

Pro gradu -tutkielma

**Synteesi metsäbioenergian korjuun ja varastoinnin
luontoympäristövaikutuksista Keski-Suomessa**

Jonna Heinänen



Jyväskylän yliopisto

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Ympäristötiede ja -teknologia

20.5.2013

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Ympäristötiede ja -teknologia

Heinänen Jonna: Synteesi metsäbioenergian korjuun ja varastoinnin luontoympäristövaikutuksista Keski-Suomessa

Pro gradu -tutkielma: 43 s.

Työn ohjaajat: Tkt Margareta Wihersaari, FT Elisa Vallius

Tarkastajat:

Toukokuu 2013

Hakusanat: Bioenergia, hakkuutähde, kanto, vesistö, eliöstö, maaperä

TIIVISTELMÄ

Metsäbioenergian käyttöä tullaan lisäämään Suomessa ja Keski-Suomessa runsaasti vuoteen 2020 mennessä. Taustalla ovat EU:n, Suomen ja Keski-Suomen maakunnan lisäämistavoitteet uusiutuvalla energialle. Keski-Suomessa uusiutuvan energian tavoite kohdistuu erityisesti päätehakuilta korjattavien hakkuutähteiden ja kantojen hyödyntämiseen energiantuotannossa.

Pro gradu-tutkielmassa tehdään synteesi olemassa olevasta aineistosta metsäbioenergian korjuun ja varastoinnin luontoympäristövaikutuksista liittyen Keski-Suomeen. Aineistoa kootaan vesistöön, maaperään ja eliöstöön sekä välillisesti ilmastoon liittyen. Valikoidun aineiston tuloksia verrataan Keski-Suomen maakunnan metsäbioenergialle asetettuihin tavoitteisiin.

Mikäli Keski-Suomessa saavutetaan metsäbioenergian korjuutavoitteet, hakkuutähteiden ja kokopuun korjuulla saattaa sillä olla heikentävä vaikutus maaperän ravinnetaseisiin sekä puuston kasvuun. Kantojen korjuu aiheuttaa avohakkuuta laajempia fysikaalisia vaikutuksia maaperään, minkä seurauksena ravinteiden huuhtoutumisen ja eroosion riski kasvaa. Järeä lahoppuu on merkittävä resurssi monelle eliölle ja sen poistuminen kantojen korjuun yhteydessä saattaa aiheuttaa muutoksia luontoympäristössä. Kasvava kantojen korjuu voi johtaa metsien monimuotoisuuden heikkenemiseen. Metsäbioenergia vaikuttaa ilmastoon sekä kasvihuonekaasupäästöjen, että metsien hiilitaseen vähenemisen kautta. Enemmän lisätietoa tarvitaan erityisesti metsäbioenergian korjuun vesistövaikutuksista sekä kantojen korjuun vaikutuksista luontoympäristöön.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Science
Department of Biological and Environmental Science
Environmental Science and Technology

Heinänen Jonna: A syntheses of environmental impacts on nature from forest
energy harvesting and storage in Central Finland
Master thesis: 43p.
Supervisors: PhD Margareta Wihersaari, PhD Elisa Vallius
Inspectors:
May 2013

Key words: Bioenergy, forest residue, stump, soil, water system, population

ABSTRACT

International, national and regional targets for renewable energy use will increase the amount of forest residues and other wood energy sources harvested from forest due to year 2020 in Central Finland. Majority of collected forest residues will be from harvest residues and stumps from clear-cut's.

In this thesis a synthesis is made from research data related to the environmental effects of harvesting and storage of forest biomasses to soil, water systems, population and climate in Central Finland. The results of the selected research data are compared to Central Finland's targets for forest energy.

If the collection of harvest residues and stumps will be increasing in Central Finland, it can effect decreasingly on soils nutrient balance and on tree growth. The physical changes on the ground, especially in stump harvesting, can cause nutrient flow to the water systems and erosion as well as change the environmental conditions. The reduction of decayed wood due to stump harvesting can effect on many populations in forest and may weaken diversity. The climatic impacts of forest energy production are caused by greenhouse gases and changes in the forests carbon balance. More information is needed especially about effects on forest harvest residue collection and storage on waters systems and the effects of stump harvesting to the environment.

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	1
2	AINEISTO JA MENETELMÄT	2
2.1	Aineisto.....	2
2.2	Menetelmä	3
2.2.1	Aineiston hankkiminen	3
2.2.2	Aineiston arviointi ja analyysi	4
3	METSÄBIOENERGIA.....	4
3.1	Metsäbioenergian tuotanto	4
3.1.1	Energiapuun korjuu harvennusemetsistä	5
3.1.2	Hakkuutähteen ja kantojen korjuu uudishakkuualoilta	6
3.1.3	Metsäbioenergian haketusmenetelmät ja kuljetus.....	7
3.1.4	Hakkuutähteen ja kantojen varastointi	9
4	METSÄBIOENERGIAN KÄYTTÖ.....	10
4.1	Metsäbioenergian käyttö Suomessa	10
4.2	Metsäbioenergian käyttö Keski-Suomessa.....	11
5	KESKI- SUOMEN METSÄT.....	12
5.1	Kasvupaikat ja metsätyypit.....	13
5.1.1	Metsätyypit kangasmailla.....	13
5.1.2	Suo- ja turvemaat	14
5.1.3	Järvet ja vesistöt	15
5.2	Metsien monimuotoisuus.....	15
5.3	Metsiköiden kehitysluokat ja hakkuumäärät	15
6	SYNTEESI METSÄBIOENERGIAN KORJUUN JA VARASTOINNIN LUONTOYMPÄRISTÖVAIKUTUKSISTA KESKI-SUOMESSA	17
6.1	Metsäbioenergian korjuun ja varastoinnin vaikutukset ilmastoon	17
6.1.1	Metsäbioenergian tuotantoketjujen päästöt.....	20
	Suomen oloissa energiapuuta pystytään korjaamaan tehokkaasti ilman että korjuun.....	20
6.1.2	Metsänhoidollisten toimien vaikutus aines- ja energiapuun tuotantoon sekä metsien hiilinieluun Keski-Suomessa.....	20

6.2	Metsäbioenergian korjuun ja varastoinnin vaikutukset vesistöön.....	21
6.2.1	Hakkuutähteen ja kantojen korjuun ja varastoinnin vaikutukset pohjaveteen Keski-Suomessa	23
6.2.2	Hakkuutähteen korjuun ja varastoinnin vaikutukset maaveteen Keski- Suomessa	24
6.3	Metsäbioenergian korjuun ja varastoinnin vaikutukset maaperään.....	25
6.3.1	Hakkuutähteen korjuun ja varastoinnin vaikutus maaperän ravinteisiin ..	26
6.3.2	Hakkuutähteen korjuun ja varastoinnin vaikutus maaperään päätehakkuualoilla Keski-Suomessa	27
6.3.3	Kokopuun korjuun ja varastoinnin vaikutus maaperään	28
6.3.4	Kokopuun korjuun ja varastoinnin vaikutus maaperään Keski-Suomessa	28
6.3.5	Kantojen korjuun vaikutukset maaperään Keski-Suomessa	29
6.4	Metsäbioenergian korjuun ja varastoinnin vaikutus eliöstöön	29
6.4.1	Hakkuutähteen ja kantojen korjuun ja varastoinnin vaikutus lahopuusta riippuvaisiin eliöihin.....	30
6.4.2	Hakkuutähteen ja kantojen korjuun ja vaikutus lahopuusta riippuvaisiin eliöihin Keski-Suomessa	31
6.4.3	Hakkuutähteen ja kantojen korjuun vaikutus lahopuun määrään ja laatuun Keski-Suomessa.....	32
6.4.4	Hakkuutähteen ja kantojen korjuun vaikutus maaperäeliöstöön.....	33
6.4.5	Kantojen korjuun vaikutus maaperäeliöihin Keski-Suomessa.....	34
6.4.6	Hakkuutähteen ja kantojen korjuun ja varastoinnin vaikutus kasvillisuuteen	34
6.4.7	Kantojen korjuun ja vaikutus kasvillisuuteen Keski-Suomessa.....	35
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	36
	KIITOKSET	40
	KIRJALLISUUS.....	40
	LIITTEET	41

MÄÄRITELMÄT

Lähteet: Alakangas 2000, Kivimaa ym. 2012

Bioenergianasto

Metsäbioenergia	Puuperäiset energialähteet kuten pienpuu, hakkuutähteet sekä kannot. Myös metsäteollisuuden sivutuotteista tuotettu energia lasketaan metsäbioenergiaksi.
Hakkuutähdehake	Valmistetaan runkopuun hakkuun yhteydessä syntyvästä metsään jäävästä puuaineksesta, kuten oksista, raivauspuusta ja hylkypölkyistä.
Metsätähdehake	Valmistetaan ainespuun korjuussa uudistushakkuissa tai nuorta metsää harvennettaessa tähteeksi jäävistä oksista, latvuksista ja hukkarunkopuusta. Puuaineksen kosteudesta riippuen viheraines on mukana tai puuttuu.
Rankahake	Valmistetaan karsitusta runkopuusta, yleensä metsään jäävästä runkohukkapuusta kuorineen. Rankapuu on karsittu ranka tai pölkkyy, joka ei täytä ainespuulle asetettuja vaatimuksia. Termiä käytetään ensisijaisesti pienikokoisesta puusta
Kokopuuhake	Puun koko maanpäällisestä biomassasta valmistettu (runkopuu, oksat, neulaset) hake. Kokopuuta on karsimaton runko tai siitä tehty puutavara.
Kantohake	Valmistetaan kannoista tai liekopuusta

LYHENTEET

Lähteet: Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2002

Metsätyyppejä

HyVT	Hypochoeris- Vaccinium-tyyppi (häränsilmä-puolukkatyyppi). Kuivahkojen kankaiden metsätyyppi.
MT	Myrtillus-tyyppi (mustikkatyyppi). Tuoreiden kankaiden tavallisin metsätyyppi.
OMT	Oxalis- Myrtillus-tyyppi (käenkaali-mustikkatyyppi). Lehtomaisten kankaiden metsätyyppi.
PIT	Pleurozium-tyyppi (seinäsammal-tyyppi). Tuoreiden kankaiden metsätyyppi
PyT	Pyrola-tyyppi (talvikkityyppi). Lehtomaisten kankaiden metsätyyppi.
VFrT	Vaccinium-Fragaria-tyyppi (puolukka-mansikkatyyppi). Kuivahkojen kankaiden metsätyyppi.
VRT	Vaccinium- Rubus-tyyppi (puolukka-lillukkatyyppi). Tuoreiden kankaiden metsätyyppi
VT	Vaccinium-tyyppi (puolukkatyyppi). Kuivahkojen kankaiden metsätyyppi.

1 JOHDANTO

Metsäbioenergian ja erityisesti metsästä kerättävien hakkuutähteiden ja energiapuun käyttöä tullaan lisäämään Suomessa ja Keski-Suomessa runsaasti vuoteen 2020 mennessä. Taustalla ovat sekä EU:n, Suomen ja Keski-Suomen maakunnan lisäämistavoitteet uusiutuvalla energialle.

Uusiutuvan energian osuus oli Suomessa vuonna 2011 loppukulutuksesta laskettuna noin 28 % (Suomen virallinen tilasto 2013). Suomen pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategian tavoitteena on nostaa uusiutuvan energian osuus vuoteen 2020 mennessä 38 %:iin Euroopan komission Suomelle esittämän velvoitteen mukaisesti. Strategian tavoitteen mukaan metsähakkeen käytön lisääminen energian tuotannossa ja raaka-aineena teollisuudessa nostetaan vuoden 2006 noin 3,6 miljoonasta kiintokuutiometristä runsaaseen 12 miljoonaan m³:een vuoteen 2020 mennessä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2008).

