tulevat kasvihuonetaseisiin vaikuttavat tekijät osavaikutuksineen (Mäkinen ym. 2006). Laskelmia voidaan käyttää tai olla yhtä lailla käyttämättä bioenergiailiiketoimintamuotojen välisessä markkinakilpailussa ja toisaalla poliittisessa päätöksenteossa.

7 Metsien terveys ja tuhot

Heli Viiri ja Tuula Piri

Metsäntutkimuslaitos, Joensuun ja Vantaan toimintayksikkö

7.1 Hyönteistuhot

Hyönteistuhot luvussa keskitytään taloudellisesti merkittävimpiin tuhonaiheuttajiin, havupuilla esiintyviin tukkimiehentäihin (*Hylobius abietis*) ja kaarnakuoriaisiin. Energiapuun korjuun vaikutuksia männyllä ja kuusella esiintyviin hyönteistuholaisiin ovat esitelleet aiemmin yksityiskohtaisesti Kytö ja Korhonen (2001). Kuusella esiintyvistä tuhohyönteisistä kirjanpainaja (*Ips typographus*) lisääntyy rungon paksukuorisissa ja kuusentähtikirjaaja (*Pityogenes chalcographus*) rungon ohutkuorisissa osissa ja suurten puiden oksissa ja latvuksissa. Männyllä ytimennävertäjistä vaakanävertäjä (*Tomicus minor*) ja pystynävertäjä (*Tomicus piniperda*) ovat mahdollisia tuhonaiheuttajia.

Nuorten metsien energiapuun

Aikuiset ytimennävertäjät voivat aiheuttaa energiapuun varastopaikkojen läheisyydessä kasvatappioita ravintosityönnöllään, jolloin ne kaivautuvat mäntyjen latvuksissa uusimpien versojen sisään ja nävertävät ne ontoiksi. Ytimennävertäjien aiheuttamat vauriot johtavat vain harvoin puiden kuolemaan. Tällöin on yleensä ollut kysymyksessä pysyvä puutavaran varastopaikka, jossa kuoriaiset ovat voineet lisääntyä vuodesta toiseen. Harvennusenergiapuun varastointi yhden kesän yli voi johtaa jäävän puuston latvutuhoihin. Kesäkuussa ja myöhemmin loppukesällä ytimennävertäjien parveilun jälkeen tehtävä nuorten metsien energiapuun korjuu on turvallista mänty- tai lehtipuuvaltaisilla kohteilla, koska rungot ehtivät kuivua seuraavaan kesään mennessä.

Nuorten metsien energiapuun korjuu on ytimennävertäjätuhojen kannalta turvallista kesäkuusta elokuuhun.

Tukkimiehentäi uudistamisaloilla

Runsaana esiintyessään tukkimiehentäi aiheuttaa viljelymetsätaloudessa taloudellisesti merkittäviä tuhoja männyn ja kuusen istutustaimilla. Aikuiset kuoriaiset syövät 1–3-vuotiaiden taimien nilaa ja jättä aiheuttaen taimien kuolemista (Kuva 1). Tukkimiehentäi lisääntyy havupuiden kannoissa ja juu-

rissa. Tukkimiehentäi suosii mäntyä, mutta myös kuusen kannot kelpaavat lisääntymispaikoiksi ja yhdessä kannossa voi elää yli 300 toukkaa. Tukkimiehentäin toukat voivat käyttää ravinnokseen pienimmillään noin 1cm läpimitaltaan olevia juuria, joten on mahdollista, että kantojen nostolla ei saada poistettua riittävästi uudistusosalta tukkimiehentäin lisääntymiseen sopivaa puuainesta. Katkenneet juuret voivat toimia tukkimiehentäin toukkien ravintona. Naaraat munivat pitkin kesää tuoreisiin havupuun kantoihin tai useimmiten maahan juurten läheisyyteen (Nordlander ym. 1997, Bylund ym. 2004). Toukat liikkuvat maaperässä ja etsivät sopivaa ravintoa. Koska toukat kehittyvät tuoreiden kantojen juuristossa, voitaisiin tuhoja vähentää viivästyttämällä istuttamista, kunnes suurin osa paikalla syntyneistä tukkimiehentäistä on aikuistunut ja poistunut paikalta. Jotta istutuksen viivyttämistä olisi yksinään merkittävää hyötyä tuhojen torjunnassa, normaalitilanteessa ilman kantojen nostoa istutusta pitäisi viivyttaa neljä vuotta (von Sydow 1997), mikä ei ole taloudellisesti järkevää.



Kuva 1. Tukkimiehentäi syö taimen tyveltä kuorta ja nilaa. Tuoreet hakkuutähteet ja kannot houkuttelevat tukkimiehentäitä uudistusosalalle. Kuva Erkki Oksanen/Metla

Hakkuutähteiden ja kantojen houkutusvaikutus

Tuoreet kannot, hakkuutähteet ja taimissa olevat syöntivioitukset erittävät haihtuvia etanoli- ja terpeeniyhdisteitä, jotka houkuttelevat tukkimiehentäitä (Tilles ym. 1986) ja kaarnakuoriaisia uudistusosalalle. Nopean uudistamisen ketjussa, jossa taimet istutetaan edellisenä talvena hakatulle ja samana keväänä muokatulle aukolle, hakkuutähteet eivät ole ehtineet kuivua ja niiden houkutusvaikutus on voimakkaimmillaan. Tukkimiehentäit leviävät tehokkaasti lentämällä uudistusosalalle parveiluajana kesäkuussa. Käytännössä kaikilla uudistusaloilla Suomessa on riittävästi tukkimiehentäitä, että ne voivat syödä kuoliaaksi kaikki istutettavat taimet, mikäli viljelyketjun eri vaiheissa ei huomioida tukkimiehentäituhoriskiä. Tämän perusteella on oletettavaa, että hakkuutähteiden poistolla voidaan rajoittaa vain vähän aukolle muualta tulevien tukkimiehentäiden määrää ja sitä kautta vähentää taimituhoja. Paras keino suojata taimia tukkimiehentäituhoja vastaan on istuttaa kookkaita taimia ja paljastaa maanmuokkauksella puhdasta kivennäismaata taimen ympärille vähintään 10–15 cm läpimitaltaan oleva alue.

Selanderin (1993) kokeessa taimien kuolleisuus tukkimiehentäin vuoksi oli sitä alhaisempi, mitä enemmän taimien ympärille oli jätetty tuoreita hakkuutähteitä. Hän päätteli hakkuutähteiden toimineen vaihtoehtoisena ravinnonlähteenä. Örländerin ja Nilssonin (1999) mukaan hakkuutähteiden poisto vähensi vain vähän taimituhoja ja tämä vaikutus oli nähtävissä vanhoilla uudistusaloilla. Toisaalta hakkuutähteet sisältävät runsaasti ravinteita, joita vapautuu uudistusosalalle. Taimien korkea typpipitoisuus lisää niiden alttiutta tukkimiehentäituhouille.

Etelä-Suomessa tukkimiehentäi on yleinen hakkuuaukolla kolme vuotta hakkuun jälkeen, kun pohjoisempana esiintymishuiput ovat ensimmäisenä sekä neljäntenä tai viidentenä kasvukautena kehitysajan pituudesta riippuen. Ensimmäisen huipun aiheuttavat hakkuualalle muualta lentävät yksilöt (Örländer ym. 1997, Pitkänen ym. 2005), jälkimmäisen huipun näiden paikalla kehittyneet jälkeläiset. Tukkimiehentäiden pyytäminen aukolta tuhojen torjuntatarkoituksessa on käytännön mittakaavassa mahdotonta niiden runsauden vuoksi.

Kun kannot ja paksuimmat juuret poistetaan maasta ja kerätään kasoihin, niin palstakasat kuivuvat nopeasti tukkimiehentäin munintaan sopimattomiksi. Jos kantojen nosto tehdään muninnan jälkeen, toukat voivat jatkaa kehitystään kantokasoissa, etenkin jos välivarastokasat ovat suuria ja niissä säilyy kosteus. Tukkimiehentäin pitkän, meillä yleensä 2,5–3 vuotta kestävänsä sukupolviajan vuoksi toukat

eivät kuitenkaan ehdi kuoriutua kantokasoista aikuisiksi.

Nykyisen tietämyksen perusteella on vaikea arvioida energiapuunkorjuun kokonaisvaikutuksia uudistusalan tukkimiehentäituhoriskiin. Eri tekijät toimivat toistensa vastavaikuttajina. Hakkuutähteiden ja kantojen korjuu mahdollistaa tukkimiehentäin houkutus- ja lisääntymismateriaalin merkittävän vähentämisen uudistusosalalta, mutta koska energiapuuta varastoidaan kuivatuksen vuoksi uudistusosalalla tai sen välittömässä läheisyydessä, jopa yli vuoden ajan, niin mahdolliset positiiviset vaikutukset metsähygienian kannalta osittain kumoutuvat.

7.2 Energiapuun korjuu ja pienjyrsijöiden välittämät taudit

Myyräkuume on Suomen yleisimpiä infektioitauteja. Viimeisen vuosikymmenen aikana sairastuneiden määrä on vaihdellut 1 000–2 600 välillä riippuen myyräkantojen vaihtelusta (Henttonen 2000). Metsämyyrä levittää Puumala-virusta ulosteissaan. Ihmistapausten huippukausi on loppusyksy ja alkutalvi. Pahimmissa kohteissa eli ladoissa ja liitereissä alkutalvella lähes kaikki myyrät voivat olla viruksen levittäjiä (Henttonen ja Vaheri 1996). Tartunta tapahtuu useimmiten hengitysteitse pölytartuntana. Myyräkuumeen yleisyyttä kuvastaa, että tietyillä Sisä- ja Itä-Suomen alueilla yli puolella vanhoista miehistä on myyräkuumevasta-aineet veressään (Brummer-Korvenkontio ym. 1999).

Myyräkuumeen taudinkuva vaihtelee suuresti. Kuolleisuus myyräkuumeeseen on Suomessa hyvin alhainen, alle 0,1%, mutta noin 5%:lla potilaista sairaus on niin vakava, että dialyysihoito on tarpeen. Aiemmin luultiin, että myyräkuume sairastetaan ja saadaan elinikäinen immunitetti. Käsitys myyräkuumeen seurauksista on viime vuosina kuitenkin muuttunut jyrkästi. Nykyisin mm. tiedetään, että osalla potilaista seuraa myöhemmin kohonnut verenpaine. Maa- ja metsätaloudessa toimiminen lisää selvästi riskiä sairastua myyräkuumeeseen.

Energiapuun voimakkaasti lisääntyvän korjuun ja käytön johdosta syntyy lisää metsämyyrille suotuisia ja suojaisia turvapaikkoja palstakasoihin ja tienvarsivarastoihin, erityisesti syksyllä ja talvella. Etenkin kanto- ja hakkuutähdekasojen on havaittu olevan metsämyyrien, myyräkuumeen aiheuttavan Puumala-viruksen isäntälajin, suosimia elinpaikkoja. Metsämyyriä siirtyy runsaasti pakkasten tullen suojaisiin paikkoihin, kuten kivikasoisiin, puupino-

jen alle, ulkorakennuksiin ja heinälatoihin. Kasojen alle voi kerääntyä normaaliitiheyttä huomattavasti suurempia myyrämäisiä, mikä edistää virusten leviämistä myyrien kesken. Myyrien pesintä hakkuutähde- ja kantokasojen alla levittää jyrsijöiden mukanaan kuljettamia tauteja ja aiheuttaa vaaraa energiapuun korjuussa ja kuljetuksessa toimiville työntekijöille. Kuivien kanto- ja hakkuutähdekasojen käsittely ja liikuttelu aiheuttaa pölyämistä, mikä lisää ilmakulkeuman kautta työntekijöiden sairastumisriskiä.

Lisäksi, jos maanpintaa rikotaan kannonnoston yhteydessä laajalta alalta, johtaa tämä vastaavasti uudistusalan heinittymiseen, ja vastaavasti uudistamisalan taimien myyrätuhoriski lisääntyy. Tällöin kannonnostokohde voi tarjota myyrille metsänuudistajan kannalta pahimmillaan sekä lisää suojapaikkoja että ravintoa. Toisaalta alustavat tulokset viittaavat siihen, että jos latvusmassa kerätään pois, niin se vähentää taimien latvatuhoja aiheuttavien metsämyyrien määrää uudistusaloilla, tällöin kyse on luultavasti suojapaikkojen vähentymisestä.

Energiapuun korjuun ja varastoinnin aiheuttamia hyönteistuhoriskejä voidaan alentaa ajoittamalla hakkuutähdeiden korjuu ja kuljetus metsätuhojen torjuntaa koskevien säännösten mukaisesti. Energiapuubarastot voivat houkuttaa uudistamisalalle tukkimiehentäitä, minkä torjunta tulee huomioida metsänuudistamisen työvaiheita suunniteltaessa. Jos hakkuutähde jatkuvasti poistetaan useamman puusukupolven aikana, metsän sieni- ja hyönteislajisto yksipuolistuu. Tämän seurauksena tautien ja tuholaisien esiintymisriski lisääntyy. Lisäksi hakkuutähdeiden poiston ja kantojen noston seurauksena syntyvät mahdolliset ravinteiden puutostilat alentavat puiden vastustuskykyä sienitauteja ja tuhohyönteisiä vastaan.

7.3 Sienituhot

Talousmetsissämme esiintyvistä tuhosienistä vahingollisin on juurikäpö (*Heterobasidion annosum* coll.). Jos juurikäävän torjuntaa ei pystytä tehostamaan, tuhot todennäköisesti lisääntyvät entisestään ilmaston lämpenemisen seurauksena. Ilmaston ohella myös metsänkäsittelyllä on suuri merkitys tuhojen esiintymisrunsauteen. Metsäenergian käytön lisääntyessä energiapuun korjuusta on tullut osa metsänkäsittelyä ja samalla myös merkittävä metsän terveyteen vaikuttava tekijä. Tässä luvussa käsitellään kysymystä, miten energiapuun korjuu vaikuttaa juurikäävän aiheuttamiin tuhoihin? Tieto energia-

puun korjuun vaikutuksista muihin tuhosieniin kuten rungossa ja neulasissa elävään lajistoon on koottu aiemmin samaa aihetta käsittelevään julkaisuun (Kytö ja Korhonen 2001).

7.3.1 Juurikäpöriski energiapuuharvennuksissa

Energiapuuharvennuksia tehdään taimikkovaiheen ohittaneen nuoren metsän kunnostushakkuina, joissa poistettava puu on vielä liian pientä ainespuuksi. Myös varsinaisessa ensiharvennuksessa voidaan ainespuun lisäksi korjata energiapuuta (Hakkila 2004). Energiapuuharvennuksia tehdään pääosin koneellisesti kokopuukorjuuna ns. karsimattomien puiden joukkokäsittelynä. Harvennuksia painottuvat kesäaikaan, jolloin korjuuolosuhteet ovat hyvät ja koneyritykset työllistyvät ympäri vuoden. Kesähakkuisiin liittyvää riskiä juurikäpätartuntojen lisääntymisenä ei kuitenkaan ole huomioitu energiapuun korjuussa; energiapuuharvennuksissa käytettävissä joukkokäsittelykourissa ei ole kantokäsittelylaitteistoa.

Juurikäävän leviäminen terveisiin metsiin tapahtuu pääasiassa sulan maan aikana kaadettujen kuusen ja männyn kantojen kautta. Tällöin kannon läpimitta on oleellinen tartuntariskin ja taudin myöhempään leviämiseen vaikuttava tekijä. Taimikoissa harvennuskantojen tartuntariski on pieni eikä taudin eteneminen ole todennäköistä, sillä nuorten puiden välille ei ole vielä kehittynyt riittävästi juuriyhteyksiä (Vollbrecht ym. 1995; Bendz-Hellgren & Stenlid 1998). Kantojen keskiläpimitan kasvaessa tartunnan saaneiden kantojen osuus lisääntyy nopeasti, ja jo 10 cm:n kannot voivat levittää lahoa jäävään puustoon (Swedjemark & Stenlid 1993; Solheim 1994; Bendz-Hellgren & Stenlid 1998). Norjalaistutkimuksessa selvitettiin kuusen kantojen läpimitan vaikutusta tartuntamääriin. Yhdestä kahteen vuoteen hakkuun jälkeen juurikäävän tartuttamien kantojen osuus läpimittaluokassa 5,1–10 cm oli 20,8 %, läpimittaluokassa 10,1–15 cm 30,1 % ja yli 30 cm:n kannoissa 50,0 %. Hakkuut oli tehty osaksi kesällä ja osaksi leutoina talvikuukausina keskilämpötilan ollessa n. 5° C (Solheim 1994).

Juurikäävän torjuntaa ei pidä laiminlyödä, jos energiapuuharvennus tehdään kesällä juurikäävän leviämisen riskialueella (pohjoisrajana Etelä-Pohjanmaan, Keski-Suomen, Pohjois-Savon ja Pohjois-Karjalan metsäkeskusten toimialueiden pohjoisraja) ja havupuun kantojen keskiläpimitta lähenee 10 cm:ä. Vaikka vain murto-osa kannoista saisi juurikäpätartunnan, voi tartuntojen määrä hehtaaria kohden nousta korkeaksi, sillä energiapuuharven-

nuksessa poistettavien puiden lukumäärä on suuri. Mitä aikaisemmassa vaiheessa metsikkö saa juurikäpätartunnan sitä suuremmiksi ehtivät tuhot muodostua kiertoajan kuluessa. Parhaiten juurikäpärisiltä vältytään, jos itiötartunnalle alttiit kohteet korjataan talvikautena lämpötilan ollessa pakkasen puolella. Kesähakkuukohteiksi sopivat nuoret metsät, joissa korjattavien havupuiden kantoläpimitta jää alle 10 cm:n tai joissa valtaosa poistettavasta puustosta on lehtipuuta. Rehevillä lehtipuuvältaisillä kohteilla hakkuita tulisi kuitenkin välttää lintujen tärkeimpänä pesimäaikana touko-kesäkuussa.

Kantojen ohella myös korjuuvauriot avaavat reitin juurikäpätartunnalle. Urapainaumia ja juuristovaurioita syntyy kokopuukorjuupuukohteella helposti enemmän kuin ainespuun korjuussa, sillä hakkuutähteitä ei voida levittää ajourille. Myös joukkokäsittelykouran terästä syntyy helposti vaurioita jäävään puustoon; etenkin jos puut kasvavat tiheissä ryhmissä (Äijälä ym. 2004). Haitallisimpia ovat myöhäissyksyllä sattuneet mekaaniset vioitukset, sillä lepokauden aikana puut eivät puolustaudu aktiivisesti tuhosieneä vastaan. Myös keväällä nila aikana puun kuori irtoaa helposti ja vaurioita syntyy tavallista herkemmin.

7.3.2 Juurikäävän torjunta päätehakkuukohteilla

Hakkuutähteet

Energiapuuta kerätään päätehakkuukohteilta hakkuutähteinä ja kantoina. Hakkuutähteeseen lasketaan kuuluvaksi hukkarunkopuu (tyveykset, leikot, ainespuun latvat ja pienet rungot) ja latvusmassa (Hakki-la 2004). Sienituhojen kannalta tyveykset ovat tärkein osa hakkuutähdettä. Äskettäin valmistuneessa tutkimuksessa selvitettiin juurikäävän itiöemien eli kääpien esiintymisrunsautta hakkuualueelle jätetyissä kuusen tyveysissä Etelä-Suomessa (Müller ym. 2007). Lähes 80 % lahoista kuusen tyveysistä oli juurikäävän lahottamia. Mikäli hakkuualueelle jätetyt lahot tyveykset olivat suorassa kosketuksessa maahan, itiöemiä kehittyi muutamassa vuodessa runsaasti tyveysten alapinnalle. Tutkituista 1 475 maata vasten olleesta, juurikäävän lahottamasta tyveysestä 23 %:iin oli kehittynyt itiöemiä. Ainakin lyhytaikaisesti (3–4 vuoden kuluttua hakkuusta) itiöemiä syntyi runsaammin tyveysiin kuin päätehakkuukantoihin. Itiöemien runsas esiintyminen hakkuualueella lisää paikallista itiötuotantoa ja lähimetsien tartuntariski kasvaa. Lahoriskin pienentämiseksi on tärkeää korjata kuitupuuksi kelpaamaton ylilaho pois metsästä ja käyttää se energiapuuna.

Terveiden kuusityveysien jättäminen metsään

ei lisää juurikäpävaaaraa (Müller ym. 2007) vaan se voi jopa alentua, sillä terveet leikot lisäävät sienilajiston runsautta talousmetsissä. Keski-Ruotsissa eristettiin terveistä kuusileikoista (120 kpl) yhteensä 97 eri sienilajia, jotka alle kahdessa kuukaudessa olivat levinneet leikkoihin itiötartuntana. Osa näistä sienistä on aiemmissa tutkimuksissa todettu olevan juurikäävän kilpailijoita tai vastavaikuttajia. Vuodenajalla oli selvä vaikutus sienilajistoon, joten leikkoja tulisi jättää metsään jokaisen hakkuun yhteydessä - niin kesä- kuin talvihakkuissa (Holdenrieder ja Greig 1998, Vasiliauskas ym. 2005).

Itiöemissä syntyvien suvullisten itiöiden ohella juurikäpä tuottaa myös suvuttomia itiöitä eli konidioita. Niitä kehittyy mm. hakkuutähteiden peitossa oleviin lahoihin tyveysiin ja kantoihin (Kallio 1971). Juurikäävän itiöemien tuottamiin suvullisiin itiöihin verrattuna suvuttomien itiöiden tuotanto on kuitenkin vähäistä. Lisäksi oksissa ja latvuksissa elää monipuolinen sienilajisto (Allmer ym. 2006), mikä on tarpeellinen myös metsän monimuotoisuuden kannalta. Oksien ja latvusten korjuulla ei katsoa ainakaan lyhyellä aikavälillä olevan merkittävää vaikutusta juurikäpätuhoihin.

Kannot

Sekä juurikäävän lahottamien että terveiden havupuiden kannot ovat avainasemassa tyvilahon ja tyvitervastaudin levittäjinä. Kannot tarjoavat vuosikymmeniksi kasvu- ja lisääntymisalustan juurikäävälle. Poistamalla havupuiden kannot päätehakkuukohteelta saadaan estetyksi uudet itiötartunnat ja vähennettyä taudin leviämistä lahojen puiden kannoista uuteen puusukupolveen.

Kuinka hyvään tulokseen juurikäävän torjunnassa päästään nostamalla kannot uudistusalueelta, on suoraan riippuvainen siitä, miten tarkkaan juurikäävän lahottama puuainese saadaan poistettua kasvupaikalta. Erittäin hyvään torjuntatulokseen on päästy Ruotsissa tehdyssä lahon kuusikon kannonostokokeessa, missä alue aurattiin ja maaperästä poistettiin siivilöimällä kaikki 5 mm:ä suuremmat juuren osat. Seuraavan puusukupolven 28-vuotiaassa istutuskuusikossa vain 0,6 % puista oli juurikäävän lahottamia (Hyppel 1978, Stenlid 1987). Kyseisen kokeen koejärjestelyt eivät kuitenkaan vastaa käytäntöä ja todennäköisesti näin hyvään torjuntatulokseen ei kannonostokohteilla Suomessa päästä. Vanhemmissa tanskalaistutkimuksissa kannonosto ei sen sijaan vähentänyt juurikäävän esiintymisrunsautta seuraavassa puusukupolvessa; syyksi torjunnan epäonnistumiseen mainittiin maahan jääneet lahot juuret (Yde-Andersen 1970). Pahoilla männyn tyvitervastautikohteilla Englannissa kuolleiden



Kuva 2. Juurikäävän itiöemiä muodostuu muutamassa vuodessa varastokasan alimpiin, maata vasten oleviin lahoihin kannon osiin.
Kuva Tuula Piri/Metla

puiden osuus on saatu vähenemään nostoalueilla 60 %:sta 10–20 %:iin (Greig ja Low 1975, Gibbs ym. 2002). Ottaen huomioon, että kannonnostotekniikka on kehittynyt ripeästi viime vuosina, voidaan odottaa, että männyn tyvitervastaudin torjunnassa päästään Suomessa vähintään yhtä hyvin tuloksiin kuin Englannissa. Kannonnoston tehokkuutta kuusen tyvilahon torjunnassa on vaikea arvioida, sillä lahot kuusen juuret katkeavat noston yhteydessä herkemmin kuin lahot männyn juuret. Juurikäävän leviäminen seuraavaan puusukupolveen tapahtuu hyvin hitaasti eikä tutkimustuloksia meillä perustetuista kokeista ole vielä käytettävissä.

Kesähakkuissa juurikäävän leviämisen riskialueella myös nostamatta jätetyt terveet havupuiden kannot lisäävät tartuntariskiä, jos niitä ei erikseen käsitellä harmaaorvakkavalmisteella tai urealiuksella itiötartuntojen estämiseksi. Mahdollisuuksien mukaan nostoalueelle voidaan jättää lehtipuiden kantoja, jotka eivät ole alttiita juurikääpärtunnalle.

Noston jälkeen kantojen annetaan kuivua paltalla noin kuukauden ajan, minkä jälkeen ne siirretään tienvarsivarastoon yhdeksi kesäkaudeksi. Riippuen korjuuajankohdasta varastointi voi jakautua kahdelle kesälle. Normaalisti kantoja varastoidaan yhdestä kahteen vuotta ennen kuljetusta voimalaitokselle. Koska kosteus säilyy pitkään varastokasojen alaosassa ja olosuhteet ovat suotuisat juurikäävän itiöemien muodostumiselle, olemme selvittäneet, lisääkö kantojen varastointi juurikäävän itiötuotantoa ja lähimetsien tartuntariskiä. Tyvilahokohteilta korjatuissa kuusen kannoissa juurikäävän itiöemiä muodostui kasan alimpiin, maata vasten olleisiin

ja kosteina säilyneisiin kantoihin noin kahden vuoden varastoinnin jälkeen (Kuva 2). Juurikääpärisikin pienentämiseksi on siis tarpeellista huolehtia, että alueilla, missä juurikääpälahoa esiintyy runsaasti, kantoja ei säilytetä välivarastossa yli kahta vuotta ja että kaikki varastoidut kannot, myös kasan alimmat, kosteina säilyneet lahot kannot, kerätään pois. Terveiden kantojen pitempiäaikainenkaan varastointi ei lisää juurikääpärisiä.

Juurikäävän torjunta energiapuun korjuussa sienien levinneisyyden riskialueella

- Kesällä tehtävät energiapuuharvennukset keskitetään leimikoihin, joissa poistettavien havupuiden kantoläpimitta jää alle 10 cm:n, tai leimikoihin, joissa valtaosa poistettavasta puustosta on lehtipuuta.
- Läpimitaltaan yli kymmensenttiset havupuiden kannot käsitellään energiapuun kesäharvennuk-sissa harmaaorvaka- tai urealiuksella.
- Vältetään energiapuuharvennusten tekemistä myöhäissyksyllä sekä keväällä nila-aikana.
- Kannonnostokohteille jätettävät havupuiden kannot käsitellään kesähakkuissa harmaa-orvaka- tai urealiuksella.
- Huolehditaan, että tyvilaho- ja tyvitervastauti-kohteilta nostettujen kantojen varastointiaika ei ylitä kahta vuotta.
- Huolehditaan, että kaikki kannot kerätään pois varastointipaikalta.

7.4 Puutavaran korjuuta koskeva lainsäädäntö

Laki metsän hyönteis- ja sienituhojen torjunnasta (1991/263) ja maa- ja metsätalousministeriön päätös metsän hyönteis- ja sienituhojen torjunnasta säätelevät metsässä tapahtuvaa ainespuun mitat täyttävän kuorellisen puutavaran varastointia. Lain 2 §:n mukaan puutavaran omistaja on velvollinen huolehtimaan, että syyskuun alun ja toukokuun lopun välisenä aikana kaadettu ainespuun mittavaatimukset täyttävä mäntypuutavara kuljetetaan pois hakkuupaikalta tai välivarastosta Oulun ja Lapin lääneissä viimeistään 15 päivänä heinäkuuta ja muissa lääneissä viimeistään 1 päivänä heinäkuuta. Vastaavasti syyskuun alun ja kesäkuun lopun välisenä aikana kaadettu ainespuun mittavaatimukset täyttävä kuusipuutavara on kuljettava pois Oulun ja Lapin lääneissä viimeistään 15 päivänä elokuuta ja muissa lääneissä viimeistään 1 päivänä elokuuta.

Energiapuun korjuun kannalta tällä hetkellä voimassa oleva lainsäädäntö ei ole yksiselitteisesti tulkittavissa. Lainsäädännöllinen ohjeistus on peräisin ajalta, jolloin ei tehty energiapuun korjuuta käytännössä lainkaan. Ainespuuksi määritellään mitoiltaan ja laadultaan saha- ja paperiteollisuuden tai muun puunjalostusteollisuuden raaka-aineeksi soveltuva puutavara. Vastaavasti energiapuu voi tarkoittaa latvusmassaa, harvennusenergiapuuta, hukkarunkopuuta ja kantopuuta sekä niistä tehtyä haketta ja mursketta. Käytännössä energiapuuvaramo voi olla laadultaan sellainen, että osa rungoista täyttää esimerkiksi läpimitaltaan ainespuun mittavaatimukset tai mukana voi olla lahoja tyvitukkeja. Tuhohyönteisten kannalta rungon läpimitta ja kuoren paksuus liittyvät kiinteästi niiden kykyyn lisääntyä puutavarassa.

Lakiin (1991/263) 18.6.1998 lisätyn 4§ mukaan tarvittaessa maa- ja metsätalousministeriö voi antaa säännöksiä sellaisen ainespuun mittavaatimukset täyttämättömän havupuun käsittelystä, jossa tuho aiheuttavat hyönteiset voivat merkittävästi lisääntyä. Tukkimiehintäin osalta ei ole kyse siitä, että tukkimiehintäi voisi lisääntyä energiapuuvaramoissa, vaan olennaista on selvittää, missä määrin varastot houkuttelevat tukkimiehintäitä uudistamisalalle. Myös metsän sienituhojen ehkäisemiseksi ministeriö voi antaa säännöksiä taimikonhoitotöiden ja hakuiden yhteydessä suoritettavista toimenpiteistä.

Tällä hetkellä metsätuhoihin liittyvän bioenergiatutkimuksen tärkein tavoite on selvittää, kuinka tehokas juurikäävän ja tukkimiehintäin torjuntamenetelmä kantojennosto nykytekniikalla toteutettuna on ja, kuinka terveitä metsiköitä kantojen nostoalueilla voidaan tulevaisuudessa odottaa. Voiko aukolta, josta kannot on nostettu, kuoriutua uusia tukkimiehintäitä? Sama koskee juurikäpärisiä, saadaanko juurikäävän leviäminen uuteen puusukupolveen merkittävästi vähenemään kantojen poistolla? Metsätalouden ohjeistuksen kannalta on olennaista selvittää aiheuttavatko energiapuun välivarastot merkittävästi lisääntyneen tukkimiehintäituhoriskin istutettaville taimille ja lisäävätkö varastot lähimetsien juurikäpärisiä. Lisäksi tutkimuksella pyritään saamaan uutta tietoa juurikäävän leviämisbiologiasta, jotta päästäisiin entistä parempiin tuloksiin juurikäävän mekaanisessa torjunnassa.

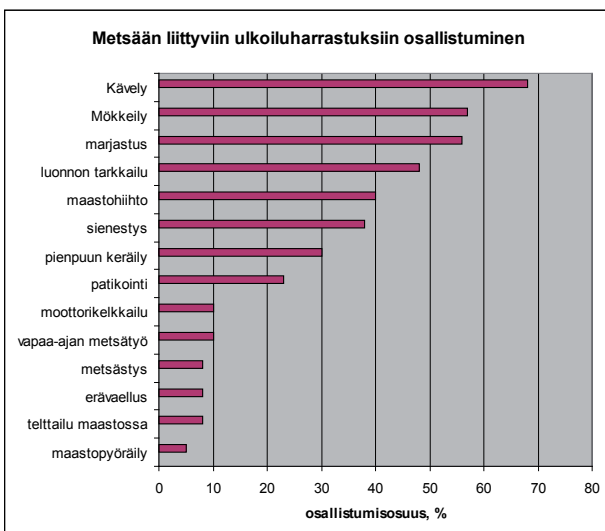
8 Energiapuun korjuun vaikutus maiseman laatuun ja metsien virkistyskäyttöön

Eeva Karjalainen & Tuija Sievänen

Metsäntutkimuslaitos, Keskusyksikkö ja Vantaan toimintayksikkö

8.1 Talousmetsien virkistyskäyttö

Merkittävä osa luonnon virkistyskäytöstä tapahtuu talousmetsissä, sillä noin 40 % kaikista ulkoilukerroista kohdistuu talousmetsäalueille. Taajamien lähimetsät, matkailukeskusten ja tiheän vapaa-ajan asumisen ympäristöt sekä virkistykseen tai suojeleluun varatut alueet ja ulkoilureittien lähialueet ovat tärkeitä virkistysympäristöjä. Kolme neljästä suomalaisesta virkistyy luonnossa käyttäen jokamiehenoikeuksia, ja kävely ja patikointi ovat tavallisimpia luonnossa liikkumisen muotoja. Runsaat puolet koko väestöstä ja kaksi kolmesta kaupunkilaisesta viettää vuosittain noin kuukauden (keskiarvo 31 päivää) maaseudulla omalla tai vuokratulla mökillä. Mökkeilyn ohella suomalaiset harrastavat marjastusta, sienestystä, uintia, kalastusta, sekä myös puiden ja risujen keräilyä sekä muita vapaa-ajan metsätöitä. Marjastuksen harrastajia on 56 % suomalaista, ja heille kertyy keskimäärin 7 marjastuskertaa vuodessa. Noin joka kolmas sienestää. Luonnon tarkkailu on yksi suosituimmista metsään liittyvistä harrastuksista (Pouta ja Sievänen 2001, kuva 1).