Keski- Suomen liiton ”Keski-Suomi ja ilmastonmuutos”- raportin (2011) mukaan maakunnan tavoitteena on nostaa uusiutuvan energian osuus vuoteen 2020 mennessä vastaamaan 60 % maakunnan energiankulutuksesta. Tavoitteena on myös, että vuonna 2020 maakunnassa ei enää käytetä ulkomailta tuotavia fossiilisia polttoaineita lukuun ottamatta osaa liikenteen käyttämästä energiasta. Maakunnan kokonaisenergiankulutuksesta uusiutuvien energialähteiden osuus oli vuonna 2010 noin 37 % (Keski-Suomen energiatoimisto 2012). Keski-Suomessa käytetään enemmän metsäenergiaa kuin Suomessa keskimäärin ja metsähakkeen käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa on kasvanut viime vuosina. Erityisesti kantojen osuus kerättävistä puubiomassoista on kasvanut. Vuonna 2011 Keski- Suomen metsäkeskuksen alueella käytettiin metsähaketta lämpö- ja voimalaitoksissa 896 000 m³. (Metsäntutkimuslaitos 2013.) Keski-Suomen metsäohjelman 2011 – 2015 käyttötavoite metsäbioenergialle on 1 200 000 m³ vuodessa. Lisäystavoite on siis 415 000 m³ vuodessa. Tavoite on linjassa Keski- Suomen ilmastostrategian kanssa. Tavoite edellyttää vähintään nykyisten uudishakkuiden määrää (Suomen Metsäkeskus 2011).

Keski-Suomen ilmastostrategian 2020 mukaan luonnon monimuotoisuudesta huolehtiminen ja ekosysteemipalveluiden turvaaminen ovat tärkeitä ilmastonmuutokseen sopeutumisen kannalta. Maakunnan metsiä tulee käyttää kestävästi niiden ollessa paikallisen uusiutuvan energian lähde sekä hiilinielu. Biomassan korjuumenetelmiä tulee kehittää siten, että metsän ravinnetasapaino ei vaarannu (Keski-Suomen liitto 2011).

Sekä metsäbioenergian korjuutavoitteen saavuttaminen että metsien monimuotoisuuden turvaaminen voi olla suuri haaste. Metsäbioenergian korjuun ja varastoinnin luontoympäristövaikutuksista ei ole paljon yhteen koottua tutkimustietoa. Tällainen työ on hyvin ajan-kohtainen, erityisesti Keski-Suomen maakunnassa, jossa puubioenergian käytölle on asetettu suuret tavoitteet vuoteen 2020 mennessä niin raaka- kuin jalostuspolttoaineena.

Pro Gradu- tutkielman tavoitteena on koota keskeinen metsäbioenergian luontoympäristövaikutuksia käsittelevä tutkimustieto synteetiksi ja verrata aineistoa Keski-Suomen metsäbioenergian käytölle asetettuihin tavoitteisiin. Pro Gradu- tutkielma toteutettiin tekemällä synteesi metsäbioenergian korjuun ja varastoinnin luontoympäristövaikutuksia Keski-Suomessa. Synteisiin valittiin Keski-Suomen metsäluontoon soveltuva aineisto jota verrattiin Keski-Suomen maakunnassa metsäbioenergian käytölle asetettuihin tavoitteisiin. Tutkielmassa tarkasteltiin vain erikseen metsästä energiakäyttöön korjattavia puubiomassoja. Tällaista raaka-ainetta ovat mm. alle ainespuukokoiset tai lahot rungon osat, oksat, latvukset ja kannot. Metsäbioenergiaa kerätään pääasiassa päätehakkuualoilta sekä harvennuskorjuusta ainespuun korjuun yhteydessä. Metsäbioenergian korjuun ja varastoinnin luontoympäristövaikutuksia arvioidaan siltä osin kuin ne kohdistuvat vesistöön, maaperään ja eliöstöön.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Aineisto

Kirjallisuuskatsauksen aineistona käytettiin kirjallisuutta, julkisyhteisöjen (ministeriöt, virastot, kunnat yms.) selvityksiä, tutkimuksia, raportteja, tieteellisiä artikkeleita sekä opinnäytetöitä. Tutkimuksessa olevaa aineistoa rajasi myös sen saatavuus. Maksulliset ja salaiset aineistot rajattiin kirjallisuuskatsauksen ulkopuolelle. Metsäbioenergiaan ja sen korjuuseen ja varastointiin liittyvää aineistoa haettiin sekä suomeksi että englanniksi, joten lähdemateriaalin kieli vaikuttaa aineiston valikoitumiseen. Maantieteellisesti aineisto rajattiin boreaalisen metsävyöhykkeen mukaan.

Lopputuloksena oli 159 referenssin tutkimusaineisto. Lopulliseen kirjallisuuskatsaukseen valikoitui tutkimusraportteja, opinnäytetöitä ja tieteellisiä artikkeleita yhteensä 25 kappaletta, joista 16 tutkimustulokset perustuvat Keski-Suomen alueella tehtyihin kokeisiin. Synteessissä käytetty kirjallisuus ja aineisto löytyvät liitetiedostoista 1 ja 2. Liite 1 on luet-

telo synteessissä käytetystä aineistosta metsäbioenergian korjuun ja varastoinnin luontoympäristövaikutuksista yleisellä tasolla. Liite 2 on luettelo synteessissä käytetyistä Keski-Suomen alueella toteutetuista tutkimuksista liittyen metsäbioenergian korjuun ja varastoinnin luontoympäristövaikutuksiin.

2.2 Menetelmä

Pro gradu- tutkielman metodina käytettiin integroivaa kirjallisuuskatsausta. Integroiva kirjallisuuskatsaus on yksi kuvailevan kirjallisuuskatsauksen muoto. Salmisen (2011) mukaan integroivan kirjallisuuskatsauksen avulla voidaan kuvata tutkittavaa ilmiötä mahdollisimman monipuolisesti ja se on hyvä tapa tuottaa uutta tietoa jo tutkitusta aiheesta. Integroiva kirjallisuuskatsaus sallii erilaisin metodisin lähtökohdin tehdyt tutkimukset analyysin pohjaksi. Integroivan kirjallisuuskatsauksen prosessi vastaa systemaattisen kirjallisuuskatsauksen vaiheita, mikä osaltaan tuki selvitystyön tulosten luotettavuuden saavuttamista.

Integroivan kirjallisuuskatsauksen vaiheet ovat (Salminen 2011):

1. tutkimusongelman asettelu
2. aineiston hankkiminen
3. aineiston arviointi
4. aineiston analyysi
5. aineiston tulkinta ja tulosten esittäminen (synteesi)

Integroivaan kirjallisuuskatsaukseen kuuluu oleellisesti kriittinen tarkastelu. Kriittisen arvioinnin avulla tärkein tutkimusmateriaali on mahdollista tiivistää katsauksen perustaksi (Salminen 2011).

2.2.1 Aineiston hankkiminen

Aineiston hakuun käytettiin sähköisiä tieteellisiä tietokantoja kuten Science Direct, Web of Science, ProQuest, sekä metsä- ja energia- alan tieteellisiä julkaisukanavia kuten Silva Fennica. Lisäksi aineistoa haettiin Suomen yliopistojen ja korkeakoulujen tietokannoista ja kirjastoista sekä Metsäntutkimuslaitoksen (METLA) ja Teknologian tutkimuskeskuksen VTT:n julkaisurekisteristä. Aineiston haku päättyi marraskuussa 2012.

Aineiston hankkiminen tietokannoista ja julkaisurekistereistä tapahtui käyttämällä hakusanoja bioenergy, biomass, forest energy. Tarkentavina hakusanoina käytettiin sanoja environment, forest, residue, climate, water system, soil, population.

2.2.2 Aineiston arviointi ja analyysi

Lähdeaineistoksi valikoituvat tutkimukset, jotka liittyivät boreaalisella metsävyöhykkeellä tapahtuvaan metsäbioenergian korjuuseen ja varastointiin. Luontoympäristövaikutuksista tarkastellaan metsässä tapahtuvan korjuun ja varastoinnin aiheuttamia vaikutuksia ilmastoon, vesistöön, maaperään ja eliöstöön. Aineistohaun jälkeen erilaista lähdeaineistoa oli yhteensä 159 kappaletta. Aineisto oli pääasiassa peräisin Pohjois-Amerikasta, Ruotsista ja Suomesta.

Lähdeaineistosta valikoitiin kirjallisuuskatsaukseen mahdollisimman uutta tutkimustietoa. Kirjallisuuskatsauksessa käytetty aineisto on vuosilta 2007- 2012. Luontoympäristövaikutusten arviointi ja tutkimus on hyvin paikka- ja olosuhderiippuvaista, minkä vuoksi kirjallisuuskatsaukseen valikoitui lopulta 25 kappaletta pääasiassa Suomessa tehtyjä tutkimuksia. Tästä aineistosta 16 tutkimusta on tehty Keski-Suomessa sijaitsevilla koealueilla.

3 METSÄBIOENERGIA

Metsäbioenergialla tarkoitetaan puuperäisiä energialähteitä. Näihin lukeutuvat metsästä suoraan energiantuotantoon käytettävä pienpuu, hakkuutähteet sekä kannot. Lisäksi metsäteollisuuden sivutuotteista tuotettu energia lasketaan metsäbioenergiaksi (Kivimaa ym. 2012). Metsähake on uudistushakkuualoilta korjattavaa oksa- ja latvusmassaa, kantoja sekä nuorten metsien harvennuksista saatavaa pienpuuhaketta (Maa- ja metsätalousministeriö 2010). Metsähake on yleisnimitys suoraan metsästä hankitusta raaka-aineesta tehdylle hake- tai murskemuotoon hienonnetulle tuotteelle (Vesisenaho 2003).

3.1 Metsäbioenergian tuotanto

Erilaisten metsäbioenergialähteiden käyttö on osin eriytynyt eri kokoluokkien laitoksiin. Pienpuuta käytetään pääosin pientaloissa ja pienen mittakaavan laitoksissa, suuremmissa laitoksissa käytetään hakkuutähteitä ja myös kantoja. Metsäteollisuuden sivutuotteet käytetään pääosin metsäteollisuuden omissa laitoksissa (Kivimaa ym. 2012).

Metsähakkeen tuotantoon ei ole yhtä oikeaa järjestelmää, sillä olosuhteet vaihtelevat suuresti. Pääosa metsäpolttoaineista on koottava pienistä yksityisten ihmisten omistamista metsistä. Lisäksi 90 % korjuukelpoisesta metsähakepotentiaalista on kytköksissä ainespuuleimikoihin. (Hakkila 2003) Metsähakkeen hankinnan suunnittelu ja toteutus onkin talou-

dellisesti kannattavinta integroida arvokkaamman ainespuun korjuuseen. Päätös hakkuutähteen talteenotosta tulee tehdä ennen ainespuun korjuun aloittamista, jotta hakkuukoneen työskentelytekniikka mukautetaan tähteen talteenottoon (Hakkila ym. 1998).

3.1.1 Energiapuun korjuu harvennusmetsistä

Energiapuuharvennus soveltuu harvennustavaksi niin hoidetuille kuin hoitamattomille nuorille kasvatusmetsille. Harvennuksen tavoitteena on keskittää puuston kasvu laadultaan ja kasvukyvyltään parhaisiin puihin. Harvennus parantaa puuston elinvoimaisuutta ja lisää sen vastustuskykyä erilaisia tuhoja vastaan (Äijälä ym. 2010). Kun poistettava puusto on pienikokoista, kuten esimerkiksi ensiharvennuksissa, hakkuualalle jää runsaasti metsäteollisuuden raaka-aineeksi soveltumatonta pienikokoista runkopuuta (Hakkila ym. 1998).