Kuva 1. Suomalaisen osallistuminen metsään liittyviin ulkoiluharrastuksiin (Pouta ja Sievänen 2001). Prosenttiosuus on laskettu aikuisväestöstä (15-74 -vuotiaat), N= 10651. Sama henkilö on voinut osallistua useampaan harrastukseen. Siksi prosentit eivät summaudu sataan.

Tavallinen kaupunkilainen tutustuu metsätalouteen liikkeessaan talousmetsissä marjastamassa, sienestämässä, metsästävässä tai muiden harrastusten parissa. Taajamien lähistöillä monet ulkoilureitit, varsinkin pitemmät retkeilyreitit, on vedetty usein tavallisiin talousmetsiin. Vaikka useimmat käyttävät rakennettuja polkuja ja teitä, yli puolet (60 %) patikoijista poikkeaa poluttomaan maastoon retken aikana (Sievänen 1995). Puolet kävelyn harrastajista kävelee tyypillisesti 2–4 kilometrin pituisen lenkin, mutta joka kolmannen lenkin pituus on 5–9 kilometriä. Kaksi kolmasosaa lähiulkoilusta tapahtuu kävelymatkan päässä kotoa olevilla alueilla, ja kolmannes ulkoilusta kohdistuu alueille, minne pitää siirtyä jollakin kulkuneuvolla (Pouta ja Sievänen 2001).

8.2 Lähimaiseman viihtyisyys

Maisema ja kulkukelpoisuus ovat keskeisiä tekijöitä metsässä kulkijan kokemuksessa. Maisema on myös merkittävä tekijä metsäympäristön tuottamissa stressiä vähentävissä ja elvyttävissä vaikutuksissa. Ulkoilijat pitävät yleensä avarista metsästä, jossa on suuria puita sekä alikasvosta ja pensaita. Aluskasvillisuutta ei kuitenkaan saisi olla niin tiheästi, että se estää näkyvyyttä (Silvennoinen ym. 2001). Pienpuiden poisto koetaan yleensä maiseman kannalta myönteisenä, sillä se tuo metsikköön kaivattua avaruuden tuntua. Toisaalta metsään on kuitenkin jätettävä riittävästi eri-ikäisiä puita ja alikasvosta, jotta metsikön sisäisen tilan hahmottaminen helpottuu ja visuaalinen monimuotoisuus säilyy.

Ulkoilijoille on tärkeää luonnontilaisuuden tuntu, ja siksi metsänhoitotoimien jälkien tulisi olla mahdollisimman huomaamattomia. Yhtenäistä vihreää kenttäkerrosta arvostetaan, ja siten sekä hakkuutahteet että maanpinnan vauriot alentavat maiseman laatua (Karjalainen 1995).

Ulkoilijat kokevat hakkuutahteet häiritsevinä sekä metsissä että avohakkuualoilla, sillä ne ovat

maisemallinen haitta, vähentävät luonnontilaisuuden kokemusta ja hankaloittavat kulkukelpoisuutta. Hakkuutähteet ovat esteettisesti häiritsevimpiä tekijöitä maanmuokkauksen ja aukon suuren koon ohella (Karjalainen 1995). Hakkuutähde saattaa olla esteettisesti haittaavampaa kuin luonnollisesti syntynyt maapuu (Schroeder ja Daniel 1981). Yhdysvaltalaisien tutkimusten mukaan kasoissa olevat hakkuutähteet alentavat maiseman visuaalista laatua enemmän kuin hajallaan olevat (Arthur 1977, Benson ja Ullrich 1981). Suuriin kasoihin kerätyt hakkuutähteet ovat paitsi helpommin näkyvissä myös estävät metsikön sisäistä näkyvyyttä. Näkyvyyden estyminen puolestaan saattaa heikentää ihmisen kokemaa turvallisuuden tunnetta. Hakkuutähteet saattavat vähentää ympäristön ymmärrettävyyttä, sillä hakkuutähteet vaikeuttavat maiseman hahmottamista ja jäsentämistä. Hakkuutähde myös vähentää maiseman syvyyttä, yhtenäisyyttä, monimuotoisuutta sekä maanpinnan yhtenäistä rakennetta.

Hakkuutähteet vaikeuttavat metsässä kulkemista; ne haittaavat paitsi metsässä kävelyä ja juoksua, myös muita ulkoiluharrastuksia, kuten marjastusta ja sienestystä. Sadon poiminta vaikeutuu, kun varvusto ja sienet jäävät hakkuutähteen alle. Uudistushakkuiden seurauksena monet tärkeimmistä ruokasienistä (tatit, rouskut, haperot) vähenevät ja mustikan kasvu karsii, sillä mustikan versot ja lehdet kuivuvat aurin-
gonpaisteessa. Puolukkasato yleensä paranee hakkuuden jälkeen, sillä puolukan kasvupaikoilla valo ja lämpö lisääntyvät. Mustikkatyypin kangasmetsissä metsälauha ja lehtipuuvesakko voivat kuitenkin tyrehtyttää puolukan kasvun ja siten marjonnan.

Hakkuutähteet saatetaan kokea häiritseviksi myös siksi, että niiden jättämistä metsään pidetään tuhlauksena (Karjalainen 2002). Monille suomalaisille hakkuutähteen keruu onkin mieluisa harrastus (Pouta ja Sievänen 2001).

Hakkuutähteen aiheuttama esteettinen haitta vähenee muutamassa vuodessa, kun ne peittyvät kasvillisuuden, kuten heinien ja vesakon, alle. Kuitenkin hakkuutähteen maatuminen kestää kauemmin ja niiden kulkukelpoisuutta vähentävä vaikutus kestää siis huomattavasti pidempään.

Pienpuun korjuu tuo metsään ulkoilijoiden kaipaamaa avaruutta ja parantaa kulkukelpoisuutta. Kuva Erkki Oksanen/Metla. Energiapuunkorjuun ympäristövaikutukset Tutkimusraportti



8.3 Energiapuun korjuun vaikutus maisemaan ja metsien virkistyskäyttöön

Pienpuun korjuu tuo metsikköön ulkoilijoiden kaipaamaa avaruutta ja väljyyttä sekä helpottaa metsässä liikkumista. Hakkuutähteen talteenotto puolestaan edistää virkistyskäyttöä vähentämällä hakkuutähteen aiheuttamaa esteettistä haittaa sekä parantamalla kulkukelpoisuutta. Uudistusalat myös saavat nopeammin kasvipeitteen, kun hakkuutähteet kerätään pois. Hakkuutähteen poisto helpottaa marja- ja sienisadon keräämistä ja elvyttää puolukkasatoa, mutta ei juurikaan vaikuta ruokasienten määrään.

Jos kuitenkin vain osa hakkuutähteen korjataan pois ja merkittävä osa jää metsään, maisemallinen hyöty saattaa olla varsin pieni tai olematon. Meillä ei kuitenkaan ole tietoa siitä, millainen määrä hakkuutähteitä on esteettinen haitta ja millainen määrä olisi vielä maisemallisesti hyväksyttävää. Jo vähäinenkin määrä hakkuutähteitä saattaa olla merkittävä maisemallinen häiriötekijä (Brown ja Daniel 1984), sillä ne vähentävät luonnontilaisuuden tuntoa. Lisäksi suuret hakkuutähtekasat alentavat maiseman visuaalista laatua.

Kantojen noston maisemavaikutuksista ei ole tutkittua tietoa. Todennäköisesti kuitenkin kantojen noston välittömät jäljet ja kantojen varastointi metsässä koetaan esteettisesti häiritsevinä. Kannoissa elää muutamia tärkeitä ruokasieniä, kuten mesisieni, kuusilahokka ja koivunkantosieni, ja kantojen poisto vähentää näiden sienten määrää. Toisaalta kantojen nosto rikkoo maaperää, mikä puolestaan parantaa joidenkin muiden sienten, kuten korvasienten, esiintymismahdollisuuksia, ja siten kompensoi kantosienten menetystä (Hintikka 1974).

Energiapuun talteenotto lisää työvaiheiden määrää ja siten koneiden tuottamaa esteettistä ja meluhaittaa palstalla ja palstatiellä. Energiapuun korjuun vaikutukset maisemaan ja virkistyskäyttöön riippuvatkin paljon korjuumenetelmistä. Korjuun haittavaikutukset tulisi erityisesti ottaa huomioon alueilla, jotka ovat vilkkaassa virkistyskäytössä, kuten taajamien, matkailukeskusten, suojelualueiden sekä tiheän kesämökkiasutuksen lähiympäristöt. Lisäksi vilkkaassa virkistyskäytössä olevilla alueilla energiapuun korjuun aiheuttamaa pettymystä ulkoilijoille voidaan lieventää informoimalla alueen käyttäjiä toimenpiteistä.

Hakkuutähteen ja kantojen varastointi

Maiseman kannalta olisi parasta, jos hakkuutähde- ja kantokasat kuljetettaisiin pois palstalta ja palstatieltä mahdollisimman pian ja varastoitaisiin terminaalissa tai käyttöpaikalla. Palstalla olevat hakkuutähdekasat ovat silmiinpistävämpiä ja esteettisesti häiritsevämpiä kuin tasaisesti levitetynä olevat hakkuutähteet. Myös tienvarressa suuret hakkuutähde- ja kantokasat ovat esteettinen häiriötekijä, ja ne myös peittävät näkyvyyttä. Jos hakkuutähteitä varastoidaan pitkään palstalla tai tienvarressa, ne kuivuuksaan ja neulasia pudottaessaan muuttuvat ruskeammiksi ja maisemallisesti häiritsevimmiksi. Hakkuutähdepaalit ovat esteettisesti miellyttävämpiä kuin hakkuutähdekasat, sillä niissä hakkuutähde menee pienempään tilaan kuin kasoissa. Maiseman kannalta paras paalien varastointipaikka on myös käyttöpaikalla tai terminaalissa. Metsässä energiapuun varastot tulisi sijoittaa siten, että ulkoilijoiden käyttämät reitit pysyvät vapaina.



Hakkuutähdekasat ovat maisemallisesti häiritseviä. Kuva Erkki Oksanen/Metla.

Haketus

Jos pienpuut, hakkuutähde ja kannot haketetaan terminaalissa tai käyttöpaikalla, haketuksesta ulkoilijoille koituvat melu- ja esteettiset haitat vähenevät. Toisaalta hake menee pienempään tilaan kuin alkuperäinen aines, joten palstalla haketus vähentää kuljetuksesta aiheutuvaa liikennettä sekä siten toimenpidepäivien määrää metsässä, mikä puolestaan on myönteistä virkistyskäytön kannalta.

Maanpinnan vauriot

Puun ja hakkuutähteen korjuusta sekä kantojen nostosta syntyvät maanpinnan vauriot häiritsevät sekä esteettistä elämystä että kulkukelpoisuutta. Hakkuutähteen talteenotto saattaa lisätä korjuuvaurioita, jos hakkuutähdettä ei enää levitetä ajouralle maan ja pintajuurien suojaksi hakkuukoneen ja kuormatraktorin aiheuttamilta painaumilta. Energiapuun talteenotto raivauksessa ja harvennuksessa saattaa edellyttää massiivisempaa koneiden käyttöä kuin jos energiapuu jätettäisiin metsään. Lisääntyvä koneiden käyttö puolestaan yleensä lisää puusto- ja maastovaurioita, jotka haittaavat virkistyskäyttöä.

Energiapuun korjuun ajankohta

Puunkorjuun ajankohta vaikuttaa sen häiritsevyyteen. Meluhaittojen minimoimiseksi hakkuutähteen ja pienpuun korjuu, kantojen nosto, haketus sekä kuljetus olisi hyvä toteuttaa silloin, kun ulkoilijoita on vähän liikkeellä. Virkistyskäytön kannalta hiljaisia aikoja ovat myöhäissyksy ja usein myös talvikuukaudet.



Energiapuun korjuusta virkistyskäytölle koituvia haittoja tulisi pienentää mm. minimoimalla toimenpidepäivien määrä metsässä. Kuva Erkki Oksanen/Metla.

8.4 Yhteenveto

Energiapuun korjuu metsistämme lisääntyy jatkuvasti. Noin puolet suomalaisten ulkoilukerroista tapahtuu talousmetsissä, joten energiapuun korjuu vaikuttaa ulkoilukokemukseen ja koettuun maiseman viihtyisyyteen.

Pienpuun ja hakkuutähteen talteenotto pääsääntöisesti parantaa metsäympäristön viihtyisyyttä ja kulkukelpoisuutta ja siten virkistyskäyttöön soveltuvuutta. Emme kuitenkaan tiedä kuinka suuri osa hakkuutähteestä tulee kerätä pois ennen kuin myönteiset maisemavaikutukset saavutetaan. Lisäksi hakkuutähteen korjuun vaikutus maisemaan saattaa olla jopa kielteinen, mikäli suuria hakkuutähtekasoja varastoidaan palstalla tai palstatien varressa. Kantojen noston maisemavaikutuksista ei ole tutkittua tietoa, mutta todennäköisesti ainakin kantokasat ja kannonnoston välittömät jäljet koetaan maisemallisesti häiritsevinä. Virkistyskäytön kannalta olisi suotavaa, että hakkuutähte ja kannot kuljetettaisiin mahdollisimman pian pois metsästä, energiapuun korjuu tapahtuisi mahdollisimman vähin maastovaurioin, ja korjuun aiheuttamat meluhaitat minimoitaisiin.

Suosituksia:

- Energiapuun korjuun haittavaikutukset tulisi ottaa huomioon alueilla, jotka ovat vilkkaassa virkistyskäytössä, kuten taajamien lähialueet, matkailukeskusten, ulkoilureittien, suojelualueiden ja tiheän vapaa-ajanasutuksen lähiympäristöt.
- Energiapuun korjuusta aiheutuvia meluhaittoja tulisi vähentää minimoimalla metsässä tapahtuvien toimenpidepäivien määrä.
- Energiapuun korjuu tulisi ajoittaa ulkoilun kannalta hiljaiseen vuodenaikaan (myöhäissyksy).
- Energiapuun korjuusta aiheutuvaa haittaa voidaan lieventää informoimalla alueen käyttäjiä toimenpiteistä.
- Ulkoilijoiden käyttämät reitit tulisi pitää vapaana energiapuun varastoista sekä korjuussa, hakeuksessa ja kuljetuksessa käytettävistä koneista.

Energiapuun korjuun vaikutuksesta maisemaan, kulkukelpoisuuteen ja eri virkistyskäyttömuotoihin, kuten marjastukseen, sienestykseen ja metsästykseseen, on varsin vähän tutkimustietoa. Tietoa puuttuu mm. hyväksyttävästä metsään jäävän hakkuutähteen määrästä, kantojen noston ja hakkuutähteen varastoinnin maisemavaikutuksista sekä energiapuun korjuun aiheuttamista meluhaitoista.

9 Johtopäätökset

Martti Kuusinen & Hannu Ilvesniemi

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja Metsäntutkimuslaitos

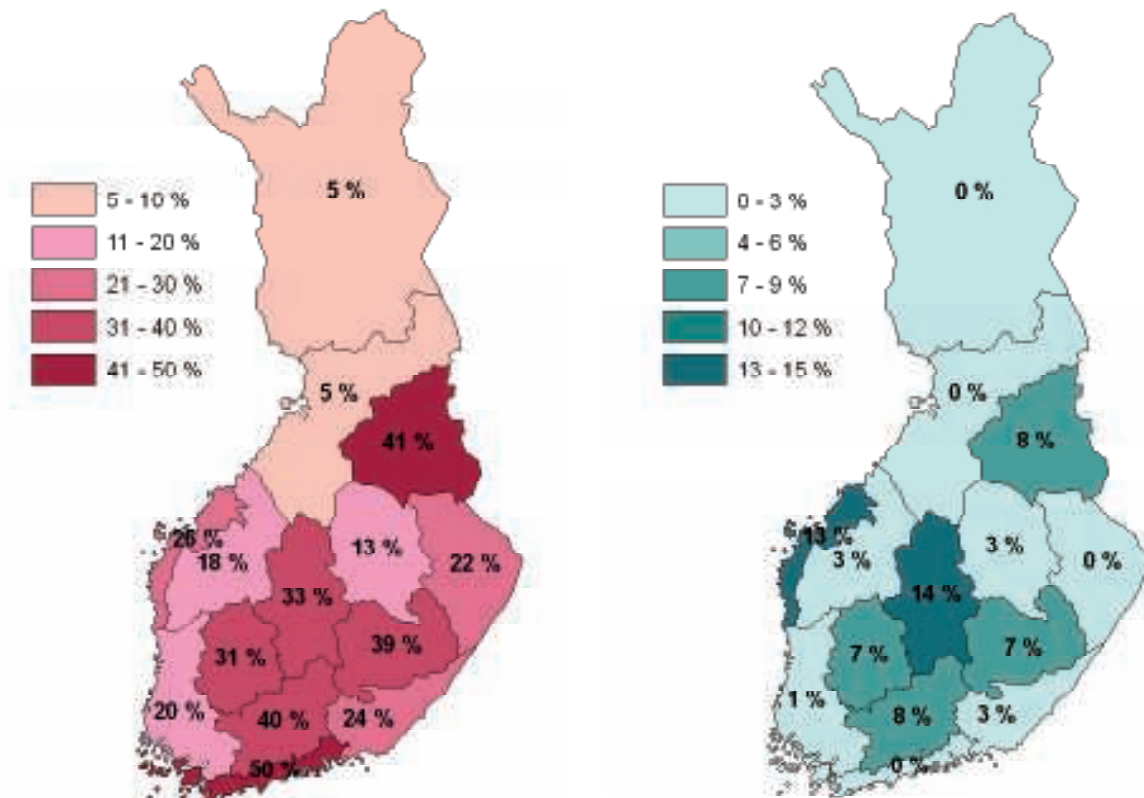
9.1 Ympäristövaikutukset ja metsähakkeen korjuumäärien kasvattaminen

Ympäristövaikutusten kannalta ratkaisevaa on, kuinka intensiivisesti ja laaja-alaisesti energia-puuta korjataan. Vuosituhannen vaihteen jälkeisen kehityksen perusteella näyttää mahdolliselta, että Kansallisen metsäohjelman tavoite, 5 miljoonaa kuutiota poltettua metsähaketta per vuosi, saavutetaan vuoteen 2010 mennessä. Euroopan unionin v. 2008 asettamien tavoitteiden täyttäminen edellyttää vielä huomattavasti tätä suurempia metsähakkeen vuotuisia korjuumääriä. Kasvua tukee osaltaan uusi KEMERA-laki, jonka on tarkoitus tulla voimaan vuoden 2009 alussa. Laki pitää sisällään nuorten metsien metsähakkeen haketus- ja korjuutuen vuoteen 2012 asti.

Metsähakkeen raaka-aineita ovat neulaset, oksat latvat ja kannot. Maanpäällistä biomassaa kerätään sekä harvennus- että avohakkuukohteilta, kantojen korjuu on rajautunut päätehakkuukoosiin. Kansallinen metsäohjelma 2015 tavoitteiden toteutumi-

nen tarkoittaisi korjuumäärien kolminkertaistumista vajaan kymmenen vuoden aikajaksolla. Kahdeksan miljoonan kuutiometrin minimimitavoitetasolla päätehakkuualojen latvusmassaa korjattaisiin vuonna 2015 lähes kaksinkertaisella pinta-alalla nykytasoon verrattuna. Nuorten metsien kokopuukorjuuala ja kantojenkorjuuala liki nelinkertaistuisivat. Metsäkeskusten seurantatulosten perusteella kaikista avohakkuualoista latvusmassan korjuukohteita on tällä hetkellä vähintään 25 % ja kantojenkorjuukohteita vähintään 5 % (kuva 1), kun metsähakkeen kokonaiskäyttö on 3,4 milj. m³ vuodessa. Korjuuintensiteetin alueellisista eroista johtuen joillakin alueilla korjuu tulee jatkossa olemaan erittäin intensiivistä.

Yhtenä kompastuskivenä tavoitteen toteutumisessa on korjuutyövoiman ja -kaluston saatavuus. Ammattitaitoisista metsäkoneenkuljettajista on jo nyt huutava pula ainespuunkorjuussa. Kun sekä aines- että energiapuun korjuumääriä ollaan lähi-



Kuva 1. Vasemmalla latvusmassan ja oikealla kantojen korjuukohteiden osuus yksityis- metsien avohakkuualoista metsäkeskusalueittain vuosina 2006-07
Lähde: Metsäkeskusten luonnonhoidon laadun seuranta 2006-2007.

tulevaisuudessa kasvattamassa tuntuvasti, riittävän korjuutyövoiman turvaamiseksi tarvitaan pikaisia toimia. Kysymys lienee kriittisin nuorten metsien energiapuunkorjuun kannalta, koska työ vaatii vankkaa ammattitaitoa ja sen taloudellinen kannattavuus on usein kyseenalainen.

Koska neulasten ravinnepitoisuus on selvästi puumaisia kasvinosia korkeampi, energiapuunkorjuusta aiheutuu moninkertainen ravinnemenetys ainespuunkorjuuseen verrattuna. Kasvupaikalta pois viedyt ravinteet eivät enää ole kasvien käytettävissä ja tämä muutos ilmenee viiveellä puuston alentuneena kasvuna. Vaikutusten kannalta onkin suuri ero, jos energiapuuharvennuksissa korjataan myös karsittua ainespuuta (jolloin suuri osa neulasmassasta jää kasvupaikalle) tai jos päätehakkuaalojen latvusmassa korjataan kuivatettuna (jolloin suuri osa neulasista varisee kasvupaikalle). Tutkimustulokset antavat viitteitä siitä, että kasvutappioiden suuruus on verrannollinen kasvupaikalta pois viedyntypen määrään. Ravinnehävikki on suurinta kuusikoissa, joista latvusmassaa kertyy eniten. Latvusmassan korjuusta saadaan kuitenkin myyntituloja ja päätehakkuaaloilla se parantaa uudistamistulosta. Nämä tekijät kompensoivat kasvutappioista mahdollisesti metsänomistajalle myöhemmin aiheutuvia taloudellisia menetyksiä. Latvusmassan ja kantojen korjuu on tutkimuksissa todettu kiertoajan puitteissa metsänomistajalle taloudellisesti kannattaviksi toimenpiteiksi. Metsähakkeen tehostetun ja toistuvan talteenoton pitkän aikavälin vaikutuksista metsämaan puuntuotoskykyyn ei vielä tiedetä riittävästi, ja uutta tietoa saadaan hitaasti.

Oksien ja kantojen sekä isojen juurten talteenotto vähentää maahan tulevan orgaanisen aineksen määrää ja muuttaa siten maaekosysteemien toimintaa. Kannot voivat olla useiden vaatelioiden ja taantuneiden lahoppulajien lisääntymispaikkoja, toisaalta niillä on merkitystä myös metsien terveydelle haitallisten sieni- ja hyönteislajien lisääntymisessä. Boreaalisten metsien luonnonsuknessiosta ei löydy ilmiötä, joka vastaisi päätehakkuihin liitettyä latvusmassan ja kantojen korjuuta. Ekologian ja hiilitalouden kannalta korjuun jälkeinen tilanne muistuttaa eniten lievän metsäpalon (pintapalon) jälkeä. Orgaanisen aineksen vähenemisen energiapuunkorjuussa on arveltu olevan erityisen haitallista hyvin vettä läpäisevillä kivennäismailla. Tehokkaan palontorjunnan ansiosta kangasmaiden talousmetsien maaperän hiilivarasto lienee nykyään huomattavasti stabiilimpi verrattuna luonnonmetsiin, jossa kymmenien-satojen vuosien välein toistuneet metsäpalot ovat verottaneet maaperän hiili- ja typpivarastoja. Pintapaloissa tuhoutuu luonnollisesti myös osa maaperäeliöstöstä.

Kantojen poisto ja metsähakkeen korjuun vuoksi tapahtuva monenkertainen koneiden liikkuminen uudistusalalla lisäävät sekä maan pinnan rikkoutumista että maan tiivistymisen riskiä. Routajakson lyhentymisen aiheuttaa jo sinällään haasteita puunkorjuulle. Hakkuutähteitä käytetään jatkossa enenevässä määrin energiantuotantoon, jolloin niitä ei välttämättä malteta enää käyttää maanpinnan vahvistamiseen. Uusia teknisiä ratkaisuja tarvitaan, jotta maastovaurioiden paheneminen voitaisiin estää.

Maanpinnan rikkoontuminen lisää myös siemensyntyisen taimiaineksen määrää taimikoissa. Tästä on hyötyä silloin, kun viljelytaimet eivät muodosta täystiheää taimikkoa, mutta se lisää toisaalta taimikonhoitokustannuksia ja todennäköisesti myös taimikonhoitorästejä. Maanpinnan rikkoontuminen on riski myös vesistövaikutusten kannalta. Kantojennostokohteet ovat yleensä hyväkasvuisia kuusikoita, joiden maaperissä huuhtoutumisherkkiä ravinteita ja hienoja maa-aineksia on runsaasti. Tarvitsemme myös lisää tutkimusta energiapuun korjuuseen yhdistettävien vesiensuojelumenetelmien tehokkuudesta.

9.2 Tapion suositukset energiapuun korjuuseen

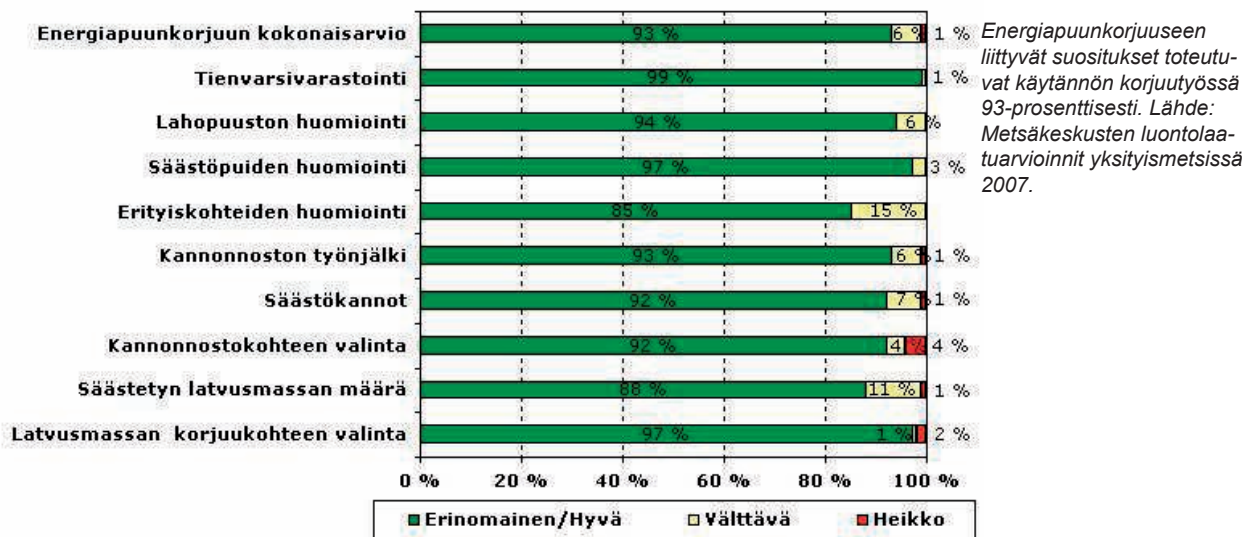
9.2.1 Merkitys ja toteutuminen käytännössä

Tapion ja sidosryhmien yhteistyönä laadittiin vuonna 2005 ensimmäiset valtakunnalliset suositukset energiapuun käytännön korjuutyölle. Kaikki valtakunnallisesti merkittävimmät toimijat ovat sitoutuneet suositusten noudattamiseen ja kouluttaneet henkilöstöään niiden sisällöstä. Suositusten laadinnassa ohjenuorana oli varovaisuusperiaate, koska tutkittua tietoa energiapuunkorjuun seurannaisvaikutuksista on käytettävissä vähän. Tästä syystä periaatteeksi sovittiin myös, että suosituksia päivitetään muutaman vuoden välein, kun tutkimus tuottaa uutta tietoa.

Suosituksia jakautuvat kahteen eri osa-alueeseen:

Korjuukohteiden valinta: energiapuunkorjuuseen soveltuvat kasvupaikat ja kasvupaikat, joilta energiapuuta ei suositella korjattavan
Toimenpiteet korjuukohteissa: talousmetsien luonnonhoidon menetelmät korjuualoilla

Suosituksien toteutumista on seurattu metsäkusten otantatarkastuksissa (luonnonhoidon laadunseuranta) yksityismetsien uudistushakkuaaloilla. Vuoden 2007 otanta käsittää yhteensä 1 100 satun-



naisesti valittua hakkuualaa, joista 25 % oli korjattu latvusmassaa ja 5 % kantoja. Metsäkeskusalueittain tarkasteltuna aineistoon kuului keskimäärin 85 hakkuualaa, joista 10 oli latvusmassan korjuukohteita ja 3 kantojennostokohteita. Arvioitujen kohteiden hakkuu ja energiapuunkorjuu oli tehty vuosina 2005–07, pääosin vuonna 2006.

9.2.2 Korjuusuositusten muutostarpeet

Edellä esitettyjen tutkimusartikkelien sisältö tukee nykymuotoisia korjuusuosituksia – suuria ristiriitoja suositusten ja tutkimustiedon kesken ei ole noussut esiin. Seuraavassa luetellaan ja perustellaan havaitut pienemmät suositusten täsmennystarpeet, jotka käsitellään suositusten sisältöä ohjaavan Energiapuunkorjuun asiantuntijaryhmän kokouksissa keväällä 2008.

2.2.1 Jätetyn hakkuutähteen määrä ja laatu

Nykyosuosituksissa on asetettu tavoitteeksi, että päätehakkuualoille jätetään noin 30 % latvusmassasta. Jos kyseessä on kuivatetun (ns. ruskean latvusmassan) korjuu, oksamassaa ei ole edellytetty jätettävän, koska pääosa neulasista oletettavasti varisee maahan korjuun yhteydessä. Vastaavasti pakkasaikana tehtävissä hakkuissa on oletettu, että puiden latvusto murskaantuu kaadon ja karsinnan yhteydessä niin, että suuri osa neulasista jää joka tapauksessa kasvupaikalle. Uuden tutkimustiedon perusteella on syytä harkita, että tavoitteeksi asetetaan 30 % jäänyttä latvusmassaa (oksia ja neulasia) kaikissa olosuhteissa. Jätettävän latvusmassan tavoitemäärää on täsmennettävä myös energiapuuharvennusten suhteen. Lisäksi on havaittu, että lehtipuiden, ennen kaikkea haavan, hakkuutähteillä on merkitystä vaateliaan la-

hopuulajiston lisääntymispaikkoina. Suosituksissa tulee harkita ainakin haavan hakkuutähteen jättämistä korjaamatta.

Lahopuun määrä

Tutkimuksissa on havaittu, että energiapuun korjuukohteissa lahoppuuta on korjuun jälkeen selvästi vähemmän kuin muilla hakkuualoilla. Metsätalouden ekologisen kestävyys kannalta lahoppu on tärkein yksittäinen ekosysteemin monimuotoisuutta kuvaava elementti. Siksi tulee harkita, pitäisikö energiapuuksi ja murskaantuneiksi päätyvä lahoppu kompensoida runsaampana säästöpuustona ja teko-pökelöinä.