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion Hyvän metsänhoidon suositusten energiapuun korjuuseen ja kasvatukseen (Äijälä ym. 2010) mukaan voidaan energiapuun korjuussa käyttää erilaisia harvennusmenetelmiä, metsiköiden kasvupaikan ja ravinneisuuden perusteella. Menetelminä ovat esimerkiksi rankapuun korjuu, integroitu korjuu ja kokopuun korjuu. Rankapuun korjuussa kerätään vain karsittua energiapuun rankaa. Rankapuun korjuumenetelmä soveltuu ravinnetalouden ja muiden korjuun kestävyysnäkökohtien puolesta kaikille talousmetsien harvennuskohteille. Integroidussa korjuussa metsässä kerätään harvennuspuun lisäksi myös kuitupuuta. Integroitu korjuu sopii kaikille talousmetsien harvennuskohteille, mikäli energia- ja ainespuuositteet karsitaan yksin puin tai joukkokäsittelynä. Kokopuun korjuussa puut kerätään karsimattomina. Jos energiapuu korjataan osin tai kokonaan karsimattomana suositellaan noudatettavaksi kokopuun korjuun rajoitteita (Äijälä ym. 2010).

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion suositusten mukaan (Äijälä ym. 2010) hoitamattomilla kohteilla energiapuuharvennukset toteutetaan pääsääntöisesti alaharvennuksena. Alaharvennuksessa kasvamaan jätetään ensisijaisesti metsikön pisimpien, valta- ja lisävaltapuiden laadultaan parhaat puut, joilla on oksaisuutensa ja rungon laadun puolesta mahdollisuus kasvaa hyvälaatuisiksi tukkipuiksi. Hoidetuissa nuorissa männiköissä energiapuuharvennus voidaan toteuttaa myös laatuharvennuksena. Laatuharvennuksessa poistetaan oksikkaita tai muuten huonolaatuisia päävaltapuita. Muuten laatuharvennus toteutetaan samaan tapaan kuin alaharvennus. Kasvamaan jää hyvälaatuisia pää- ja lisävaltapuita. Ennakkoraivaus tehdään, mikäli se on välttämätöntä koneellisen korjuun kannalta. Se toteutetaan metsuriryönä raivaussahalla näkemäraivauksena, joka parantaa hakkuukoneen-

kuljettajan näkymää, mutta ei alenna merkittävästi energiapuukertymää. Näkemäraivaus parantaa korjuun laatua ja lisää tuottavuutta (Äijälä ym. 2010).

Harvennusemetsien vallitseva korjuumenetelmä on tällä hetkellä karsimattoman kokopuun korjuu. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että puu katkaistaan tyvestänsä joukkokäsittelyllä hakkuulaitteella, minkä jälkeen puu korjataan irtojakeena tienvarsivarastoon jatkokuljetusta varten (Fixteri Oy 2012). Joukkokäsittelyyn perustuvat energiakourat (esimerkiksi keräävä kaatokasauskoura) ovat nostaneet pienpuun korjuun tuottavuutta (Hämäläinen 2003). Nuorten metsien kunnostuskohteisiin sekä ensiharvennusemetsiköiden runkopuun korjuuseen on myös kehitetty paalainharvestereita (Fixteri Oy 2012). Kokopuiden hakkuu kunnostushakkuu- ja ensiharvennusemetsistä voidaan tehdä myös metsurin tekemänä siirteilykaatona, jolloin moottorisahassa käytetään irrotettavia kaatokahvoja. Kaatuvan puun liike-energia hyödynnetään kasauksessa siirtämällä puu haluttuun suuntaan (Gumse 2003). Kokopuun korjuuseen soveltuvat parhaiten mänty- ja lehtipuuvaltaiset metsät, jotka ovat viljavuustasoltaan vähintään kuivahkoja kankaita tai vastaavia turvemaita. Kokopuunkorjuussa suositellaan Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion mukaan jätettäväksi korjaimatta noin 30 % latvusmassasta ja pyrkiä jakamaan jätettävä latvusmassa mahdollisimman tasaisesti koko korjuualalle (Äijälä ym. 2010).

3.1.2 Hakkuutähteen ja kantojen korjuu uudishakkuualoilta

Uudishakkuualoilta jäävästä puuaineksestä energiapotentialtaan tärkein aines on elävistä ja kuolleista oksista koostuva latvusmassa sisältäen lehdet ja neulaset. Uudishakkuissa energiankäyttöön soveltuvaa runkopuuta syntyy huomattavasti vähemmän kun harvennusemetsäkohteilla poistettavan puuston ollessa järeämpää. Tosin uudishakkuualoilta jää merkittäviä määriä runkopuuta, joka ei täytä ainespuun laatuvaatimuksia (Hakkila ym. 1998). Lisäksi uudishakkuualoilta voidaan korjata kantoja.

Perinteisesti ainespuun päätehakkuussa rungon karsinta ja katkonta tapahtuu ajouran päällä. Hakkuukonetta siirrettäessä hakkuutähteet polkeutuvat pyörien alle muodostaen suoja- ja peitteen ajouralle. Ainespuun päätehakkuussa hakkuutähteen keräys ja varastointi voi tapahtua yksi- tai kaksipuoleisella menetelmällä. Yksipuoleisessa menetelmässä puun kaato ja katkonta tapahtuvat vain toiselle puolelle ajouraa, ainespuu jää kohtisuoraan tai sulkamaisesti ajouran varteen ja hakkuutähti kasautuu ajouran ja ainespuun väliin. Kaksipuoleisessa menetelmässä puita käsitellään molemmille puolille ajouraa. Näitä menetelmiä käytettäessä hakkuutähti on puhtaampaa ja helpommin koottavissa (Sauranen 2003). Hak-

kuutähdekasojen polkeutumista ajouraan vältetään, mikäli maan kantavuus sen sallii. Maan painumista välttääkseen puuaineksen kuljetus on ajoitettava huolellisesti ja leimikoiden pehmeät paikat tulee jättää rauhaan. Hakkuutähde kuormataan hakkuriin tai kuljetusperävaunuun hakkuutähdekouralla (Hakkila ym. 1998).

Kantoja nostetaan metsäenergiakäyttöön vain uudishakkuualoilta. Markkilan (2003) mukaan parhaita nostokohteita ovat rehevät kuusikot. Kuusen kannoissa on paljon puuta ja se on löyhästi maassa kiinni. Kannot nostetaan tela-alustaisella kaivurilla, joka on varustettu ns. kantoharalla. Nostolaitteen avulla kanto saadaan tehokkaasti ja puhtaana maasta ja samalla voidaan muokata alue metsänistutusta varten. Noston jälkeen kantojen annetaan kuivua palstalla. Kuivumisen jälkeen kannot ravistellaan ja kuljetetaan tienvarsivarastolle. Varastolla kannot puhdistuvat sateen ja varisemisen johdosta kevät- kesäkaudella ne myös kuivuvat. Kantojen korjuussa vältetään tarpeetonta pintamaan rikkomista ja sekoittamista, ravistellaan kannosta sen noston yhteydessä irtoava maa-aines takaisin kantokuoppaan ja vältetään jättämästä korjuualalle yli 30 cm syvyisiä kuoppia humuskerroksen alareunasta mitattuna. Syntyneitä kuoppia tasoitellaan tarvittaessa. Kantojen nostossa on pyritty yhdistämään metsäviljelyn maanmuokkaus ja tehokas kannonnosto. Jos noston yhteydessä ei synny istutusmätästä, se tehdään täydennyksenä (Markkila 2003). Erillismuokkaus voidaan tehdä myös kannonnostokoneella, johon on vaihdettu muokkaukseen tarkoitettu kauha. Muokkauksessa tavoitellaan kasvupaikan ja uudistusmenetelmän mukaan äestyksen, laikutuksen tai mätästyksen työnjälkeä (Äijälä ym. 2010).

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion Hyvän metsänhoidon suositusten mukaan (Äijälä ym. 2010) oksa- ja latvusmassan ja kantojen korjuukohteeksi soveltuvat kuivahkot kankaat ja niitä viljavammat kivennäismaat. Kuivia kankaita, karukkokankaita sekä vastaavia turvemaita ei suositella latvusmassan tai kantojen korjuukohteeksi, kuten ei myöskään kallioisia, lohkaraisia sekä runsaskivisiä kasvupaikkoja. Poikkeuksena ovat uudistusalueet, joissa esiintyy männynjuurikäpää, karukkokankaita lukuun ottamatta. Pohjavesialueilta suositellaan korjattavaksi ainoastaan latvusmassaa, ei kantoja. Mikäli korjataan vihreätä oksa- ja latvusmassaa, sen kokonaismäärästä suositellaan jätettäväksi korjaamatta noin 30 % jakautuen mahdollisimman tasaisesti koko korjuualalle (Äijälä ym. 2010).

3.1.3 Metsäbioenergian haketusmenetelmät ja kuljetus

Tienvarsi-/välivarastointihaketusjärjestelmässä metsäbiomassa kuljetetaan tien varteen noin 4-5 metriä korkeisiin kasoihin. Välivarastohakkurin avulla haketus tapahtuu tiellä tai

varastoalueella metsätähteen kuivattua. Välivarastohakkuri puhaltaa hakkeen suoraan vie-
ressä odottavaan perävaunuun tai konttiin. Tässä ketjussa voidaan käyttää myös hakkuriau-
toa, jossa haketus ja autokuljetus tapahtuvat samalla yksiköllä (Hakkila 2003). Tienvarsi-
haketusjärjestelmä oli vuonna 2011 yleisin pienpuuhakkeen ja hakkuutähdehakkeen tuo-
tantoketju (taulukko 1) (Strandström 2012).

Käyttöpaikka-/terminaalihaketusjärjestelmässä hakettamaton biomassa kaukokuljetetaan
käyttöpaikalle tai terminaaliin, jossa biomassa haketetaan. Terminaalista biomassa voidaan
kuljettaa irtorisuina, kokopuuna tai paaleina (Hakkila 2003). Käyttöpaikkahaketusjärjes-
telmä oli yleisin kantomurskeen tuotantoketju vuonna 2011 (taulukko 1) (Strandström
2012).

Palstahaketusjärjestelmässä palstahakkuri suorittaa sekä haketuksen että hakkeen kulje-
tuksen tien varteen. Palstahakkuri liikkuu ajouria myöten palstalla sekä päätehakkuu- että
harvennusleimikoissa tähdekasalta toiselle ja hakettaa tähteet suoraan säiliöönsä. Valmis
hake tyhjennetään tien varressa odottavalle vaihtolavalle tai palstalla odottavaan kuljetus-
traktoriin. Vaikka palstahakkuri on maastokelpoinen, se ei sovellu heikosti kantaville tai
muutoin vaikeakulkuisille paikoille, eikä pitkille, yli 300 metrin kuljetusmatkoille (Hakkila
ym.1998, Hakkila 2003). Palstahaketusjärjestelmä ei ole juurikaan käytössä.

Taulukko 1. Metsähakkeen tuotantoketjut vuonna 2011 (Strandström 2012).

Tuotanto- ketju	Tuotantoketjun osuus (%) v. 2011		
	Pienpuuhake	Hakkuutähde	Kantomurske
Tienvarsihaketus	72	74	11
Terminaalihaketus	18	11	44
Käyttöpaikkahaketus	10	15	45

Palstahaketusmenetelmää lukuun ottamatta hakkuutähde kuljetetaan tien varteen haketta-
mattomana. Hakkuutähteen metsäkuljetuksen perusratkaisuna on ainespuun korjuuseen
suunniteltu kuormatraktori tai maataloustraktori. Hakkuutähde voidaan kerätä samalla trak-
torilla ainespuun kanssa, jos koneen kapasiteetti riittää. Tällöin hake korjataan vihreänä
eikä anna mahdollisuutta tähteen kuivamiseen ja neulasten ravisuttamiseen hakkuualalle.
Erillisellä kuljetuksella riippuvuus ainespuun korjuutahdista väljenee ja haketta on mahdol-
lista kuivattaa palstalla (Hakkila ym.1998).