Kannonnostoon liittyvän maanmuokkauksen laadun parantaminen

Kantojen noston työnjälki muistuttaa sinällään laikutusta. Suurin osa kannonnostokohteista on kuitenkin kuusenistutusaloja, joille nykyään suositellaan mätästävien menetelmien käyttöä. Lähtökohdana tulee aina olla, että kannonnosto ei ole maanmuokausmenetelmä ja metsän uudistamisen kannalta oikeasta maanpinnan käsittelystä on huolehdittava erikseen. Kannonnostoon liittyvä maanmuokkaus on kehittynyt sekä menetelmiltään että laadultaan huomattavasti viime vuosien aikana. Edelleen ongelmana on mm. laadukkaitten istutusmättäiden riittävyys ja mättäiden talleantuminen kantojen lähikuljetuksen yhteydessä. Kentällä on saatu hyviä kokemuksia korjuuketjuista, joissa kantojennosto ja maanmuokkaus tehdään erikseen, jälkimmäinen vasta kantojen lähikuljetuksen jälkeen. Tällöin konekuljettaja saa keskittyä yhteen asiaan kerrallaan ja jälki on parempaa. Koneistutus soveltuu kannonnostoaloille erityisen hyvin. Suositusten päivittämisessä voidaan harkita erilaisten ketjutusten hyötyjen ja haittojen arvioimista.

Tavoiteraja paljastuneen kivennäismaan määrälle

Monet kantojennoston ympäristövaikutuksista liittyvät paljastuneen kivennäis- ja turvemaan suureen määrään. Suositus on, että kivennäismaata ei paljasteta turhaan. Käytäntö on kuitenkin osoittanut, että varsinkin kosteilla ja rehevillä mailla kunta rikkoontuu usein lähes täydellisesti kantojennoston yhteydessä. Suosituksissa tulee harkita, voidaan-ko rikkoontuneen pintamaan osuudelle asettaa tavoitteellinen maksimiraja ja mitkä ovat käytännön nyrkkisäännöt, joilla tämän tavoitteen toteutumista pystytään helposti arvioimaan.

Sieni- ja hyönteistuhojen torjunta energiapuunkorjuussa

Suositukseen olisi perusteltua lisätä metsien terveyttä edistäviä, sieni- ja hyönteistuhoja ennaltaehkäiseviä toimenpiteitä:

- Vältetään energiapuuharvennusten tekemistä myöhäisyyksillä sekä keväällä nila-aikana
- Lämpimältä yli 10 cm:t havupuiden kannot käsitellään energiapuun kesäharvennuksissa harmaaorvakka- tai urealiuksella
- Kannonnostokohteille jätettävät havupuiden kannot käsitellään kesähakuissa harmaaorvakka- tai urealiuksella
- Energiapuuharvennusten välivarastot rakennetaan siten, että kasan pintakerroksissa on vain lehtipuuta
- Latvusmassaa käytetään maanpinnan kanta- vuuden parantamiseen sellaisissa maastokohdissa, joissa on riski urapainumien syntyemiselle.

Polkujen säästäminen

Kantojennostossa ja energiapuun metsäkuljetuksessa tulisi säästää käyttökelpoisina maastoon merkityt ja aktiivisessa ulkoilukäytössä olevat polut ja urat. Tällöin tulisi myös kiinnittää huomiota lähimaisen pitämiseen viihtyisänä.

9.2.3 Muut toimenpide-ehdotukset

Selvitetään metsähakkeen kestävä korjuupotentiaali

Kestävän metsävarojen käytön lähtökohtana ovat oikeat tiedot käytettävissä olevista metsävaroista. Metsähakkeen korjuupotentiaaleja koskevissa selvitelyissä on huomioitu tiettyjä teknisiä rajoituksia ja korjuukohteiden valintakriteereitä. Nykymuotoisten korjuusuositusten vaikutusta kokonaiskorjuupotentiaaliin ei kuitenkaan pystytä täydellisesti arvioimaan. On siis mahdollista, että kestävä energiapuunkorjuun suosituksia noudattamalla ei metsistämme

pystytä korjaamaan 12 miljoonaa kuutiometriä metsähaketta, joka on poliittisesti asetettu tavoitteeksi. Tästä syystä tulisi laatia dynaamisia laskentamalleja, joiden avulla pystyttäisiin arvioimaan eri rajoitteiden vaikutuksia valtakunnallisiin ja alueellisiin korjuumahdollisuuksiin.

Selvitetään ja kehitetään latvusmassan jättämisen menetelmiä ja vaikutuksia

Energiapuunkorjuun ympäristövaikutusten kannalta on ratkaisevaa, kuinka paljon biomassaa ja ravinteita viedään pois kasvupaikalta. Suositus on, että päätehakkuualoilla 30 % latvusmassasta jätetään metsään. Viime kädessä metsänomistaja itse päättää, korjataanko hänen metsistään latvusmassaa ja jos korjataan, niin kuinka paljon. Mitä enemmän latvusmassaa kerätään, sitä enemmän metsänomistaja saa niistä myyntituloja, mutta samalla kasvutappioiden ja muiden riskien todennäköisyys kasvaa. Korjuutyömaalle korjaamatta jääneen biomassan määrän arvioiminen on osoittautunut erittäin vaikeaksi korjuutyön yhteydessä sekä työn laadun arvioinnissa. Korjuutyöhön tulisi kehittää menetelmiä, joilla jäävän hakkuutähteen määrää voidaan hallita ja säädellä. Ratkaisu perustuu työtapojen ja teknologian kehittämiseen. Tarvitaan myös lisää tutkimusta siitä, mikä merkitys jätettävällä latvumassalla on maaperän puuntuotoskykyyn. Lisäksi olisi tarpeen selvittää tieteellisellä tarkkuudella korjuualoille jäävän latvus- ja kantobiomassan määriä - niistä on toistaiseksi olemassa vain silmämääräisiä arvioita.

Selvitetään metsien sieni- ja hyönteistuhojen torjuntaa koskevan lainsäädännön tulkinta ja täsmennystarpeet energiapuun välivarastointiin liittyen

Laki metsien sieni- ja hyönteistuhojen torjunnasta (8.2.1991/263) on laadittu aikana, jolloin energiapuunkorjuu oli polttopuun korjuuta pienkäyttöön. Laki on siten säädetty vain ainespuun välivarastointia silmällä pitäen. Mitä energiapuun tienvarsivarastointiin tulee, lain tulkinta on vaihtelevaa. Energiapuun tienvarsivarastot pitävät sisällään vaihtelevia määriä ainespuun mitat täyttävää havurunkopuuta. Eniten ainespuun mittavaatimukset täyttävää puutavaraa on nuorten metsien kokopuunkorjuualojen välivarastoissa - erityisesti, jos kohteesta ei ole erikseen korjattu ainespuuta ja poistuma on ollut mäntyvaltaista. Ytimennävertäjien suhteen suurimman riskin muodostavat terminaalivarastot, joihin varastoidaan tuoretta energiapuuta vuodesta toiseen. Niiden ympäristössä olevissa havumetsissä voi olla suuri riski tuhoille. Sienituhojen kannalta juurikäävän saastuttamien korjuualojen kantoamat ovat riski, jos niitä

säilytetään teiden varsilla pitkään. Tällainen tilanne on mahdollinen, koska kantopalojen energiasisältö ei juurikaan laske muutaman vuoden varastoinnin aikana. Lisäksi aumojen alimmat osat jäävät usein pysyvästi metsään, koska ne jäätyvät talvella maahan kiinni ja ovat usein hiekan ja kivien peitossa. Lain toimeenpano energiapuun välivarastointiin liittyen on linjattava, tulkintaa on yhdenmukaistettava ja lisäksi on harkittava energiapuunkorjuun mukanaan tuomien riskien ehkäisyä osana metsätuhojen torjuntaa.

Selvitetään mahdollisuuksia käyttää kantokäsittelyä energiapuuharvennuksissa ja kannonostokohteiden hakkuissa kesäaikaan.

Ainespuun korjuussa suositellaan käytettävän kemiallista kantokäsittelyä kesähakkuissa juurikäävän riskialueilla. Energiapuuharvennuksissa tämä ei toistaiseksi ole mahdollista, koska korjuukoneissa ei ole kantokäsittelylaitteita. Tarvetta kantokäsittelyyn olisi lähinnä männynjuurikäävän riskialueen (Kaakkois-Suomi, Etelä-Savo, Pohjois-Karjala) kesäharvennuksissa. Suositusten mukaan energiapuuharvennuksia ei tule tehdä kuusikoissa, joissa poistuma on kuusivaltaista.

Juurikäävän saastuttamissa korjuukohteissa on perusteltua pyrkiä nostamaan mahdollisimman tarkasti pois kaikki lahovikaiset kannot. Kesähakkuissa suositellaan kantokäsittelyä juurikäävän riskialueilla. Kannonostokohteiden hakkuissa tulisi kehittää menetelmä, jolla voidaan kantokäsittellä hakkuualalle jätettävät terveet havupuiden kannot. Käsiteltyjen kantojen merkitsemiseen pitäisi tällöin kehittää menetelmä, jolla merkintä säilyy havaittavana hakkuusta kantojen nostoon, ts. ainakin vuoden ajan. Kantoja merkitsemällä voitaisiin myös paremmin hallita korjuualoille jäävien kantojen kokonaisuuttamäärää; kannot ovat kauppatavaraa ja korjuun reunaehdoista päättää metsänomistaja.

Kehitetään ympäristövaikutuksiin liittyvää neuvontaa

Energiapuunkorjuuseen liittyy hyötyjä ja haittoja. Vaikutukset ovat sekä aineellisia että aineettomia ja ilmenevät eripituisten aikajaksojen puitteissa. Jokainen metsäammattilainen ja metsänomistaja tarkastelee vaikutuksia omista lähtökohdistaan; omien arvojensa ja metsien käytölle asettamiensa tavoitteiden pohjalta. Metsähakkeen korjuumäärien kasvattamisessa on ratkaisevan tärkeää, että Suomen 900 000 metsänomistajaa tarjoavat energiapuuta myyntiin. Korjuusopimuksen perusedellytyksiä ovat, että myyjä saa tuotteesta tyydyttävän korvauksen ja hän on selvillä kauppiaan liittyvistä seurannaisvaikutuksista. Toimijoiden on pystyttävä osoittamaan

metsänomistajille, että korjuun vaikutukset huomioidaan ja riskit hallitaan korjuusuosituksia noudattamalla. Metsänomistajien ulottuville tulee saattaa kansantajuista tietoa energiapuunkorjuun vaikutuksista. Lisäksi on panostettava metsäammattilaisten neuvontavalmiuksien parantamiseen.

Kehitetään energiapuun korjuumäärien valtakunnallista ja alueellista seurantaa

Metsäntutkimuslaitos on kehittänyt maahammetties maailman kattavimman metsähakkeen käytön tilastointimenetelmän. Ongelmana on kuitenkin, että se ei tuota suoraan tietoa korjuupinta-aloista ja metsähakkeen korjuuintensiteetin alueellisesta jakautumisesta. Esimerkiksi maailman suurin biovoimalaitos Alholmens Kraft Pietarsaassa imee energiapuuta kaukaa naapurimaakunnista saakka. Korjuun intensiteetin hallinta on kuitenkin kestävyden arvioinnin lähtökohta. Tällä hetkellä päte-hakkuiden energiapuunkorjuun seurannassa metsäkeskusten ja Tapion luontolaatu-arvioinnit tuottavat suuntaa antavaa tietoa korjuumääristä. Kemera-tukien perusteella saadaan samoin suuntaa antava kuva nuorten metsien kokopuunkorjuun laajuudesta. Tilastointia tulisi kehittää ja selvittää mahdollisuudet energiapuunkorjuuseen liittyvien tunnusten mittaamiseen osana VMI-kiertoa. Energiapuun talteenottomäärissä on suuria alueellisia eroja ja siksi tulisi selvittää mahdollisuudet metsähakkeen tavoite- ja kestävyystarkasteluihin osana alueellisia metsäohjelmia.

Yhdistetyn tuhka- ja typpilannoituksen kehittäminen

Tuhkalannoituksella voidaan palauttaa kasvupaikalle muut kasvupaikalta metsähakkeen korjuun yhteydessä poistuneet kasvinravinteet kuin typpi. Typen ja tuhkan yhteiskäyttö vaikuttaa lupaavalta lannoitusmuodolta yhdistettäväksi kasvatushakkuiden kanssa, koska tuhkaan yhdistetyn typpilannoitteen lannoitusvakutus saattaa kestää selvästi pelkkää typpilannoitusta pidemmän aikaa. Arvioitaessa metsähakkeen korjuukohteiden lannoituksen aiheuttama vaikutusta kohteen hiilitaseeseen täytyy ottaa huomioon, että typpilannoitteiden valmistus aiheuttaa melko merkittäviä hiilidioksidipäästöjä. Näyttää kuitenkin siltä, että puuston kasvua lisäävä vaikutus on niin suuri, että lannoitus on nykytiedon valossa hyvin perusteltua myös metsänhoidon ja puunkorjuun hiilitaseita ajatellen. Kivennäismaille perustettujen tuhka-typpi lannoituskäsittelyjen määrä on kuitenkin vielä aivan liian pieni, eikä käsittelyn suositeltavuudesta voida vielä tehdä varmoja johtopäätöksiä.

Kirjallisuus

- Aho, V. 2006. Etelä-Pohjanmaan polttopuuyrittäjien tuotannon laajentamismahdollisuudet ja markkinoinnin kehittämistarpeet. Kyselytutkimus Halkoliiteri.com-yrittäjille. Opinnäytetyö, Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Maa- ja metsätalouden yksikkö. 33 s.
- Allmér, J. 2005. Fungal communities in branch litter of Norway spruce: dead wood dynamics, species detection and substrate preferences. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala
- Allmer, J., Vasiliauskas, R., Ihrmark, K., Stenlid, J. & Dahlberg, A. 2006. Wood-inhabiting fungal communities in woody debris of Norway spruce (*Picea abies*), as reflected by sporocarps, mycelial isolations and T-RFLP identification. *FEMS Microbiology Ecology* 55: 57–67.
- Andersson, L. ja Hytteborn, H. 1991. Bryophytes and decaying wood – a comparison between managed and natural forest. *Holarctic Ecology* 14: 121–130.
- Antikainen, R., Tenhunen, J., Ilomäki, M., Mickwitz, P., Punttila, P., Puustinen, M., Seppälä, J. & Kauppi, L. 2007. Bioenergian uudet haasteet ja niiden ympäristönäkökohdat. Nykytilakatsaus. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 11/2007, 98 s.
- Arthur, L.M. 1977. Predicting scenic beauty of forest environments: some empirical tests. *Forest Science* 23(2): 151–160.
- Asikainen A., Ranta T., Laitila J. ja Hämäläinen J. 2001. Hakkuutähdehakkeen kustannustekijät ja suuromittakaavainen hankinta. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 131. 107 s.
- Asikainen, A. 2004. Puun korjuu ja kuljetus. Teoksessa: Harstela, P. (toim.) Metsähake ja metsätalous. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 913: 26-36.
- Atlegrim, O. & Sjöberg, K. 1996. Effects of clear-cutting and single-tree selection harvests on herbivorous insect larvae feeding on bilberry (*Vaccinium myrtillus*) in uneven-aged boreal *Picea abies* forests. *Forest Ecology and Management* 87: 139–148.
- Bader, P., Janson, S. & Jonsson, B. G. 1995. Wood-inhabiting fungi and substratum decline in selectively logged boreal spruce forests. *Biological Conservation* 72: 355–362.
- Bendz-Hellgren, M. & Stenlid, J. 1998. Effects of clear-cutting, thinning, and wood moisture content on the susceptibility of Norway spruce stumps to *Heterobasidion annosum*. *Canadian Journal of Forest Research* 28: 759–765.
- Bengtsson, J., Lundkvist, H., Sohlenius, B. & Solbreck, B. 1998. Effects of organic matter removal on the soil food web: Forestry practices meet ecological theory. *Applied Soil Ecology* 9: 137–143.
- Bengtsson, J., Persson, T. & Lundkvist, H. 1997. Long-term effects of logging residue addition and removal on macroarthropods and encytracheids. *Journal of Applied Ecology* 34: 1014–1022.
- Benson, R.E. & Ullrich, J.R. 1981. Visual impact of forest management activities: findings on public preferences. USDA Forest Service. Research Paper INT-262. 14 p.
- Berglund, H. & Åström, M. 2007. Harvest of logging residues and stumps for bioenergy production – effects on soil productivity, carbon budget and species diversity. *Baltic Forest*. Internet julkaisu osoitteessa: www.baltiforest.net (27.3.2007)
- Berquist, J., Örlander, G. & Nilsson, U. 1999. Deer browsing and slash removal affect field vegetation on south Swedish clearcuts. *Forest Ecology and Management* 115: 171–182.
- Brais S., Pare D., Camire C., Rochon P. ja Vasseur C. 2002. Nitrogen net mineralization and dynamics following whole-tree harvesting and winter windrowing on clay sites in northwestern Quebec. *Forest Ecology and Management* 157:119–130.
- Brown, T.C. & Daniel, T.C. 1984. Modeling forest scenic beauty: concepts and application to Ponderosa pine. USDA Forest Service Research Paper RM-256.