3.1.4 Hakkuutähteen ja kantojen varastointi

Varastointi on oleellinen osa metsähakkeen hankintaketjua ja –logistiikkaa. Miten varastointi toteutetaan, riippuu käytettävästä hankintaketjusta. Hakkuutähdettä varastoidaan hakkuukoneen tekemillä pienissä kasoissa palstalla, kuormatraktorin tekemillä suurilla kasoilla tienvarsivarastoissa tai suurissa kasoissa tai aumoissa käyttöpaikalla tai terminaalissa. Terminaaleissa ja käyttöpaikalla varastoidaan yleensä valmista haketta tai mursketta. (Hakkila ym. 1998).

Äijälän ym. (2010) mukaan hakkeen kuivumisen kannalta tehokkain varastointikeino on kesäaikainen kuivatus palstakasoilla ja hakkeen keruu suurille tienvarsikasoille varhain syyskesällä. Palstakasoissa varastoidut tähteet kuivuvat suuremman pinta-alansa ja harvan sijoittumisensa vuoksi välivarastossa olevia tähteitä nopeammin. Palstavarastoinnilla tavoitellaan kuivumisen lisäksi mahdollisten ravinnemenetysten vähenemistä sekä tuoreiden neulasten poltosta aiheutuvaa korroosiota lämpö- ja voimalaitosten kattiloissa.

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion energiapuun korjuun ja kasvatuksen suositusten (Äijälä ym. 2010) mukaan energiapuuharvennukselta korjattavan kokopuun tilantarve on noin 12 metriä harvennettua hehtaaria kohden, kun varasto on noin 4–5 metriä korkea ja noin 4 metriä leveä ja poistuman määrä noin 50 m³/ha. Vastaava tilantarve rankapuulla on noin 10 metriä. Latvussmassan varastotilan tarve on noin 15–18 metriä hakattua hehtaaria kohden, kun pinon korkeus on noin viisi metriä ja leveys 5–6 metriä ja hakatun ainespuun määrä on noin 250 m³/ha. Hyvä varastopaikka on tasainen, kantava, avoin ja tuulinen. Varaston tekoa toimivien ojien päälle vältetään. Näin estetään ravinteiden huuhtoutuminen vesistöihin ja energiapuu säilyy kuivana (Äijälä ym. 2010). Vaihtoehtoisesti tähteet voidaan korjata heti ainespuun keruun jälkeen, jolloin saadaan mahdollisimman suuri aineskertymä pinta-alaa kohden. Myös metsän uudistaminen voidaan aloittaa aikaisemmin (Ranta 2003).

Kannot varastoidaan Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion suositusten mukaan kuivumisen edistämiseksi korkeiksi ja kapeiksi kasoiksi avoimelle ja tuuliselle paikalle. Kanto-varaston tilantarve on noin 15 metriä kantojen nostohehtaaria kohden, kun varasto on noin 5 metriä korkea ja noin 3–4 metriä leveä. Juurikäävän leviämiskäytön vuoksi kantoja ei välivarastoida metsässä yli kahta vuotta (Äijälä ym. 2010).

4 METSÄBIOENERGIAN KÄYTTÖ

4.1 Metsäbioenergian käyttö Suomessa

Vuonna 2011 uusiutuvan energian osuus Suomen kokonaisenergiankulutuksesta oli 28 % (Suomen virallinen tilasto 2013). Suomen pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategian tavoitteena on nostaa Suomessa käytettävän uusiutuvan energian osuus 38 % vuoteen 2020 mennessä. Puolet uusiutuvan energian lisäystavoitteesta aiotaan saavuttaa metsähakkeen käyttöä lisäämällä (Työ- ja elinkeinoministeriö 2008) Vuonna 2010 puupolttoaineiden osuus oli yli viidennes Suomen energiankulutuksesta, kaikkiaan 86,6 TWh. Tästä määrästä 55 % oli kiinteitä puupolttoaineita ja 45 % metsäteollisuuden jäteliemiä. Tyypillisimmät Suomessa käytettävät kiinteät puupolttoaineet ovat perinteiset polttopuut eli pilke ja metsähake (Metsäntutkimuslaitos 2011).

Metsäntutkimuslaitoksen (2011) mukaan Suomen lämpö- ja voimalaitokset käyttivät vuonna 2010 kiinteitä puupolttoaineita ennätyselliset 16 miljoonaa m³. Käyttö lisääntyi 19 % vuodesta 2009. Kiinteistä polttoaineista metsähaketta käytettiin vuonna 2010 6,9 miljoonaa m³. Suurin osa lämpö- ja voimalaitosten metsähakkeesta valmistettiin pienpuusta, eli karsitusta rangasta, karsimattomasta pienpuusta (kokopuu) ja kuitupuusta. Pienpuun käyttö metsähakkeen raaka-aineena kasvoi edellisvuodesta lähes puolitoistakertaiseksi 2,5 miljoonaan m³:iin. Kuitupuuta tästä määrästä oli vajaat 0,2 milj. m³. Myös hakkuutähteiden (2,2 milj. m³) sekä kantojen ja juurakoiden (1 milj. m³) käyttö lisääntyi. Sen sijaan runkopuun poltto, 0,5 milj. m³, puolittui edellisvuodesta. Huomionarvoinen seikka on, että Metsäntutkimuslaitoksen puun energiankäyttö- tilastoissa metsähakkeen raaka-ainetta ei eritellä kotimaiseen ja tuontipuuhun. Kaikki energialaitosten käyttämä puu on tilastoitu kotimaiseksi raaka-aineeksi. Vuosina 2008- 2010 haketta on tuotu Suomeen yli miljoona kuutiometriä massateollisuuden raaka-aineeksi. Osa tästä hakkeesta on todennäköisesti päätynyt poltettavaksi (Metsäntutkimuslaitos 2011).

Metsähakkeen teknis-taloudelliseksi vuotuiseksi tuotantomahdollisuudeksi on arvioitu 12 - 13 milj. m³ (Metsäntutkimuslaitos 2011). Suomen Kansallisen metsäohjelman 2015 tavoite on nostaa metsähakkeen käyttö 8 - 12 milj. m³ vuoteen 2015 mennessä. Metsähakkeen teknis-taloudelliseksi tuotantomahdollisuudeksi on arvioitu 12 - 15 milj. m³. (Maa- ja metsätalousministeriö 2011). Tällä hetkellä metsähakkeen saatavuus riippuu voimakkaasti markkinahakkuiden määrästä.

4.2 Metsäbioenergian käyttö Keski-Suomessa

Keski-Suomen energiankulutus oli 18,6 TWh vuonna 2010, josta tuotettiin uusiutuvalla energialla 37 %. Uusiutuvista energianlähteistä 22 % oli kiinteitä puupolttoaineita, kuten metsähaketta (Keski-Suomen energiatoimisto 2012). Keski-Suomen maakunnan tavoitteena on lisätä uusiutuvan energian osuus vuoteen 2020 mennessä vastaamaan 60 % maakunnan energiankulutuksesta. Tavoitteena on myös että vuonna 2020 Keski-Suomessa ei käytetä ulkomaisia fossiilisia polttoaineita (pl. liikenteen polttoaineet) (Keski-Suomen liitto 2011).

Vuonna 2011 Keski-Suomessa käytettiin energiapuuta lämpö- ja voimalaitoksissa yhteensä 896 000 m³. Keski-Suomen voima- ja lämpölaitoksissa käytetystä metsähakkeesta 45 % tuli pienpuusta, 32 % hakkuutähteistä 20 % kannoista ja 3 % järeästä (lahovikaisesta) runkopuusta (Metsäntutkimuslaitos 2013). Keski-Suomen metsäohjelman 2012 - 2015 käyttötavoite metsäbioenergialle on 1 200 000 m³ vuodessa. Lisäystavoite on 304 000 m³ metsähaketta vuodessa (Suomen Metsäkeskus 2011). Energiapuun käyttöä tulisi lisätä hakkuutähteiden sekä kantojen ja juurakoiden korjuumääriä kasvattamalla tavoitteen saavuttamiseksi. Hakkuutähteiden määrää tulisi kasvattaa vuosien 2011 käyttömäärästä 43 % ja kantojen määrää 40 %. Pienpuun ja järeän runkopuun osalta metsäohjelman tavoitemäärät on jo saavutettu. Taulukossa 2 on energiapuun toteutunut käyttö lähteittään, sekä Keski-Suomen metsäohjelman tavoitemäärät energiapuulle. Käytetyn energiapuun alkuperä ei ole tiedossa.

Taulukko 2. Energiapuun käyttö Keski-Suomen lämpö- ja voimalaitoksissa 2011, sekä energiapuun käytön tavoite 2012–2015 (Metsäntutkimuslaitos 2013, Suomen Metsäkeskus 2011).

Energiapuun käyttö- ja tavoitemäärät	1 000 m ³				Yhteensä
	Pienpuu	Järeä runkopuu	Hakkuu- tähteet	Kannot ja juurakot	
Käyttö 2011	406	27	285	178	896
Tavoite 2012 - 2015	400		500	300	1200
Lisäysmäärä	-6	-27	215	122	304

Taulukosta 3 nähdään, että Keski-Suomen metsäkeskuksen mukaan energiapuuvarojen kokonaispotentiaali uudistusaloilla (mänty ja kuusikko, VT ja rehevämmät) on 3 373 249 m³ vuodessa. Tästä määrästä teknis-ekologisesti kerättävissä oleva energiapuupotentiaali

on 1 755 936 m³. Teknis-ekologinen energiapuupotentiaali on energiapuun korjuusuositusten ja metsänhoitosuositusten mukaisesti metsästä vuosittain korjattava määrä. Oletuksena on että metsien hakkuumäärä on nykyisen suuruinen tai isompi (Kauppinen 2013).

Taulukko 3. Energiapuuvarat Keski-Suomessa (Kauppinen 2013, Metsäntutkimuslaitos 2013).

	Energiapuuvarat 1000 m ³		
	Kokonais- potentiaali	Teknis-ekologinen potentiaali	Tavoite 2011–2015
Kannot	970	658	300
Hakkuutähde	1 107	799	500
Pienpuu	1 313	299	400
Yhteensä	3 390	1 756	1200

Metsäkeskuksen ja metsäntutkimuslaitoksen lukujen perusteella Keski-Suomen metsissä on vielä teknis-ekologista keräyspotentiaalia energiapuulle. Suurin metsäbioenergian teknis-ekologisesta korjuupotentiaalista on uudishakkuualueilta kerättävissä hakkuutähteissä sekä kannoissa ja juurakoissa. Mikäli tavoite saavutetaan, teknis-ekologisesta korjuupotentiaalista on hakkuutähteiden osalta käytetty 62 % ja kantojen osalta 45 %. Pienpuun kohdalla teknis-ekologisen potentiaalin ylittyminen sekä käytön että tavoitteen kohdalla viittaa kuitupuun käyttöön polttoaineena. Teknis-ekologisesta kokonaispotentiaalista tavoitekäytön myötä energiapuuta käytettäisiin 68 % ja kokonaispotentiaalista 35 %.

5 KESKI- SUOMEN METSÄT

Keski-Suomen maakunnan pinta-ala on 1 671 000 hehtaaria. Metsäntutkimuslaitoksen (2011) vuosina 2004 - 2008 tehdyn valtakunnan metsien 10. inventoinnin mukaan pinta-alasta oli metsätalousmaata 1 451 000 hehtaaria, eli lähes 87 %. Metsätalousmaasta 1 376 000 hehtaaria eli lähes 95 % oli metsämaata. Keski- Suomen alueen metsätalouskäytössä olevasta metsästä oli 31.8.2008 suojeltu ja rajoitetussa käytössä 4,5 %, eli 64 000 ha. Loput metsähehtaarit ovat jouto- tai kitumaita.

Keski-Suomen metsien pääpuulaji on mänty (*Pinus sylvestris*). Mäntyä on yli puolet puustosta (58 %), kuusta (*Picea abies*) on 33 % ja lehtipuita, pääasiassa hies- ja rauduskoivua on 9 %. Tällä hetkellä uudistamispinta-alasta yli puolet istutetaan kuuselle. Puumäärä on

kasvanut tasaisesti 1960-luvulta lähtien, vaikka metsän pinta-ala ei ole kasvanut. Vuotuinen keskikasvu on yhteensä 6 miljoona hehtaaria vuodessa (Suomen metsäkeskus 2011).

Keski-Suomen metsäkeskuksen alueella lähes 70 % metsistä on yksityisten metsänomistajien omistuksessa. Lisäksi metsiä omistavat yhtiöt, valtio, kunnat, seurakunnat ym. yhteisöt. Metsien hakkuumahdollisuuksista 80 % on yksityismetsissä (Suomen metsäkeskus 2011).

5.1 Kasvupaikat ja metsätyypit

Keski-Suomi kuuluu eteläboreaaliseen metsäkasvillisuusvyöhykkeeseen. Alueen pohjoisrajoilla kulkee myös keskiboreaalinen metsäkasvillisuusvyöhyke. Eteläboreaalisen metsäkasvillisuusvyöhykkeen metsämaalla tyypillisimpiä kasvupaikkatyyppejä ovat tuoreet kankaat, lehtomaiset kankaat, sekä kuivahkot kankaat ja lehdot. Lisäksi löytyy kuivia kankaita, kalliomaita, hietikoita, vesijättömaita sekä karukoita (Metsäntutkimuslaitos 2011). Keski-Suomen metsät ovat luonnonoloiltaan hyvin vaihtelevia ja monipuolisia. Metsämaasta noin kaksi kolmasosaa on mustikkatyypin metsää tai sitä rehevämpää. Rehevimmät metsät sijaitsevat maakunnan etelä- ja keskiosissa. Karuimmat metsät ovat pohjoisessa ja luoteisessa Keski-Suomessa, jossa on runsaasti soistuneita mustikka- ja puolukkatyypin metsiä. Suomenselän alueella on karuja metsiä ja soita, mutta myös vanhan metsän lajiston jäänteitä ja palojatkumoa alueita. Eteläisen ja pohjoisen Keski-Suomen välillä on suuria eroja lehtojen ja lehtolajiston esiintymisessä. Lehdot ovat useimmiten pienialaisia ja niitä on vähän. Maakunnan eteläosa erottuu lehtojen ja lehtolajiston runsauden vuoksi muusta maakunnasta (Suomen metsäkeskus 2011).

5.1.1 Metsätyypit kangasmailla

Metsäntutkimuslaitoksen (2011) Valtakunnan metsien 10. inventoinnin mukaan Keski-Suomen metsäkeskuksen alueen kasvupaikkatyypeistä valtaosa on kankaita. Yhteensä kangasmaita on 1 091 000 ha, eli 75 % metsätalousmaasta.

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion Hyvän metsänhoidon suositusten energiapuun korjuuseen ja kasvatukseen mukaan energiapuun korjuu soveltuu tuoreille kankaille, lehtomaisille kankaille ja kuivahkoille kankaille. Kuivahkoja kankaita vähäravinteisimmilla kankailla energiapuun korjuuta ei suositella (Äijälä ym. 2010). Keski-Suomen kangasmaista 1 042 000 ha (95 %) soveltuu energiapuun korjuukohteeksi. Taulukosta 4. nähdään eri kasvupaikkatyyppien pinta-ala kangasmailla Keski-Suomen metsäkeskuksen alueella.

Tuoreet kankaat ovat Keski-Suomen kangasmaiden yleisin kasvupaikkatyyppi. Kuivia kankaita on Keski-Suomen alueella 49 % kangasmaista. Tuoreet kankaat ovat seinäsammal-varpukankaita. Mustikkatyyppi (MT) on tavallisin Etelä-Suomen tuoreiden kankaiden tyyppi. Muita metsätyyppisiä ovat seinäsammaltyyppi (PIT) ja puolukka-lillukkatyyppi (VRT) (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2002).

Lehtomaiset kankaat esiintyvät viljavilla moreenimailla. Keski-Suomen kangasmaista 26 % on lehtomaisia kankaita. Lehtomaiset kankaat ovat yleisiä Etelä-Suomessa, mutta harvinaisempia pohjoisessa. Etelä-Suomen tavallisin lehtomaisten kankaiden metsätyyppi on käenkaali-mustikkatyyppi (OMT) Harvinaisempaa talvikkityyppiä (PyT) esiintyy myös (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2002).

Kuivahkot kankaat ovat seinäsammal-varpukankaita, joilla esiintyy yleisesti jäkäliä. Keski-Suomen kangasmaista 21 % on kuivahkoja kankaita. Puolukkatyyppi (VT) esiintyy tavallisena Etelä-Suomessa. Samaa viljavuustasoa edustavat harjuilla tavattavat puolukkamansikkatyyppi (VFrT) ja häränsilmä-puolukkatyyppi (HyVT) (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2002).

Taulukko 4. Kangasmaiden kasvupaikkatyyppit Keski-Suomessa (Metsäntutkimuslaitos 2011).

Kasvupaikkatyyppi	1000/ha
Tuoreet kankaat	530
Lehtomaiset kankaat	283
Kuivahkot kankaat	229
Lehdot	22
Kuivat kankaat	20
Kalliomaat ja hietikot	6
Karukot	1

5.1.2 Suo- ja turvemaat

Keski-Suomen alueella turvepohjaisia metsämaita on yhteensä 340 000 hehtaaria, eli 24 % metsätalousmaista. Suoalueista on ojitettu lähes 80 %. Soiden osuus on huomattavin pohjoisessa Keski-Suomessa Suomenselän alueella, jossa soita on paikoin jopa 50 % maatalasta. Vallitsevimpiä suotyyppisiä Suomenselän alueella ovat vähäravinteiset nevat ja rä-

meet. Muualla Keski-Suomessa soita on niukemmin, ja korprien ja lettojen osuus on pieni koko maakunnassa (Suomen metsäkeskus 2011).

5.1.3 Järvet ja vesistöt

Keski-Suomen pinta-alasta vesialueiden osuus on runsaat 16 %. Keski-Suomen alueella on paljon sekä suuria järviä että pienvesiä, eli lampia, puroja ja lähteitä. Monia järviä yhdistävät virtavesireitit ja yksittäiset kosket, jotka ovat usein vain muutamia satoja metrejä pitkiä. Keski-Suomelle onkin ominaista reittivesien runsaus. Luonnonsuojelullisesti arvokkaita pienvesikohteita on Keski-Suomessa runsaasti ja ne ovat luonnon monimuotoisuuden kannalta erittäin merkittäviä (Keskisuomi.info 2013). Täysin luonnontilaisia pienvesiä on kuitenkin vähän (Suomen metsäkeskus 2011).

5.2 Metsien monimuotoisuus

Keski-Suomen metsäluonto on monipuolista ja hyvin erilaista maakunnan eri osissa, mutta monimuotoisuudessa on kuitenkin edelleen parannettavaa. Metsäpinta-alasta normaalissa metsätalouskäytössä on yli 95 % eikä suojelualojen tai muuten puuntuotannon ulkopuolelle rajattujen alueiden määrä riitä turvaamaan monimuotoisuutta (Suomen metsäkeskus 2011). Metsäntutkimuslaitoksen (2011) valtakunnan metsien 10. inventoinnin mukaan Keski-Suomen alueen metsätalouskäytössä olevasta metsästä oli 31.8.2008 suojeltu ja rajoitetussa käytössä 4,5 %. Loput metsähehtaarit ovat jouto- tai kitumaita.

Ekologisen kestävyuden kannalta talousmetsien suurimmat rakenteelliset puutteet ovat lahoppuun ja palaneen puun vähyys, vanhojen metsien ja erityisesti paljon lahoppuuta sisältävien vanhojen lehtimetsien vähyys, metsien yksipuolinen puulajikoostumus, luonnontilaisten pienvesien ja rehevien soiden vähäisyys (Suomen metsäkeskus 2011). Keski-Suomen yksityis- ja talousmetsien alueella on erityisen tärkeitä elinympäristöjä 4 709 hehtaaria, mikä on 0,5 % metsäalasta. Tyypillisimpiä erityisen tärkeitä elinympäristöjä Keski-Suomen alueella ovat purot ja norot, vähäpuustoiset suot ja kalliot, kivikot ja louhikot. Säästöpuun laatu on Keski-Suomen alueella pääasiassa hyvä tai erinomainen (Metsäntutkimuslaitos 2011).

5.3 Metsiköiden kehitysluokat ja hakkuumäärät

Valtakunnan metsien 10 inventoinnin mukaan Keski-Suomen metsäkeskuksen alueella on uudistuskypsää metsää puuntuotannon metsämaalla 167 000 hehtaaria, eli 12 % metsämaasta. Taulukosta 5 nähdään, että suurimmat kehitysluokat ovat varttunut kasvatusmet-

sikkö ja nuori kasvatusmetsikkö. Varttuneessa kasvatusmetsikössä on pääosin tukkipuukoisia runkoja. Nuori kasvatusmetsikkö on harvennushakkuuvaiheessa. Uudistuskypsää metsää, jonka seuraava hakkuu on uudistushakkuu on 167 000 ha (Metsäntutkimuslaitos 2011).

Taulukko 5. Metsiköiden kehitysluokat Keski-Suomessa (Metsäntutkimuslaitos 2011).

Kehitysluokka	1000 ha
Varttunut kasvatusmetsikkö	446
Nuori kasvatusmetsikkö	419
Varttunut taimikko	173
Uudistuskypsä metsä	167
Pieni taimikko	117
Aukea uudistusala	17
Siemenpuumetsikkö	4
Suojuspuumetsikkö	1

Keski-Suomen metsien hakkuumahdollisuuksista on viimeisen kymmenen vuoden aikana käytetty keskimäärin 90 %, kun hakkuumäärää verrataan metsäntutkimuslaitoksen laskemaan suurimpaan kestävään hakkuumäärän (Suomen metsäkeskus, 2011). Keski-Suomen alueellisen metsäohjelman 2011- 2014 tavoitteena on hyödyntää metsien kestävä hakkuumäärä, joka seuraavalle 10-vuotiskaudelle on 6,2 milj. m³ vuodessa. Määrässä on huomioitu metsien suojelualueet, metsälakikohteet, metsien sertifiointin kriteerit ja metsäluonnon hoidon suositukset. Turvemaiden osuus hakkuumahdollisuuksista ei merkittävästi kasva. Hakkuusäästöä kertyy pääosin yksityismetsiin (Suomen metsäkeskus 2011).

Suurin kestävä hakkuumäärä 6,2 milj. m³ vuodessa tarkoittaa, että puuston kokonaispoistuma on noin 7,4 milj. m³ vuodessa. Kokonaispoistuma sisältää teolliseen tai kotitarvekäyttöön menevän raakapuun, energiapuun, metsään jäävän luontaisesti kuolevan puun ja hakkuutähteinä metsään jäävän latvapuun. Keski-Suomen metsien kasvu on 8,2 milj. m³ vuodessa eli selvästi kokonaispoistumaa suurempi. Kasvu 8,2 milj. m³ vuodessa sisältää vain runkopuun. Runkopuun lisäksi kantoja ja oksabiomassaa kertyy vuosittain noin 4 milj. m³, jolloin metsien koko biomassan tuotanto on 12 milj. m³ (Suomen metsäkeskus 2011).

Suurin kestävä hakkuumäärä, 6,2 milj. m³ vuodessa ei huomioi metsien omistusrakennetta eikä metsänomistajien omia tavoitteita, vaan olettaa metsät yhdeksi kokonaisuudeksi. Suurin kestävä hakkuumäärä on osin teoreettinen, mutta kuitenkin selkeä ja luotettava mittari,

johon toteutunutta hakkuumäärää voidaan verrata. Suurin mahdollinen metsälain sallima hakkuumäärä seuraavalle kymmenvuotiskaudelle on 8,8 milj. m³ vuodessa. Tämä johtaisi kuitenkin metsien puumäärän vähenemiseen. Metsien kasvu on nyt 8,3 milj. m³ vuodessa. Kestävä hakkuumäärä mahdollistaa sen, että metsien puumäärä ja puuston tulevat hakkuumahdollisuudet kasvavat (Suomen metsäkeskus 2011).