- Brummer-Korvenkontio, M., Vapalahti, O., Henttonen, H., Koskela, P., Kuusisto, P. & Vaheri, A. 1999. Epidemiological study of *Nephropathia epidemica* in Finland 1989-1996. *Scandinavian Journal of Infectious Disease* 31: 427–435.
- Bråkenhielm, S. & Liu, Q. 1998. Long-term effects of clear-felling on vegetation dynamics and species diversity in a boreal pine forest. *Biodiversity and Conservation* 7: 207–220.
- Bylund, H., Nordlander, G. & Nordenhem, H. 2004. Feeding and oviposition rates in the pine weevil *Hyllobius abietis* (Coleoptera: Curculionidae). *Bulletin of Entomological Research* 94: 307–317.
- Bååth, E. & Söderström, B. 1982. Seasonal and spatial variation in biomass in a forest soil. *Soil Biology and Biochemistry* 14: 353–358.
- Bååth, E. 1980. Soil fungal biomass after clear-felling of a pine forest in central Sweden. *Soil Biology & Biochemistry* 12: 495–500.
- Bååth, E. 1981. Microfungi in a clear-cut pine forest in central Sweden. *Canadian Journal of Botany* 59: 1331–1337.
- Caruso, A. & Thor, G. 2007. Importance of different tree fractions for epiphytic lichen diversity on *Picea abies* and *Populus tremula* in mature managed boreonemoral Swedish forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 22: 219–230.
- Caruso, A., Rudolphi, J. & Thor, G. 2007. Lichen species diversity and substrate amounts in young planted boreal forests: a comparison between slash and stumps of *Picea abies*. *Biological Conservation* (painossa).
- Dahlberg, A. & Stokland, J. 2004. Vedlevande arternas krav på substrat – sammanställning och analys av 3600 arter. Rapport 7/2004, Skogstyrelsen, 75 s.
- Derome, J., Lindroos, A-J. & Derome, K. 2007. Soil percolation water quality during 2001-2004 on 11 Level II plots. In: Merilä, P., Kilponen, T. & Derome, J. (eds.). *Forest Condition Monitoring in Finland - National report 2002-2005*. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 45:93–98.
- Egnell, G. & Lejon, B. 1997. Effects of different levels of biomass removal in thinning on shortterm production of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* stands. *Scandinavian Journal of Forest Research* 12:17–26.
- Egnell, G. & Valinger, E. 2003. Survival, growth, and growth allocation of planted Scots pine trees after different levels of biomass removal in clear-fellings. *Forest Ecology and Management* 177:65-74.
- Fagerblom, A. 2007. Puuta on käytettävä järkevästi. Metsäteollisuuden tietopalvelu. Internet-tiedote. Viitattu 15.11.2007. <http://www.metsäteollisuus.fi/infokortit/MalttiaBioenergiaan/Sivut/default.aspx>. 2 sivua.
- Finér, L., Piirainen, S., Mannerkoski, H. & Starr, M. 2003. Carbon and nitrogen pools in an old-growth, Norway spruce-mixed forest in eastern Finland and changes associated with clear-cutting. *Forest Ecology and Management* 174:51-63.
- Finland's Third National Communication under the United Nations Framework convention on climate change. 2001. Kuusisto, E and Hämekoski, K. (eds.), Karisto, Hämeenlinna, ISBN 952-11-1015-5, ISBN 952-11-1016-3. Saatavissa: <http://unfccc.int/resource/docs/natc/finnc3.pdf>
- Forest Science* 23(2): 151–160.
- Fritze, H., Smolander, A., Levula, T., Kitunen, V. & Mälkönen, E. 1994. Wood-ash fertilization and fire treatments in a Scots pine forest stand: Effects on the organic layer, microbial biomass, and microbial activity. *Biology and Fertility of Soils* 17: 57–63.
- Gedminas, A., Lynikienė, J. & Zeniauskas, R. 2007. Cambio-xylofauna abundance and species diversity of cutting residues in Scots pine and Norway spruce clear-cuts in Lithuania. *Biomass and Bioenergy* 31: 733–738.
- Gibbs, J.N., Greig, B.J.W. & Pratt, J.E. 2002. Fomes root rot in Thetford Forest, East Anglia: past, present and future. *Forestry* 75: 191–202.

- Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2004 National Inventory Report to the UNFCCC, 15 April 2006. [Verkkodokumentti] Tilastokeskus. Saatavissa: http://www.stat.fi/tup/khkinv/nir_unfccc_2006.pdf [Viitattu 16.4.2007]
- Greig, B.J.W. & Low, J.D. 1975. An experiment to control *Fomes annosus* in second rotation pine crops. *Forestry* 48: 147–163.
- Hagerberg, D. & Wallander, H. 2002. The impact of forest residue removal and wood ash amendment on the growth of ectomycorrhizal external mycelium. *FEMS Microbiology Ecology* 39: 139–146.
- Hakkila, P. 1991. Crown mass of trees at harvesting phase. *Folia Forestalia* 773. Forest Research Institute. Helsinki. 24 s.
- Hakkila, P. (toim.) 1992. Metsäenergia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 422. 51 s.
- Hakkila, P. 1975. Kanto- ja juuripuun kuoriprosentti, puuainainen tiheys ja asetoniutteiden määrä. *Folia Forestalia* 224, 14s.
- Hakkila, P. 1979. Mänty-, kuusi- ja koivurunkojen puuaineen tiheys ja kuivapainotaulukot. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 77(1), 71 s.
- Hakkila, P. 1991. Hakkuupoistuman latvusmassa. *Folia Forestalia* 773. 24 s.
- Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999–2003. Loppuraportti. *Teknologiaohjelmaraaportti* 5/2004. 135 s.
- Harstela, P. 2004a. Metsänuudistaminen ja taimikonhoito. Julkaisussa: Harstela, P. (toim.). *Metsähake ja metsätalous*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 913: 16–25.
- Harstela, P. 2004b. Metsätalouden kannattavuus. Julkaisussa: Harstela, P. (toim.). *Metsähake ja metsätalous*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 913: 75–76.
- Hautala, H., Jalonen, J., Laaka-Lindberg, S. & Vanha-Majamaa, I. 2004. Impacts of retention felling on coarse woody debris (CWD) in mature boreal spruce forests in Finland. *Biodiversity and Conservation* 13: 1541–1554.
- Heikkilä, J., Laitila, J., Tantt, V., Lindblad, J., Sirén, M., Asikainen, A., Pasanen, K. ja Korhonen, K.T. 2005. Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät. *Metlan työraportteja* 10.56 s.
- Heikkilä, J., Sirén, M. & Äijälä, O. 2007. Management alternatives of energy wood thinning stands. *Biomass & Bioenergy* 31(5): 255–266.
- Heinonen, P. (toim.) 2004. Metsätalouden ympäristöopas. *Metsähallitus*, 159 s.
- Helmisaari, H.-S. 1995. Nutrient cycling in *Pinus sylvestris* stands in eastern Finland. *Plant & Soil* 168-169:327–336.
- Helmisaari, H.-S. 1998. Metsäekosysteemin toiminta ympäristömuutosten ilmentäjänä. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.). *Ympäristömuutos ja metsien kunto*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 691:170–174.
- Helmisaari, H.-S., Makkonen, K., Kellomäki, S., Valtonen, E and Mälkönen, E. 2002. Below- and above-ground biomass, production and nitrogen use in Scots pine stands in eastern Finland. *Forest Ecology and Management* 165: 317–326.
- Helträdsutnyttjande – konsekvenser för klimat och biologisk mångfald. 2006. Naturvårdsvärket, Rapport 5562, Maj 2006, 89 s.
- Helynen, S., Flyktman, M., Asikainen, A. & Laitila, J. 2007. Metsätalouteen ja metsäteollisuuteen perustuvan energialiiketoiminnan mahdollisuudet. *VTT tiedotteita* 2397. 66 s.
- Helynen, S. 2006. Bioenergiavarat mahdollistavat lisäyksen - Tavoitteet ja toimet vaatimattomia. *Bioenergia* 3/2006, s. 2–3.
- Henttonen, H. & Vaheri, A. 1996. Myyräkuumeeseen saa herkimmin puuliiteristä. *Metsälehti* 6/96: 12–13.
- Henttonen, H. 2000. Miksi ennätyksellisesti myyräkuumetta? *Kansanterveys* 6/2000: 4, 9.

- Hintikka, V. 1974. Hakkuutähteiden talteenoton vaikutus metsäpatogeenisten ja ruokasienten esiintymiseen. Julkaisussa: Hakkila, P. (toim.): Hakkuutähteiden talteenoton seurannaisvaikutukset. *Folia Forestalia* 210: 12–13.
- Holdenrieder, O. & Greig, B.J.W. 1998. Biological methods of control. Kirjassa: Woodward, S., Stenlid, J., Karjalainen, R. & Hüttermann, A. (toim.): *Heterobasidion annosum: biology, ecology, impact and control*. CAB International, Wallingford, UK. ISBN 0 85199 2757. s. 235–258.
- Hutchings, T.R., Moffat, A.J. & French, C.J. 2002. Soil compaction under timber harvesting machinery: a preliminary report on the role of brush mats in its prevention. *Soil Use and Management* 18(1):34–38.
- Hynynen, J. 2001. Energiapuuvarat. Julkaisussa: Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä. Toimittaneet Nurmi, J. ja Kokko, A. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 816. Sivut 9–16.
- Hyppel, A. 1978. Rottröta och stubbrytning. Projekt helträdsutnyttjande, rapport nr. 60. Swedish University of Agricultural Sciences. 7 s.
- Hyttinen, P. 2007. Pohjois-Karjalan maakuntajohtajan Pentti Hyttisen puhelinhaastattelu 22.11.2007.
- Hyvän metsänhoidon suositukset 2006. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 100s.
- Hänninen, H. 2001. Luontokohteet ja säästöpuusto talousmetsien hakkuissa – seurantatulokset vuosilta 1996–99. Julkaisussa: Siitonen, J. (toim.). *Monimuotoinen metsä. Metsäluonnon monimuotoisuuden tutkimusohjelman loppuraportti.* ;Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 812, s. 81–95.
- Ihalainen, A. & Siitonen, J. 2006. Lahopuuston määrä talousmetsissä ja suojelualueilla VMI9:n tulosten perusteella. Julkaisussa: Horne, P. ym. (toim.). *Metson jäljillä. Etelä-Suomen metsien monimuotoisuusohjelman tutkimusraportti.* s. 78–79. MMM, YM, Metla ja SYKE.
- Ilvesniemi, H., Forsius, M., Finér, L., Holmberg, M., Kareinen, T., Lepistö, A., Piirainen, S., Pumpanen, J., Rankinen, K., Starr, M., Tamminen, P., Ukonmaanaho, L. And Vanhala, P. 2002. Carbon and Nitrogen Storages and Fluxes in Finnish Forest Ecosystems. Julkaisussa: Käyhkö, J. ja Talve, L. (toim), *Understanding the Global System. The Finnish Perspective. The Finnish Global Change Research Programme FIGARE*, ISBN 951-29-2407-2, ss. 69–82.
- Ingelög, T. 1974. Biotiska förändringar vid förnyelseingrepp. *Sveriges Skosvårdsförbunds Tidskrift* 1: 91–103.
- Jacobson, S. & Kukkola, M. 1999. Skogsbransleuttag i gallring ger kännbara tillväxtförlyster. *Skogforsk. Resultat* 13.4 s.
- Jacobson, S. 2003. Addition of stabilized wood ashes to Swedish coniferous stands on mineral soils - effects on stem growth and needle nutrient concentrations. *Silva Fenn.* 37:437–450.
- Jacobson, S., Kukkola, M., Mälkönen, 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.
- Jacobson, S., Kukkola, M., Mälkönen, 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.
- Jonsell, M. 2007. Effects on biodiversity of forest fuel extraction, governed by processes working on a large scale. *Biomass and Bioenergy* 31: 726–732.
- Jonsell, M., Hansson, J. & Wedmo, L. 2007. Diversity of saproxylic beetle species in logging residues in Sweden – comparisons between tree species and diameters. *Biological Conservation* 138: 89–99.
- Jonsell, M., Weslien, J. & Ehnström, B. 1998. Substrate requirements of red-listed saproxylic invertebrates in Sweden. *Biodiversity and Conservation* 7: 747–764.
- Jylhä, P. ja Laitila, J. 2007. Energy wood and pulpwood harvesting from young stands using a prototype whole-tree bundler. *Silva Fennica* 41 (4): 763–779.

- Kaila, S., Kiljunen, N., Miettinen, A. & Valkonen, S. 2006. Effect of timing of precommercial thinning on the consumption of working time in *Picea abies* stands in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21: 496-504.
- Kallio, T. 1971. Incidence of the conidiophores of *Fomes annosus* (Fr.) Cooke on the logging waste of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Acta Forestalia Fennica* 124. 9 s.
- Kara, M. (toim.) 2004. *Energia Suomessa. Tekniikka talous ja ympäristövaikutukset*. Edita Publishing Oy, Helsinki, 368 s.
- Kardell, L. & Wärne, C. 1981. Stubbar och ris – Blåbär och lingon. Utläggning av skogsenergiförsök 1978–1980. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig landskapsvård, Uppsala. Rapport 21 96 s.
- Kardell, L. 1983. Hyggesavfallets inverkan på flora, folk och få. Sveriges Lantbruksuniversitet, Skogs-fakta supplement 1/1983: 37–40.
- Kardell, L. 1992. Vegetationsförändringar, plantetablering samt bärproduktion efter stubb- och riståkt. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig landskapsvård, Uppsala. Rapport 50, 79 s.
- Kardell, L. 1993. Stubbrytningsförsöket på Tagel 1978–1989 – vegetation och skogstillstånd. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig landskapsvård, Uppsala. Rapport 52, 74 s.
- Kardell, L. 1996. Stubbrytningsförsöket i Piteåtrakten 1979–1990. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig landskapsvård, Uppsala. Rapport 63, 72 s.
- Karjalainen, E. 1995. Avohakkuumaiseman visuaalinen laatu. *Folia Forestalia - Metsätieteen aikakauskirja* 3: 211–232.
- Karjalainen, E. 2002. Ulkoilumetsän kokeminen ja merkitykset. Julkaisussa: Lyytikäinen, S. (toim.). Luonnon monimuotoisuus, maisema ja virkistysarvot ulkoilumetsien hoidossa. Helsingin kaupungin Nuuksion järviylängön ulkoilualueiden luonnonhoito kävijöiden arvioimana. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 846: 11–22.
- Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. *Commun. Inst. For. Fenn.* 145. 39 s.
- Keskimölö, A. ja Malinen, J. 1997. Lapin metsänkäyttöskenaarioiden energiapuukertymät. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/1997: 375–388.
- Kilpeläinen, J. 2007. Biofuels as a product area opportunity for the forest industry. Suomen Metsätieteellinen Seura. *Metsätieteen päivillä 2007. Esitelmän tiivistelmä.* s. 18.
- Koistinen, A. & Äijälä, O. 2006. Energiapuun korjuu. Hyvän metsänhoidon opassarja. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, Helsinki. 40 s.
- Korhonen K.T, Ihalainen, A., Heikkinen, J., Henttonen, H. ja Pitkänen, J. 2007. Suomen metsävarat metsäkeskuksittain 2004–2006 ja metsävarojen kehitys 1996–2006. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/2007: s. 149–213.
- Korhonen K.T., Tomppo, E., Henttonen, H., Ihalainen, A., Tonteri, T. ja Tuomainen, T. Pohjois-Karjalan metsäkeskuksen alueen metsävarat 1966-2000. *Metsätieteen aikakauskirja* 3B/2001: s. 495–576.
- Korhonen, K.T., Heikkinen, J., Henttonen, H., Ihalainen, A., Pitkänen, J. & Tuomainen, T. 2006. Suomen metsävarat 2004-2005. *Metsätieteen aikakauskirja* 1B/2006: 183–221.
- Kruys, N. & Jonsson, B. G. 1999. Fine woody debris is important for species richness on logs in managed boreal spruce forests of northern Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 1295–1299.
- Kruys, N., Fries, C., Jonsson, B. G., Lämås, T. & Ståhl, G. 1999. Wood-inhabiting cryptogams on dead Norway spruce (*Picea abies*) trees in managed Swedish boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 178–186.
- Kubin, E. 1998. Leaching of nitrate nitrogen into the groundwater after clearfelling and site preparation. *Boreal Environment Research* 3:1–8.