6 SYNTEESI METSÄBIOENERGIAN KORJUUN JA VARASTOINNIN LUONTOYMPÄRISTÖVAIKUTUKSISTA KESKI-SUOMESSA

Metsäbioenergian luontoympäristövaikutuksia käsittelevän synteessin pohjalla on kirjallisuuskatsaukseen valikoitunut aineisto. Aineistoa oli yhteensä 25 kappaletta, joista Keski-Suomen alueella toteutettuja tutkimuksia 16 kappaletta. Valtaosa tutkimusten kokeista on tehty kuusen korjuualoilla. Pääasiassa tutkimukset käsittelevät hakkuutähteen ja kantojen korjuun vaikutuksia, mutta myös kokopuun korjuun vaikutuksista oli jonkin verran tutkimustietoa. Eniten aineistoa löytyi metsäbioenergian tuotannon vaikutuksista maaperään. Metsäbioenergian korjuun ja varastoinnin vesistövaikutuksista löytyi vähiten tutkimustietoa.

6.1 Metsäbioenergian korjuun ja varastoinnin vaikutukset ilmastoon

Suomen metsät sitovat ja varastoivat nettomääräisesti hiilidioksidia (CO₂) ja ovat tätä kautta merkittävä hiilinielu. Lisäksi maaperän merkitys hiilivarastona on suuri. Metsäbiomassan energiakäytön ei ole katsottu lisäävän kasvihuonekaasujen määrää ilmakehässä, koska biomassaa uusiutuu ja sitoo kasvaessaan energiakäytössä vapautuneen hiilen. Biomassaa on pidetty hiilidioksidineutraalina energianlähteenä, jolla voidaan korvata fossiilisia energianlähteitä ja pienentää hiilidioksidipäästöjä ilmakehään. Metsäbiomassojen käyttö kuitenkin voi vähentää metsien hiilivarastoja ja heikentää hiilinieluja. Tämä merkitsee maankäyttöön liittyvien kasvihuonekaasupäästöjen lisääntymistä.

Metsään lahoamaan jätetyn puunrungon, oksan tai kannon sisältämä hiili vapautuu ilmakehään valtaosaltaan ensimmäisten 30–60 vuoden aikana. Sadan vuoden kuluttua ohuiden oksien sisältämästä hiilestä on jäljellä maaperässä vain muutamia prosentteja, mutta paksujen oksien ja kantojen hiilestä voi olla jäljellä yhä jopa 20–30 %. Vastaavasti energiakäyttöön korjatun puun sisältämä hiili päättyy ilmakehään nopeasti, viimeistään kahden vuoden kuluttua korjuusta. Kun vertaillaan näitä kahta puun elinkaaren vaihtoehtoa, korjatulle

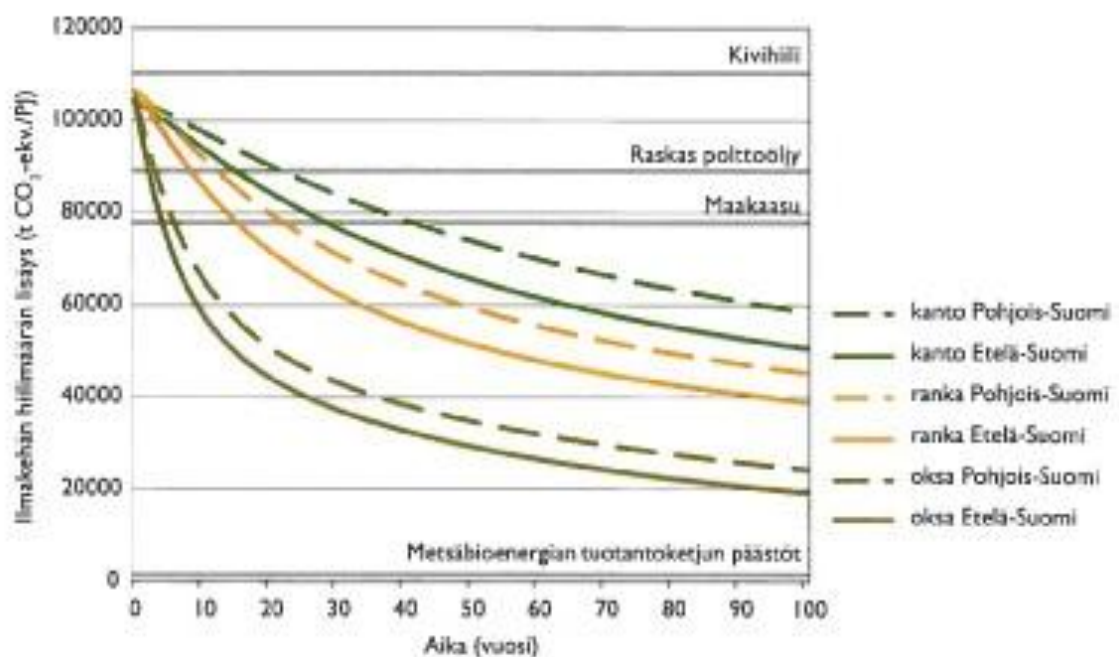
energiapuulle voidaan laskennallisesti langettaa maaperän hiilivaraston pienenemisestä aiheutuva hiilipäästö. Tämä laskennallinen hiilipäästö on suurimmillaan, kun puun energiakäyttö aloitetaan. Tällöin vaihtoehtoisesti korjaamatta jätetty biomassa vielä muodostaisi hiilivaraston metsässä. Hiilipäästö kuitenkin pienentyy merkittävästi vuosikymmenten myötä, koska metsään jätetyn puun hiilivarasto kutistuu joka tapauksessa lahoamisen myötä (Äijälä ym. 2010).

Suomen ympäristökeskuksen raportissa (Liski ym. 2011) käsitellään metsäbiomassan tuotannon ja käytön ilmastovaikutuksia, jotka johtuvat metsien hiilitaseen muutoksista ja tuotantoketjujen aiheuttamista päästöistä. Metsän hiilitasevaikutukset laskettiin käyttäen Yasso07-mallia, joka simuloi energiaksi käytettävien metsäbiomassan ositteiden lahoamista metsässä Suomen oloista peräisin olevan suuren mittausaineiston perusteella. Simulaatiossa käytettiin todellisia ja käytännössä toteutettavia metsäbioenergian tuotannon tapauksia, Etelä- ja Pohjois-Suomen ilmasto-oloissa. Energiaksi käytettävistä kuusen, männyn ja koirvun biomassaositteista simuloitiin oksia, energiapuuharvennusten rankapuuta ja kantoja. Ilmakehän säteilytaseen muutokset laskettiin Ilmatieteen laitoksen tutkijoiden muokkamalla REFUGE-mallin versiolla. Malli huomioi eri kasvihuonekaasupäästöjen viipymäajan ja lämmittävän vaikutuksen voimakkuuden ilmakehässä. Metsäbiomassan energiakäytön ilmastovaikutukset arvioitiin vertaamalla tapauksia, jossa metsästä korjataan ainespuun korjuun lisäksi biomassaa energiantuotantoa varten, tapaukseen, jossa metsästä korjataan vain ainespuuta. Tutkimustuloksia on tarkasteltu koko Suomen tasolla. Tutkimuksessa todettiin, että biomassan lahoaminen oli sitä hitaampaa, mitä suuremmasta biomassaositteesta oli kyse. Biomassan lahoamisnopeus hidastui ajan kuluessa ja on jonkin verran hitaampaa Pohjois-Suomessa (Liski ym. 2011).

Kun energiantuotanto metsäbiomassalla aloitetaan, on metsän hiilivajeesta johtuva ilmakehän hiilidioksidimäärän lisäys suurimmillaan; vaikutus ilmakehän hiilimäärään on arvioitu olevan vain 5 % pienempi kuin kivihiilellä tuotetun saman energiamäärän hiilidioksidipäästön lisäys. Kun metsäbiomassalla tuotetaan energiaa vuodesta toiseen, bioenergiayksikköä kohden laskettu metsän hiilivaje ja ilmakehän hiilimäärän lisäys pienenevät. Tämä johtui siitä, että aikaisemmin käsitellyillä aloilla biomassan korjuun aiheuttama hiilivaje oli pienempi kuin myöhemmin käsitellyillä aloilla (Liski ym. 2011).

Suomen ympäristökeskuksen raportin mukaan (Liski ym.2011) metsäbiomassan tuotantomenetelmien välillä havaittiin merkittäviä eroja. Kahdenkymmenen vuoden jälkeen oksa-

biomassasta tuotetun energian aiheuttama ilmakehän hiilimäärän lisäys oli 50–60 % pienempi kuin kivihiilen polttamisesta aiheutunut päästö. Rankapuusta tuotetun energian ero kivihiileen oli noin 30 % ja kannoista tuotetun energian noin 20 %. Kuvassa 1 on esitetty metsäbioenergian tuottamisesta aiheutunut ilmakehän hiilimäärän lisäys tuotettua energiayksikköä kohti sadan vuoden aikana energiantuotannon aloittamisen jälkeen tuotettaessa 1 PJ energiaa joka vuosi. Metsäbioenergian luvut sisältävät metsän hiilivajeen vaikutuksen ja bioenergian tuotantoketjun päästöt. Fossiilisten vertailupolttoaineiden päästöt sisältävät tuotantoketjun ja polton päästöt (Liski ym. 2011).



Kuva 1. Metsäbioenergian tuottamisesta aiheutunut ilmakehän hiilimäärän lisäys tuotettua energiayksikköä kohti sadan vuoden aikana energiantuotannon aloittamisen jälkeen tuotettaessa 1 PJ energiaa joka vuosi (Liski ym. 2011).

Tutkimusraportin mukaan metsäbioenergian käytön lisääminen ei uhkaa Suomen metsien hiilinielua. Korjatusta puusta saatuun energiamäärään verrattuna hiilinielua vähentävä vaikutus on kuitenkin merkittävä (Liski ym. 2011).

Metsäbioenergian tuotannon ilmastovaikutuksia Suomen tasolla oli tutkittu myös Kilpeläisen ym. (2012) artikkelissa. Säteilypakotetta laskettaessa laskelmissa oli käytetty SIMA-simulaatiomallia (hiilen ja typen kiertoon perustuva metsäekosysteemin suknessiomalli) ja LCA (life cycle analysis) - elinkaariarviointimenetelmää. Laskelmat oli tehty 90 vuoden ajanjaksolle. Tutkimuksessa oletettiin, että metsäbioenergian korjuussa noudatetaan Metsä-

talouden kehittämiskeskus Tapion Hyvän metsänhoidon suosituksia. Laskelmien perusteella metsäbioenergian keskiarvoinen säteilypakotevaikutus nousi ensimmäiset 29 vuotta, minkä jälkeen kääntyi laskuun. Säteilypakotevaikutus oli metsäbioenergialle 19 % alempi kivihiiileen verrattuna koko 90 vuoden simulaatioajanjakson aikana. Laskelmaan on otettu mukaan kaikki biomassaositteet. Tulos on alhaisempi kuin Suomen ympäristökeskuksen tekemässä tutkimuksessa, jossa vuoteen 2025 mennessä kantojen ja hakkuutähteen keskiarvoinen ilmastovaikutus oli 36 % alhaisempi kuin kivihiilellä.

Metsäbioenergian ilmastovaikutuksia arvioitaessa käytetään eri simulaatio- ja laskentamalleja ja käytetään eri lähtötietoja, mikä tekee niiden vertailusta hankalaa. Myös biomassaositteen laatu ja kosteus voi vaihdella paljon eri korjuukohteilla. Esimerkiksi kannot ovat usein tuoretta latvusmassaa kuivempi ja vähäpäästöisempi polttoaine, mikä saattaa vaikuttaa kannon energiakäytön kasviuonekaasupäästöihin. Vaikka mallit ja tulokset poikkeavat toisistaan poikkeavat toisistaan, on kuitenkin todettava, että metsäbioenergia ei ole päästö-
töntä.