- Kuusinen, M. 2006. Yksityismetsien luonnonhoidon laadun seurannan tulokset 1996–2005. Julkaisussa: Horne, P., Koskela, T., Kuusinen, M., Otsamo, A. & Syrjänen, K. (toim.). *Metson jäljillä. Etelä-Suomen metsien monimuotoisuusohjelman tutkimusraportti*, s. 229–234. MMM, YM, Metla ja SYKE.
- Kvasnes, M. A. J. & Storaas, T. 2007. Effects of harvesting regime on food availability and cover from predators in capercaillie (*Tetrao urogallus*) brood habitats. *Scandinavian Journal of Forest Research* 22: 241–247.
- Kytö, M. & Korhonen, K. 2001. Energiapuun korjuu ja metsätuhot. Julkaisussa: Nurmi, J. & Kokko, A. (toim.): *Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 816*: 59–65.
- Kärhä, K. 2007. Supply chains and machinery in the production of forest chips in Finland. Julkaisussa: *Bioenergy 2007, 3rd International Bioenergy Conference and Exhibition*: 367–374.
- Kärhä, K., Laitila, J. ja Jylhä, P. 2007. Aines- ja energiapuun integroitu hankinta. Julkaisussa: *Kehittyvä puuhuolto 2007. Seminaari metsäammattilaisille 14. –15.2.2007*, Jyväskylä, sivut 67–74. Toimittanut Kariniemi, A.
- Lahdenmäki, K., Sippola, H. & Huhtala, M.J. 2007. Metsäliiton ja UPM metsän Seinäjoen piirin johtohenkilöiden haastattelut marraskuussa 2007.
- Laitila, J., Ala-Fossi, A., Vartiamaäki, T., Ranta, T. ja Asikainen, A. 2007. Kantojen noston ja metsäkuljetuksen tuottavuus. *Metlan työraportteja* 46. 27 s.
- Laitila, J., Asikainen, A., Sikanen, L., Korhonen, K.T. ja Nuutinen, Y. 2004. Pienpuuhakkeen tuotannon kustannustekijät ja toimituslogistiikka. *Metlan työraportteja* 3. 57 s.
- Laitila, J., Heikkilä, J., Tantt, V., Lindblad, J., Sirén, M. ja Asikainen, A. 2005. Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät. Julkaisussa: Alakangas, E. (toim.). *Puupolttoaineiden pientuotannon ja -käytön panostusalue. Vuosikatsaus 2005. Teknologia katsaus* 185: 8–16.
- Lauhanen, R. & Laurila, J. 2007. Bioenergian tuotannon haasteet ja tutkimustarpeet. *Metlan työraportteja* 42. 58 s. Internet-julkaisu. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp042.htm>
- Laurén, A. & Palviainen, M. 2007. Päätehakkuu ja orgaanisen aineksen hajotus. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2007: 283–286.
- Leiviskä, V., Ahonen, A. ja Kiukaanniemi, E. 1993. Pohjois-Suomen energiapuuvarat. Oulun yliopisto, Pohjois-Suomen tutkimuslaitos. Tiedonantoja 1993:95. 31 s.
- Lenhard, R.J. 1986. Changes in void distribution and volume during compaction of a forest soil. *Soil Science Society of America Journal* 50(2):462–464.
- Levula, T., Saarsalmi, A., Rantavaara, A. 2000. Effects of ash fertilization and prescribed burning on macronutrient, heavy metal, sulphur and ¹³⁷Cs concentrations in lingonberries (*Vaccinium vitis-idaea*). *Forest Ecology and Management* 126:269–277.
- Lindahl BO, Taylor AFS & Finlay RD. 2002. Defining nutritional constraints on carbon cycling in boreal forests - towards a less "phytcentric" perspective. *Plant and Soil* 242:123–135.
- Lindroos, A.-J., Derome, J., Derome, K. & Lindgren, M. 2006. Trends in sulphate deposition on the forests and forest floor and defoliation degree in 16 intensively studied forest stands in Finland during 1996–2003. *Boreal Environment Research* 11(6):451–461.
- Liski, J., Lehtonen, A., Palosuo, T., Peltoniemi, M., Eggers, T., Muukkonen, P., Mäkipää, R. 2006. Carbon accumulation in Finland's forests 1922–2004 - an estimate obtained by combination of forest inventory data with modelling of biomass, litter and soil. *Ann. For. Sci.* 63: 687–697.
- Lundgren, B. 1982. Bacteria in a pine forest soil as affected by clear-cutting. *Soil Biology and Biochemistry* 14: 537–542.
- Lundkvist, H. 1983. Effects of clear-cutting on the encytracheids in a Scots pine forest soil of central Sweden. *Journal of Applied Ecology* 20: 873–885.

- Lundkvist, H. 1996. Ekologiska effekter av skogsbränsleuttag och askåterföring. Konferens på Kungliga Skogs och Lantbruksakademien den 5 juni 1996. Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens tidskrift 13: 61–68.
- Lundkvist, H., Olsson, B. A., Bengtsson, J., Rolff, C. & Ågren, G. 1991. Effekter av ökat biomassa-uttag på markens långsiktiga produktionsförmåga. STEV-projekt 146.313–1. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Ekologi och Miljövård, Uppsala. 72 s.
- Lundmark, J.-E. 1983. Produktionsekologiska effekter på olika ståndortstyper vid helträdsutnyttjande, – prognos baserad på ”biologisk grundsyn”. Skogsfakta, Supplement 1/1983: 24–31.
- Mahmood, S., Finlay, R. D. & Erland, S. 1999. Effects of repeated harvesting of forest residues on the ectomycorrhizal community in a Swedish spruce forest. *New Phytologist* 142: 577–585.
- Malinen, J. ja Pesonen, M. 1996. Etelä-Suomen energiapuutarat. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 610. 33 s.
- Matero, J. 2002. Economic analyses of diffuse load abatement in Finnish Forestry. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 138. 36 s.
- McKeough, P. & Kurkela, E. 2006. Co-production of biofuels – current Finnish Focus. Forest-Based Sector Technology Platform. VTT. Esitelmäkavot 23.11.2006. <http://www.forestplatform.org/index.php?mid=163>.
- Metsien suojelun tarve Etelä-Suomessa ja Pohjanmaalla. 2000. Etelä-Suomen ja Pohjanmaan metsien suojelun tarve -työryhmän mietintö. Suomen ympäristö 437, 284 s.
- Metsäenergian tuotannon, korjuun ja käytön kustannustehokkuus sekä tukijärjestelmien vaikuttavuus päästökaupan olosuhteissa. 2006. Maa- ja metsätalousministeriön tilaama selvitys. Pöyry Forest Industry Consulting Oy
- Metsätilastollinen vuosikirja 2006. SVT Maa-, metsä- ja kalatalous 2006. 438 s.
- Mielikäinen, K., Hirvelä, H., Härkönen, K. ja Malinen J. 1995. Energiapuu osana metsänkasvatusta Keski-Pohjanmaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 556. 56 s.
- Mikola, P. 1966. The value of alder in adding nitrogen in forest soils. Final report of research conducted under grant authorized by US public law 480. Helsinki 91 s.
- Miljöeffekter av skogsbränsleuttag och askåterföring i Sverige. En syntes av Energimyndighetens forskningsprogram 1997 till 2004. Energimyndigheten Rapport ER 2006:44. 211 s.
- Miljökonsekvenser av stubbskörd - en sammanställning av kunskap och kunskapsbehov. Environmental aspects on stump-harvest - compilation of knowledge and knowledge gaps. Energimyndigheten Rapport ER 2007:40. 154 s.
- Minkkinen, K. 1999. Effect of forestry drainage on the carbon balance and radiative forcing of peatlands in Finland. Väitöskirja, Helsingin yliopisto, Metsäekologian laitos, 42 s., ISBN 952-91-1547-4
- Minkkinen, K., Laine, J., Shurpali, N., Mäkiranta, P., Alm, J. and Penttilä, T. 2007a Heterotrophic soil respiration in forestry-drained peatlands. *Boreal Environment Research* 12:115–126.
- Minkkinen, K., Penttilä, T. and Laine, J. 2007b. Tree stand volume as a scalar for methane fluxes in forestry-drained peatlands in Finland. *Boreal Environment Research* 12: 127–132.
- Moilanen, M. & Issakainen, J. 2003. Puu- ja turvetuhkien vaikutus maaperään, metsäkasvillisuuden alkuaine-pitoisuuksiin ja puuston kasvuun. Metsätehon raportti 162:91 s.
- Moilanen, M. 2005. Suometsien lannoitus. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947:134–166.
- Moilanen, M., Fritze, H., Nieminen, M., Piirainen, S., Issakainen & J., Piispanen, J. 2006. Does wood ash application increase heavy metal accumulation in forest berries and mushrooms? *Forest Ecology and Management* 226:153–160.
- Monto, T. & Ranttila, S. 2005. Soinin ja Lehtimäen kuntien vapaa-ajan asukkaiden polttopuun ja talonmiespalveluiden ostohalukkuus vuonna 2004. Opinnäytetyö, Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Maa- ja metsätalouden yksikkö. 58 s + 6 liitettä.

- Mutka, K. 2007. Peat to liquids. Teoksessa: Bioenergy2007. 3rd International Bioenergy Conference and Exhibition. From 3rd to 6th of September 2007 Jyväskylä, Finland. ss. 645-647.
- Müller, M.M., Heinonen, J. & Korhonen, K. 2007. Occurrence of *Heterobasidion basidiocarps* on cull pieces of Norway spruce left on cutting areas and in mature spruce stands. *Forest Pathology* 37: 374–386.
- Mäkinen, T., Soimakallio, S., Paappanen, T., Pahkala, K. & Mikkola, H. 2006. Liikenteen biopolttoainien ja peltoenergian kasvuhuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit. VTT tiedotteita 2357. 134 s. + liitteet 19 s.
- Mälkönen, E., Kukkola, M. & Finér, L. 2001. Energiapuun korjuu ja metsämaan ravinnetase. Julkaisussa: Nurmi, J. & Kokko, A. (toim.). Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 816:31–52.
- Nikkola, A. & Solmio, H. 2004. Lämpöyrittäjätoiminta vuonna 2003. Heating entrepreneur activity in 2003. *Työtehoseuran metsätiedote* 9 (679): 1–4.
- Nittérus, K., Gunnarsson, B. & Axelsson, E. 2004. Insects reared from logging residues on clear-cuts. *Entomologica Fennica* 15: 53–61.
- Nordén, B., Götmark, F., Tönnerberg, M., Ryberg, M. 2004a. Dead wood in semi-natural temperate broadleaved woodland: contribution of coarse and fine dead wood, attached dead wood and stumps. *Forest Ecology and Management* 194: 235–248.
- Nordén, B., Ryberg, M., Götmark, F. & Olausson, B. 2004b. Dead wood in semi-natural temperate broadleaved woodland: contribution of coarse and fine dead wood, attached dead wood and stumps. *Forest Ecology and Management* 194: 235–248.
- Nordlander, G., Nordenhem, H. & Bylund, H. 1997. Oviposition patterns of the pine weevil *Hyllobius abietis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 85: 1–9.
- Nuutinen, T. & Hirvelä, H. 2006. Hakkuumahdollisuudet Suomessa valtakunnan metsien 10. Inventoinnin perusteella. *Metsätieteen aikakauskirja* 1B/2006; 223–237.
- Nuutinen, T., Salminen, O., Hirvelä, H. ja Räsänen, T. 2005. Yksityismetsien hakkuumahdollisuudet metsäverotuksen siirtymäkauden jälkeen. *Metsätehon Katsaus*. Nro 15. 4 s.
- Nykvist, N. & Rosén, K. 1985. Effect of clearfelling and slash removal on the acidity of northern coniferous soils. *Forest Ecology and Management* 11:157–169.
- O’Connell A.M., Growe T.S., Mendham D.S. ja Rance S.J. 2004. Impact of harvest residue management on soil nitrogen dynamics in *Eucalyptus globulus* plantations in south western Australia. *Soil Biology and Biochemistry* 36:39–48.
- Olsson B.A., Staaf H., Lundkvist H., Bengtson J. ja Rosen K. 1996b. Carbon and nitrogen in coniferous soils after clear-felling and harvests of different intensity. *Forest Ecology and Management* 82:19–32.
- Olsson, B. A. & Staaf, H. 1995. Influence of harvesting intensity of logging residues on ground vegetation in coniferous forest. *Journal of Applied Ecology* 32: 640–654.
- Olsson, B. A. 1996. Naringsekologiska effekter av helträdsutnyttjande. *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 135(13): 45–51.
- Olsson, B.A., Bengtsson, J. & Lundkvist, H. 1996a. Effects of different forest harvest intensities on the pools of exchangeable cations in coniferous forest soils. *Forest Ecology and Management* 84(1–3): 135–147.
- Palviainen, M. 2005. Logging residues and ground vegetation in nutrient dynamics of a clear-cut boreal forest. *Dissertationes Forestales* 12.
- Pasanen, K., Vesterlin, V., Keskimölä, A., Soimasuo, J. ja Tokola, T. 1997. Alueellisten energiapuuvarojen arviointimenetelmä. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/1997: s. 25–35.
- Peltoniemi, M., Palosuo, T., Monni, S. and Mäkipää, R. 2006. Factors affecting the uncertainty of sinks and stocks of carbon in Finnish forests soils and vegetation. *Forest Ecology and Management* 232(1–3): 75–85.

- Perkiömäki J. & Fritze H. 2002. Short and long-termed effects of wood ash on the boreal forest microbial community. *Soil Biology and Biochemistry* 34(9):1343–1353.
- Perkiömäki, J., Kiikkilä, O., Moilanen, M., Issakainen, J., Tervahauta, A. & Fritze, H. 2003. Cadmium-containing wood ash in a pine forest: effects on humus microflora and cadmium concentrations in mushrooms, berries and needles. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 2443–2451.
- Perrels, A. 2007. Economic implications of differences in member state regulations for the European Union emission trade system. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus. VATT-keskustelualoitteita 412. 24 s.
- Persson, T. & Wirén, A. 1995. Nitrogen mineralization and potential nitrification at different depths in acid forest soils. *Plant and Soil* 168-169:55–65.
- Piatek K.B. ja Lee Allen H. 1999. Nitrogen mineralization in a pine plantation fifteen years after harvesting and site preparation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:990–998.
- Piirainen, S. & Domisch, T. 2004. Tuhkalannoituksen vaikutus pohja- ja valumavesien laatuun ja ainehuuhtoumiin ojitetuilla soilla. *Metsätalon raportti* 168, 42 s.
- Pitkänen, A., Törmänen, K., Kouki, J., Järvinen, E. & Viiri, H. 2005. Effects of green tree retention, prescribed burning and soil treatment on pine weevil (*Hylobius abietis* and *Hylobius pinastri*) damage to planted Scots pine seedlings. *Agricultural and Forest Entomology*, 7: 319–331.
- Pouta, E. & Sievänen, T. 2001. Ulkoilutilastot. Teoksessa Sievänen, T. Luonnon virkistyskäyttö 2000. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 802. s. 207–335.
- Rabinowitsch-Jokinen, R. 2007. Immediate effects of logging, mounding and stump harvesting on coarse woody debris and epixylic species in managed Norway spruce stands in southern Finland. Pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos, 84 s.
- Raitila, J. 2006. Pirkanmaan puunenergiaselvitys. Pirkanmaan metsäkeskus.
- Ranius, T. 2004. Modeling dead wood in Fennoscandian old-growth forest dominated by Norway spruce. *Canadian Journal of Forest Research* 34: 1025–1034.
- Ranta, T. 2002. Logging residues from regeneration fellings for biofuel production - a GIS-based availability and supply cost analysis. Väitöskirja, Acta Universitatis Lappeenrantaensis 128, Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 180 s.
- Rassi, P., Alanen, A., Kanerva, T. & Mannerkoski, I. (toim.) 2001. Suomen lajien uhanalaisuus 2000. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus, Helsinki, 432 s.
- Reinikainen, A., Mäkipää, R., Vanha-Majamaa, I. & Hotanen, J. P. 2000. Kasvit muuttuvassa metsäluonnossa. Tammi, Helsinki, 384 s.
- Renvall, P. 1995. Community structure and dynamics of wood-rotting fungi on decomposing conifer trunks in northern Finland. *Karstenia* 35: 1–51.
- Report of the Conference of the Parties on its seventh session, held at Marrakesh from 29 October to 10 November 2001. 2002. Part Two: Action taken by the Conference of the Parties, Decision 11/CP.7 Land use, land-use change and forestry. United Nations Framework Convention on Climate Change, FCCC/CP/2001/13/Add.1.
- Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol on its first session, held at Montreal from 28 November to 10 December 2005. 2006. Part Two: Action taken by the Conference of the Parties serving as the Meeting of the Parties to the Kyoto Protocol, Decision 16/CMP.1 Land use, land-use change and forestry. United Nations Framework Convention on Climate Change, FCCC/KP/CMP/2005/8/Add.3.
- Rosén, K. 1991. Chemical weathering under field conditions. Rapport i skogsekologi och skoglig marklära 63, 185 pp., Reports from a Nordic Seminar, 27–28 September 1990, Wik, Uppsala, Sweden.
- Rosenberg, O. & Jacobsson, S. 2004. Effects of repeated slash removal in thinned stands on soil chemistry and understorey vegetation. *Silva Fennica* 38: 133–142.

- Rudolphi, J. & Gustafsson, L. 2005. Effects of forest-fuel harvesting on the amount of deadwood on clear-cuts. *Scandinavian Journal of Forest Research* 20: 235–242.
- Saarinen, V.-M. & Harstela, P. 2004. Hakkuutähteiden ja kantojen korjuun vaikutus maanmuokkaukseen ja metsänviljelyyn. Effect of slash and stump removal on soil preparation and planting. Julkaisussa: Alakangas, E. & Holviala, N. (toim.). *Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2003. Puuenergian teknologiaohjelman vuosiseminaari, Jyväskylä, 17.–18.3.2004. VTT Symposium 231: 275–288.*
- Saarinen, V.-M. 2006a. The effects of slash and stump removal on productivity and quality of forest regeneration operations—preliminary results. *Biomass and Bioenergy, Volume 30, 4:349–356.*
- Saarinen, V.-M. 2006b. Kantojen korjuu ja maanmuokkaus -tapaustutkimus haukilahdessa. *Metsänhoito ja bioenergia -tilaisuus. Moniste 5 s. 17.11.2006. Tikkakoski.*
- Saaristo, L. & Lehesvirta, T. 2004. Luonnonhoidon ekologiset perustelut. *Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, Helsinki, 31 s.*
- Saarsalmi, A., Derome, J. and Levula, T. 2005. Effect of wood ash fertilization on stand growth, soil water and needle chemistry, and berry yields of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) in a Scots pine stand in Finland. *Metsanduslikud uurimused/Forestry Studies* 42:13–33.
- Saarsalmi, A., Kukkola, M., Moilanen, M. and Arola, M. 2006. Long-term effects of ash and N fertilization on stand growth, tree nutrient status and soil chemistry in a Scots pine stand. *Forest Ecology and Management* 235:116–128.
- Saarsalmi, A., Mälkönen, E. and Kukkola, M. 2004. Effects of wood ash fertilization on soil chemical properties and stand nutrient status and growth of some coniferous stands in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19:217–233.
- Saarsalmi, A., Mälkönen, E. and Piirainen, S. 2001. Effects of wood ash fertilization on forest soil chemical properties. *Silva Fennica* 35:355–368.
- Saksa, T. & Teittinen, A. 1996. Metsähakkeen hankintakustannukset ja aluetaloudelliset vaikutukset. Helsingin yliopiston Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus, Mikkeli. *Julkaisuja* 47. 29 s.
- Saksa, T. 2001. Hakkuutähteen vaikutus metsän uudistamiseen. Teoksessa: Nurmi, J. & Kokko, A. (toim.) *Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 816:53–58.
- Saksa, T., Tervo, L. & Kautto, K. 2002. Hakkuutähde ja metsänuudistaminen. Hakkuutähteen korjuun vaikutukset metsänuudistamiseen tutkimushankkeen loppuraportti. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 851. 41 s.
- Schroeder, H. & Daniel, T.C. 1981. Progress in Predicting the Perceived Scenic Beauty of Forest Landscapes. *Forest Science* 27(1): 71–80.
- Selander, J. 1993. Survival model for *Pinus sylvestris* seedlings at risk from *Hylobius abietis*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8: 66–72.
- Sevola, Y. ja Suihkonen, V. 2007. Hakkuut ja poistuma metsäkeskuksittain 2006. *Metsätalotiedote* 857. 11 s.
- Sievänen, T. 1995. Reittiharrastaminen Suomessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 577. 75 s. + liitteet.
- Siitonen, J. 1998. Lahopuun merkitys metsäluonnon monimuotoisuudelle – kirjallisuuskatsaus. Julkaisussa: Annala, E. (toim.) *Monimuotoinen metsä. Metsäluonnon monimuotoisuuden tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 705, s. 131–161.
- Siitonen, J. 2000a. Energiapuun hankinta ja metsälajiston monimuotoisuus. Julkaisussa: Nurmi, J. & Kokko, A. (toim.). *Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 816, s. 66–74.
- Siitonen, J. 2001b. Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: Fennoscandian boreal forests as an example. *Ecological Bulletins* 49: 11–41.

- Siitonen, J. & Hanski, I. 2004. Metsälajiston ekologia ja monimuotoisuus. Julkaisussa: Kuuluvainen, T., Saaristo, L., Keto-Tokoi, P., Kostamo, J., Kuuluvainen, J., Kuusinen, M., Ollikainen, M. & Salpaki-vi-Salomaa, P. (toim.). Metsän kätköissä. Suomen metsäluonnon monimuotoisuus. s. 76–109. Edita, Helsinki.
- Siitonen, J. & Ollikainen, M. 2006. Talousmetsät. Julkaisussa: Horne, P., Koskela, T., Kuusinen, M., Ot-samo, A. & Syrjänen, K. (toim.). Metson jäljillä. Etelä-Suomen metsien monimuotoisuusohjelman tutkimusraportti, s. 53–85. MMM, YM, Metla ja SYKE.
- Siitonen, J., Martikainen, P., Punttila, P. & Rauh, J. 2000. Coarse woody debris and stand characteristics in mature managed and old-growth boreal mesic forests in southern Finland. *Forest Ecology and Management* 128: 211–225.
- Silvennoinen, H., Alho, J., Kolehmainen, O. & Pukkala, T. 2001. Prediction models of landscape prefer-ences at the forest stand level. *Landscape and Urban Planning* 56: 11–20.
- Sinclair, E., Lejon, B. & Albrektson, A. 1992. Plantöverlevnad och tillväxt efter heltradsutnyttjande - sarn-manställning av fältförsök. Vattenfall, Utvecling och Miljö, Bioenergi, Rapport 7. Vällingby. 129 s.
- Sirén, M., Heikkilä, J., Hynynen, J. & Sauvula, T. 2007. Energy wood thinning alternatives in manage-ment of Scots pine and Norway spruce stands. In: Savolainen, M. (ed.). *Bioenergy 2007*. 3rd International Bioenergy Conference and Exhibition from 3rd to 6th of September 2007, Jyväskylä, Finland. Proceedings. p. 215–221.
- Sohlenius, B. 1982. Short-term influence of clear-cutting on abundance of soil microfauna (Nematoda, Rotatoria, Tardigrada) in Swedish pine forest soil. *Journal of Applied Ecology* 21: 327–342.
- Sohlenius, B. 1996. Structure and composition of the nematode fauna in pine forest soil under the influ-ence of clear-cutting. – Effects of slash removal and field layer vegetation. *European Journal of Soil Biology* 32: 1–14.
- Solheim, H. 1994. Infeksjon av rotkjuke på granstubber til ulike årstider og effekten av ureabehandling. Seasonal infection of *Heterobasidion annosum* on stumps of Norway spruce and surface coating with urea. Rapport fra Skogforsk 3/94. 10 s.
- Solmio, H. 2006. Lämpöyrittämisen kannattavuus. *Teho* 4: 41–42.
- Staaf, H. & Olsson, B.A. 1991. Acidity in four coniferous forest soils after different harvesting regimes of logging slash. *Scandinavian Journal of Forest Research* 6(1): 19–29.
- Staaf, H. & Olsson, B.A. 1994. Effects of slash removal and stump harvesting on soil water chemistry in a clearcutting in SW Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9:305–310.
- Startsev, A.D. & McNabb, D.H. 2000. Effects of skidding on forest soil infiltration in west-central Alberta. *Canadian Journal of Soil Science* 80(4): 617–624.
- Stenlid, J. 1987. Controlling and predicting the spread of *Heterobasidion annosum* from infected stumps and trees of *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2: 187–198.
- Strandström, M. 2007. Kannonnoston vaikutus uudistusalan vesakoitumiseen. Metsänuudistaminen ja bioenergian korjuu. Pohjoismaisen metsätalouden siemen- ja taimineuvoston (NSFP) teemapäivä. Moniste 6 s.
- Swedjemark, G. & Stenlid, J. 1993. Population dynamics of the root rot fungus *Heterobasidion annosum* following thinning of *Picea abies*. *Oikos* 66: 247–254.
- von Sydow, F. 1997. Abundance of pine weevils (*Hylobius abietis*) and damage to conifer seedlings in relation to silvicultural practices. *Scandinavian Journal of Forest Research* 12: 157–167.
- Tamminen, P. & Saarsalmi, A. 2004. Viljavien maiden nuorten kuusikoiden neulasten booripitoisuus Etelä-Suomessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2004:271-283.
- Tamminen, P. 1998. Maaperätekijät. Teoksessa: Mälkönen, E. (toim.). *Ympäristömuutos ja metsien kunto*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedoantoja 691:64-75.

- Tilles, D.A., Sjödin, K., Nordlander, G. & Eidmann, H.H. 1986. Synergism between ethanol and conifer host volatiles as attractants for the pine weevil, *Hylobius abietis* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Economical Entomology* 79: 970–973.
- Timonen, S. & Pennanen, T. 2007. Sienet, metsien avohakkuut ja kannonnosto. *Sienilehti* 59(2): 54–58.
- Tomppo, E., Henttonen, H. ja Tuomainen, T. 2001. Valtakunnan metsien inventoinnin menetelmä ja tulokset metsäkeskuksittain Pohjois-Suomessa 1992–94 sekä tulokset Etelä-Suomessa 1986–92 ja koko maassa 1986–94. *Metsätieteen aikakauskirja* 1B/2001: s. 99–248.
- Tomppo, E., Katila, M., Moilanen, J., Mäkelä, H. ja Peräsaari, J. 1998. Kunnittaiset metsävaratiedot 1990–94. *Metsätieteen aikakauskirja - Folia Forestalia* 4B/1998. s. 619–839.
- Tomppo, E., Tuomainen, T., Alm, J., Ilvesniemi, H., Kareinen, T., Laine, J., Penttilä, T. ja Sievänen, R. 2006. Arvio Kioton pöytäkirjan artiklan 3.3 mukaisten toimenpiteiden (metsittäminen, uudelleen metsittäminen ja metsien hävittäminen) määrällisistä vaikutuksista Suomelle vuosina 2008-2012. Asiantuntijaselvitys maa- ja metsätalousministeriölle, Metsäntutkimuslaitos, 26.10. 2006. [Verkkodokumentti] Maa- ja metsätalousministeriö. Saatavissa: <http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/ymparisto/ilmastopolitiikka/ilmastopolitiikka.html> [Viitattu 16.4.2007]
- Törmä, H. 2006. Suullinen tieto Helsingin yliopiston Ruralia-Instituutin REGFIN-mallista Ähtärin Tuomarniemellä 20.11.2006.
- Vasiliauskas, R., Lygis, V., Larsson, K-H. & Stenlid, J. 2005. Airborne fungal colonisation of coarse wood debris in North Temperate *Picea abies* forest: impact of season and local spatial scale. *Mycological Research* 109: 487–496.
- Vatanen, E. 2001. Puunkorjuun ja puunkuljetuksen paikallistaloudelliset vaikutukset Juvan, Keuruun ja Pielisen Karjalan seutukunnissa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 825. 73 s.
- Verta, M., Mannio, J., Iivonen, P., Hirvi, J.-P., Järvinen, O. & Piepponen, S. 1990. Trace metals in Finnish headwater lakes - effects of acidification and airborne load. Teoksessa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.). *Acidification in Finland*. Springer-Verlag, Berlin, ss. 883-908.
- Villa, A. 2007. Fuel switching, energy saving and carbon trading – three ways to control carbon dioxide emissions in the Finnish forest industry. University of Joensuu, Faculty of Forestry. *Dissertations* 35. 87 s. + 3 liitettä.
- Vollbrecht, G., Gemmel, P. & Pettersson, N. 1995. The effect of pre-commercial thinning on the incidence of *Heterobasidion annosum* in planted *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 10: 37–41.
- Vuorenmaa, J. 2007 Recovery responses of acidified Finnish lakes under declining acid deposition. Yhteenveto: Pienentyneen laskeuman aiheuttamat toipumisprosessit Suomen happamoituneissa järvissä. *Monographs of the Boreal Environmental Research* 30, 2007.
- Väkevä, J. 2007. Puuta on, mutta miten on työvoiman, koneiden ja tiestön laita. Esitelmä. Metsäpäivien seminaari 20.3.2007.
- de Wit H., Palosuo, T., Hysten, G. and Liski, J. 2006. A carbon budget of forest biomass and soils in south-east Norway calculated using a widely applicable method. *Forest Ecology and Management* 225 (1-3): 15–26.
- Yde-Andersen, A. 1970. *Fomes annosus* in conifer stands of first and second rotation. Julkaisussa: Hodges, C.S., Rishbeth, J. & Yde-Andersen, A. (toim.): *Proceedings of the 3rd IUFRO Conference on Fomes annosus*. Denmark, July-August 1968. USDA, Washington DC. s. 137–148.
- Ylitalo, E. 2001. Puupolttoaineen käyttö energiantuotannossa vuonna 2000. *Metsätilastotiedote* 574. 5 s.
- Ylitalo, E. 2002. Puupolttoaineen käyttö energiantuotannossa vuonna 2001. *Metsätilastotiedote* 620. 5 s.
- Ylitalo, E. 2003. Puupolttoaineen käyttö energiantuotannossa vuonna 2002. *Metsätilastotiedote* 670. 5 s.
- Ylitalo, E. 2004. Puupolttoaineiden käyttö energiantuotannossa vuonna 2003. *Metsätilastotiedote* 719. 7 s.

- Ylitalo, E. 2005. Puupolttoaineiden käyttö energiantuotannossa vuonna 2004. Metsätilastotiedote 770. 7 s.
- Ylitalo, E. 2006. Puupolttoaineiden käyttö energiantuotannossa vuonna 2005. Metsätilastotiedote 820. 7 s.
- Ylitalo, E. 2007a. Puun energiakäyttö 2006. Metsätilastotiedote 867. 9 s.
- Ylitalo, E. 2007b. Metsähakkeen käyttö kasvaa hidastuen. *Bioenergia* 2/2007, s. 12–13.
- Åström, M., Dynesius, M., Hylander, K. & Nilsson, C. 2005. Effects of slash harvest on bryophytes and vascular plants in southern boreal forest clear-cuts. *Journal of Applied Ecology* 42: 1194–1202.
- Äijälä, O. 2007. Harvennushakkuiden ja energiapuuharvennusten korjuujäljen tarkastusten tulokset 2006. Raportti 26 s. Tapio 31.03.2007.
- Äijälä, O., Fredriksson, T., Kuusinen, M. & Poikela, A. 2004. Koneellisen energiapuun korjuun laadunseurannan kehittämissuunnitelman (KELK) loppuraportti. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Moniste. 41 s.
- Örlander, G. & Nilsson, U. 1999. Effect of reforestation methods on pine weevil (*Hylobius abietis*) damage and seedling survival. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 341–354.
- Örlander, G., Nilsson, U. & Nordlander, G. 1997. Pine weevil abundance on clear-cuttings of different ages: A 6-year study using pitfall traps. *Scandinavian Journal of Forest Research* 12: 225–240.