6.1.1 Metsäbioenergian tuotantoketjujen päästöt

Suomen oloissa energiapuuta pystytään korjaamaan tehokkaasti ilman että korjuun yhteydessä vapautuu merkittäviä määriä kasviuonekaasuja. Repon ym. (2011) tutkimuksessa metsätähdehakkeen korjuuketjun (kuljetus palstalta, haketus, koneensiirrot, kaukokuljetus ja polton päästöt) kasviuonekaasupäästöt oli arvioitu olevan 2-3 % metsäbioenergian korjuun kokonaispäästöistä tuotannon alussa ja 4-10 %, kun energiantuotanto oli jatkunut 100 vuotta. Myös Kilpeläisen ym. (2012) artikkelissa metsäbioenergian korjuun päästöt olivat alhaiset verrattuna ekosysteemin muutoksissa aiheutuviin ja polton päästöihin. Pienpuun ja kantojen korjuun energiankulutus on vastaavasti 3–4 % tuotetun hakkeen energiasisällöstä (Äijälä ym. 2010). Korjuuketjujen päästövaikutukset ovat pieniä verrattuna edellä kuvattuun metsän hiilivaraston väliaikaiseen kutistumiseen (kuva 1). Tutkimustulokset ovat linjassa aikaisempien tutkimustiedon kanssa (Wihersaari 2005).

6.1.2 Metsänhoidollisten toimien vaikutus aines- ja energiapuun tuotantoon sekä metsien hiilinieluun Keski-Suomessa

Pyörälän ym. (2012) tutkimuksessa selvitettiin metsänhoidollisten toimien: harvennus, typpilannoitus ja kiertoajan pituus, merkitystä aines- ja energiapuun tuotantoon ja metsien hiilivarantoihin. Tutkimus toteutettiin Keski-Suomessa OMT- ja MT- kuusikoissa. Laskelmissa käytettiin SIMA- sekä LCA- mallia. Metsäbioenergia korjattiin päätehakkualoilta.

Tutkimustulokset osoittivat, että metsien kasvatusaikaa pidentämällä, typpilannoituksella sekä nykyistä harvennussuositusta tiheämpi kasvatusmallilla voidaan lisätä ainespuun tuotantoa sekä maaperän hiilivarantoja erityisesti OMT- koealoilla. Bioenergiana käytettävän biomassan tuotanto ei lisääntynyt. Lyhyempi metsikön kiertoaika typpilannoitukseen yhdistettynä puolestaan lisäsi biomassan tuotantoa. Typpilannoitus vaikutti enemmän MT- kuin OMT- koealoilla. Tutkimus osoitti, että typpilannoitus yhdistettynä nykyistä harvennussuositusta tiheämpään kasvatusmalliin vaikutti positiivisesti sekä metsän hiilitaseeseen että metsän hiilivarastoon. Energiayksikköä kohden hiilidioksidipäästöt vähenivät 30 % tavanomaiseen kasvatusmalliin verrattuna.

Tutkimus osoittaa, että metsänhoidollisilla toimilla voidaan kasvattaa yhtäaikaisesti aines- ja energiapuun tuotantoa, metsien hiilivarantoja ja metsäbioenergian hiilineutraalisuutta. Tutkimusaineisto on tehty yleisimmillä metsätyypeillä (OMT ja MT). Kasvatusmallia voitaisiin toimivuuden tarkistamiseksi kokeilla muualla sijaitsevilla OMT- ja MT- aloilla tutkimustulosten yleistettävyyden vuoksi.

6.2 Metsäbioenergian korjuun ja varastoinnin vaikutukset vesistöön

Metsillä on vesistöjä suojeleva vaikutus, ne ehkäisevät tehokkaasti eroosiota ja ravinteiden kuten typen, fosforin ja kaliumin huuhtoutumista. Vaikutus kuitenkin heikkenee tai jopa lakkaa väliaikaisesti kokonaan häiriötilanteissa, esimerkiksi päätehakkuun ja maanmuokkauksen yhteydessä. Hakkuiden vesistökuormitus on pelkistetysti kiinteiden ja liuenneiden aineiden vesieroosiota, jonka suuruuteen vaikuttavat vahvasti niin alueelliset kuin paikalliset hydrologiset, topografiset ja maaperätekijät (Haapanen ym. 2006). Päätehakkuun seurauksena haihduttavan puuston määrä vähenee, jonka seurauksena huuhtoutuvan veden määrä lisääntyy 15- 20 % ja sadanta kasvaa. Tästä saattaa olla seurauksena pohjaveden pinnan nousu, mikä kohottaa maaperän kosteutta (Ilvesniemi ym. 2012, Kokko 2012). Ilvesniemen (2012) mukaan suometsissä tehtävät metsätalouden toimenpiteet yleensä lisäävät vesistöjen ainekuormitusta enemmän kuin toimenpiteet kangasmaiden metsissä. Metsätalouden aiheuttamia vesistövaikutuksia on tutkittu jo pitkään. Kokopuun korjuun aiheuttamia vesistövaikutuksia sen sijaan on tutkittu vähän, turvemailla vielä kivennäismaakohteitakin vähemmän.

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. Happamoituminen voi aiheuttaa myös elohopean ja lyijyn liukenemistä ja huuhtoutumista vesistöön. (Helmisaari ym. 2008, Verran ym. 1990, mukaan).

Metsäbioenergiaa korjattaessa korjuualalta poistuu huomattava määrä orgaanista ainetta ja ravinteita, mikä saattaa vähentää ravinteiden huuhtoutumista vesistöihin ja pohjaveteen (Ilvesniemi ym. 2012).

Puun korjuun yhteydessä tapahtuva maanpinnan rikkoutuminen voi lisätä kiintoaineen ja ravinteiden huuhtoutumista, erityisesti kantojen nosto paljastaa runsaasti kivennäismaata, jolloin kiintoaine- ja kokonaisravinnehuuhtoumien riski kasvaa erityisesti vesistöjen läheisyydessä toimittaessa. Hienojakoisilla, viljavilla mailla kannonosto voi altistaa suurimman osan kivennäismaan pinnasta eroosiolle rikkomalla kunnan. Paljastunut kivennäismaa on aluksi altis sateelle, paahteelle ja sen seurauksena lämpötilojen vaihteluille. Muokattu pinta on herkkä taimettumiselle ja avohakkuualoille tyypillisen kasvillisuuden sukkessiolle. Uusi kasvava biomassa sitoo ravinteita ja vähentää huuhtoutumisriskiä jo muutaman vuoden kuluessa hakkuusta ja kantojen nostosta (Kubin ym. 2012).

Hakkutähteiden ja kantojen korjuu lisää metsäkoneiden käyntikertoja hakkuualalla 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 (Helmisaari ym. 2008).

Vaikka maa on tehokas ravinteiden pidättäjä, hakkuualalle syntyvistä suurista hakkuutähdekasvista voi huuhtoutua lyhytkestoisesti runsaasti ravinteita (Ilvesniemi ym. 2012). Kantojen noston vaikutuksesta kasvupaikalle syntyy usein erilaisia mikrobiympäristöjä, joissa olosuhteet voivat olla suotuisia ravinteita vapauttaville biologisille hajotusprosesseille, mikä puolestaan saattaa edistää ravinteiden huuhtoutumista (Joensuu ym. 2011). Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion suositus on, että vesistöjen, pienvesien ja ojien varsille jäänyt latvusmassa kerätään mahdollisimman tarkasti pois ravinnehuuhtoutumien vähentämiseksi (Äijälä ym. 2010).

6.2.1 Hakkuutähteen ja kantojen korjuun ja varastoinnin vaikutukset pohjaveteen Keski-Suomessa

Metsäntutkimuslaitoksen bioenergiaa metsistä - tutkimusohjelmassa (2007 - 2011) perustettiin koealoja, joilla tutkitaan energiapuun korjuun ja kantojen noston vesistövaikutuksia. Yksi koealoista sijaitsee Längelmäellä, Keski-Suomessa kuusivaltaisella päätehakkuleimikolla kivennäismaalla. Koealojen näytteistä on määritetty sähkönjohtokyky, pH, väri, kiintoaine, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, P-tot, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu ja Al (Kubin 2012). Kokon (2012) opinnäytetyössä tarkasteltiin kantojen korjuun ja hakkuutähteen korjuun vaikutuksia pohjaveden veden laatuun, erityisesti ammoniumtyppi (NH_4) ja nitraattityppipitoisuuksiin (NO_3). Lisäksi mitattiin koealueiden sähkönjohtokyky, pH, väriarvot ja ainepitoisuuksia. Opinnäytetyön koealue sijaisi Keski-Suomessa, Jämsässä kuusikon päätehakkualueilla. Lisäksi koealoja oli Etelä- ja Pohjois-Suomessa.

Metsäntutkimuslaitoksen (Kubin 2012) koealoilla havaittiin, että päätehakkuu ja maanmuokkaus vaikuttavat selkeästi ravinteiden huuhtoutumiseen, erityisesti nitraattitypen huuhtoutumiseen sekä pinta- että pohjavesiin. Vuonna 2007 perustetuilla koelaoilla pohjaveden pitoisuudet olivat korkeimmillaan 3–5 vuoden kuluessa hakkuusta, mutta maksimipitoisuutta ei saatu vielä esille tutkimusjakson loppuun (2011) mennessä. Aikaisemmissa tutkimuksissa kohonneita pohjaveden nitraattipitoisuuksia on mitattu vielä 20 vuotta toimenpiteen jälkeen. Kokopuun korjuussa pohjaveden nitraattipitoisuudet kuitenkin alenivat nopeammin kuin ainespuuhakkuissa. Kantojen noston yksiselitteistä muita suurempaa vesistövaikutusta ei toistaiseksi voitu osoittaa.

Kokon (2012) opinnäytetyössä nitraattitypen osalta saadut tutkimustulokset ovat samansuuntaisia sekä Metsäntutkimuslaitoksen että aikaisempia tutkimustulosten kanssa. Osa koealojen käsittelyistä on parantanut mikrobiologisen toiminnan edellytyksiä koealoilla, minkä seurauksena nitraattitypen pitoisuudet ovat kohonneet kaikilla koealueilla ja käsitellyillä poiketen tilastollisesti erittäin merkittävästi alueen kontrollikäsitteystä erityisesti toisena tarkasteluvuonna. Pohjavedestä mitatut nitraattipitoisuudet olivat korkeimmillaankin ollessaan selvästi talousvesien laatuvaatimuksen raja-arvon alapuolella.

Kokon (2012) opinnäytetyön tutkimustulokset osoittivat, että metsätaloustoimenpiteet, kantojen nosto mukaan lukien, voivat kohottaa lievästi ammoniumtypen pitoisuuksia lähellä maanpintaa olevissa pohjavesissä osalla käsitteilyjä verrattuna kontrollikäsitteelyyn. Tämä havainto oli poikkeava aikaisempiin tutkimuksiin verrattuna. Ammoniumtypen kohon-

neet pitoisuudet osalla käsittelyjä viittaavat kiihtyneeseen orgaanisen aineen hajotukseen, etenkin toisena tarkasteluvuonna. Kokon (2012) tutkimukset eivät osoittaneet kantojen noston aiheuttavan voimakkaampaa typenhuuhtoutumista verrattuna muihin käsittelyihin.

Kokon (2012) mukaan tulosten tulkintaa ja luotettavuutta heikentää ammoniumtypen osalta ennen kaikkea pitoisuuksien voimakas vaihtelu. Ammoniumtypen pitoisuuksien nousu näyttäisi kuitenkin olevan sidoksissa tehtyihin toimenpiteisiin, sillä kontrollikäsittelyiden pitoisuudet eivät ole juurikaan kohonneet tarkasteluvuosien aikana. Korkeiden arvojen ongelma koskee samalla tavalla myös nitraattityppeä.

Kokon (2012) opinnäytetyössä Keski-Suomessa sijaitsevilla koealoilla havaittiin myös korkeampi sähkönjohtokyky Pohjois-Suomessa sijaitseviin koealoihin verrattuna. Korkeampi sähkönjohtokyky on seurausta korkeammasta vesiliukoisten suolojen määrästä vedessä, mikä indikoi myös korkeita natrium-, kalium-, kalsium- ja magnesiumpitoisuuksia. Myös natrium- ja kaliumpitoisuudet olivat hieman korkeammalla tasolla Pohjois-Suomeen verrattuna, lisäksi Keski-Suomen kalsium- ja magnesiumpitoisuudet olivat huomattavan korkealla verrattuna Etelä- ja Pohjois-Suomen koealueisiin. Keski-Suomen koealueella myös kokonaisfosforipitoisuus oli hieman korkeampi, mutta sinkkipitoisuus alhaisempi. Mangaanipitoisuudelle asetettu laatusuositus 0,05 milligramma litrassa ylittyi yksittäisillä käsittelyillä Keski-Suomen koealueilla. Kuparipitoisuuksissa ja pH-arvoissa ei ollut havaittavissa alueellisia eroja. Kokon (2012) mukaan tulosten yleistettävyydessä on noudatettava harkintaa. Alueellisten ja paikallisten olosuhteiden vaikutus tuloksiin on merkittävä.

6.2.2 Hakkuutähteen korjuun ja varastoinnin vaikutukset maaveteen Keski-Suomessa

Metsäntutkimuslaitos (Ilvesniemi ym. 2012) on tutkinut bioenergiaa metsistä - tutkimusohjelmassa (2007 - 2011) hakkuutähteen määrän vaikutuksia maaveden ominaisuuksiin läheltä maan pintaa sekä 40 cm syvyydestä maan alta kerätyistä vesinäytteistä. Koealueille jätettiin tuoreita kuusen oksia joko 100 t/ha (10 kg/m²) tai 400 t/ha (40 kg/m²), levitettiin hakkuutähteen poiston jälkeen 3 t/ha tuhkaa tai koealoilta korjattiin hakkuutähteet kokonaan pois. Hakkuutähteistä vapautui heti hakkuutähtekasan alta kerättyyn veteen runsaasti liukoista orgaanista hiiltä (DOC) jo toisena vuotena hakkuun jälkeen. Korkeat arvot kertovat veden suuresta humuspitoisuudesta. Mikäli hakkuutähteet kerätään bioenergiaksi, tällaista hiilivirtaa maaperän pintaosaan ei synny. Hakkuutähteen korjuu tai jättäminen paikalleen vaikutti myös nitraattitypen huuhtoutumiseen. Toisin kuin liuennutta orgaanista hiiltä, nitraattityppeä huuhtoutui myös juuristovyöhykkeen alapuolelle 40 cm:n syvyyteen.

Päätehakkuun jälkeen kohonneet nitraattipitoisuudet olivat korkeampia, kun hakkuutähteitä ei korjattu. Kaikkein korkeimmat nitraattitypen huuhtoutumismäärät mitattiin, kun hakkuutähteitä jätettiin maahan kasoina.

Keski-Suomen alueella metsäbioenergian korjuun ja varastoinnin aiheuttamia vesistövaikutuksia arvioitaessa ongelmaksi muodostuu tutkimusten vähyys. Metsäntutkimuslaitoksen uusien kokeiden seuranta-aika on vielä lyhyt. Näiden tulosten perusteella ei voida esittää vielä kokonaisvaltaisia johtopäätöksiä eri tavoin teytyjen hakkuutähteiden keruun ja kantojen noston aiheuttamien ravinne- ja kiintoainehuuhtoutumien kestosta ja käsittelyjen välisistä eroista. Lisäksi alueelliset ja paikalliset olosuhteet vaikuttavat tutkimustuloksiin paljon. Tutkimustulokset osoittavat, että metsäbioenergian korjuu sekä poistaa ravinteita, että lisää eroosion ja ravinteiden huuhtoutumisen riskiä. Maanmuokkauksen yhteydessä erityisesti nitraattitypen pitoisuuden vesistöissä kasvoivat, mutta yksin kantojen nostosta johtuva pitoisuuden lisäystä ei voitu osoittaa. Myös mäntyjen kantojen korjuun vaikutuksia vesistöön tulisi tutkia. Tutkimustulosten mukaan hakkuutähdekasojen sijoittelulla on keskeinen merkitys vesistövaikutusten ehkäisyssä. Vesiensuojelutoimenpiteet, kuten suoja-kaistat ehkäisevät tutkimusten mukaan valtaosan vesistövaikutuksista.

6.3 Metsäbioenergian korjuun ja varastoinnin vaikutukset maaperään

Metsäbioenergian korjuun vaikutuksista maaperään ja puuston kasvuun on tehty paljon tutkimusta ja aiheeseen liittyvää kirjallisuutta valikoitui synteetin eniten. Keski-Suomen alueella on mm. Metsäntutkimuslaitoksen koealoja, joissa tutkitaan mitä vaikutuksia hakkuutähteiden poistolla on harvennuksen tai päätehakkuun yhteydessä maaperään ja puuston kasvuun. Metsäbioenergian korjuu voi esimerkiksi vähentää maaperän ravinnepitoisuutta, aiheuttaa maaperän happamoitumista sekä aiheuttaa maan pinnassa fysikaalisia muutoksia, kuten tiivistymistä tai maanpinnan rikkoontumista.

Kasvuisassa metsässä ravinnekierto on hyvin suljettu. Häiriötilanteissa kuten esimerkiksi puunkorjuun ja metsänuudistamisen yhteydessä kasvupaikalta menetetään ravinteita. Tärkeimpiä perusprosesseja, jotka tuovat ravinteita metsäekosysteemiin, ovat mineraalien rapautuminen, biologinen typensidonta ja ravinnelaskeuma ilmakehästä. Valtaosa kaliumista, kalsiumista, magnesiumista ja fosforista saadaan rapautumisesta (Helmisaari ym. 2008).

Helmisaaren ym. (2008) mukaan hakkuutähteiden korjuu saattaa aiheuttaa maaperän happamoitumista. Happamoituminen vaikeuttaa kasvien ravinteiden saantia ja lisää ravinteiden

den huuhtoutumista. Happamoituminen vahingoittaa myös maaperässä olevia maaperäeliöitä. Mikäli hakkuutähteiden korjuu vaikuttaa maaperän mikrobien hajotustoimintaan, tällä voi olla kauaskantoisia seurauksia kasvupaikkojen ravinteisuudelle. 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. Hakkuutähteiden poisto saattaa alentaa maaperän orgaanisen kerroksen pH:ta ja emäskyllästysastetta. Kantojen korjuun vaikutuksista maan pH-arvoihin ei vielä ole kovin runsaasti tietoa saatavilla, mutta sen myötä emäskationien poistuma kuitenkin voi lisääntyä (Helmisaari ym. 2008).

Hakkuutähteiden ja kantojen korjuu lisää työkoneiden ajokertoja alalle mikä johtaa maaperän tiivistymiseen. Perinteisessä runkopuun korjuussa kaatokone karsii oksia ajourille, jotta koneet eivät uppoaisi eivätkä aiheuttaisi raiteita. Hakkuutähteiden korjuukohteilla ei tällaisia ”oksamattoja” voi käyttää. Maaperän tiivistymisen johdosta ravinteet saattavat imeytyä huonommin maaperään ja niiden huuhtoutumisriski kasvaa. Jos koneet rikkovat maata, raiteista tulee helposti vesikuoppia tai ojia, jolloin vaarana on vesieroosio (Helmisaari ym. 2008).

6.3.1 Hakkuutähteen korjuun ja varastoinnin vaikutus maaperän ravinteisiin

Hakkuutähteiden mukana kasvupaikalta poistuu ravinteita moninkertaisesti pelkkään runkopuun korjuuseen verrattuna. Neulasten ja oksien mukana menetetään varsinkin typpeä. Koska typpi on lähes kaikissa kangasmetsissämme puuston kasvua rajoittava ravinne, typen menetys merkitsee aina kasvuolosuhteiden heikkenemistä ja todennäköisesti kasvutappioita ennemmin tai myöhemmin. Maahan karikkeena tai hakkuutähteinä palautuvista ravinteista osa vapautuu hajotuksen seurauksena nopeasti kasvien saataville. Nykyisen käsityksen mukaan ravinteiden vapautuminen neulasista tapahtuu joidenkin vuosien kuluessa neulasten varisemisesta (Ilvesniemi ym. 2012). Karikkeen mukana maahan palautuvat ravinteet ovat pitemmän päälle olennaisen tärkeitä ravinteisuuden säilymiselle. Maan orgaanisen aineen määrällä on merkitystä maan viljavuudelle muutenkin kuin ravinnevaras-

tona, sillä orgaaninen aine on tärkeä maaperän veden ja ravinteiden pidätyskyvyn kannalta (Helmisaari ym. 2008).

6.3.2 Hakkuutähteen korjuun ja varastoinnin vaikutus maaperään päätehakkuualoilla Keski-Suomessa

Wallin (2008) tutkimus selvitti hakkuutähteen korjuun vaikutusta ravinteiden huuhtoutumiseen ja pitoisuuksiin maaperässä kuusen päätehakkuualoilla lyhyellä aikavälillä Keski-Suomessa. Tulokset osoittavat, että lyhyellä aikavälillä hakkuutähtekasat ovat vähäisiä epäorgaanisen typen lähteitä, mutta ovat merkittäviä kaliumin lähteitä maaperään. Kokopuun korjuu tuoreena vähensi maaperän epäorgaanisen typen yhdisteitä sekä fosforin ja kaliumin pitoisuuksia ainespuun korjuuseen verrattuna. Kun hakkuutähteen annettiin kuivua ja neulasten varista alalle, hakkuutähteen korjuulla oli vain vähäisiä vaikutuksia maaperän ravinnevirtoihin. Tulokset viittaavat että lyhyellä aikavälillä hakkuutähteen korjuu ei vaikuta lohkon tuottavuuteen alueilla joissa tyyppi on kasvua rajoittava ravinne. Kuitenkin, lyhyellä aikavälillä, alueilla joissa kalium on kasvua rajoittava tekijä, hakkuutähteen korjuu saattaa vaikuttaa puun tuotokseen. Tutkimuksen mukaan boreaalisella metsävyöhykkeellä hakkuutähteen korjuun vaikutuksella maan fysikaalisiin ominaisuuksiin voi olla suurempi vaikutus kestävään metsänhoitoon kuin ravinteiden saatavuudella ja että hakkuutähteen korjuun lyhytaikaiset vaikutukset ravinteiden kiertoon saattavat olla monimutkaisia ja vaikeita ennustaa.

Wallin & Hytösen (2010) pitkän aikavälin tutkimus selvitti hakkuutähteen korjuun vaikutuksia maaperän ravinnetalouteen, maaperäkemiaan ja puun kasvuun kuusen päätehakkuualoilla Keski-Suomessa. Tutkimuksessa todettiin, että neulasten jätö hakkuualalle paransi maaperän ravinnepitoisuuksia pitkällä aikavälillä, erityisesti typen osalta. Tutkimuksessa hakkuutähteen korjuun vaikutus 30- vuotiaan kuusikon pituuteen oli merkittävä. Tutkimuksessa käytettyjen lohkojen korkeuseroilla oli kuitenkin suurempi vaikutus puun läpimittaan, korkeuteen ja kantojen määrään kuin hakkuutähteen korjuulla. Tutkimus osoittaa, että tutkimusalojen vallitsevilla olosuhteilla voi olla suuri vaikutus tutkimustuloksiin. Hakkuutähteen varastoinnilla ja kuivauksella palstalla on puuston kasvun ja ravinteiden (erityisesti typen) saannin kannalta pitkällä aikavälillä merkittävä vaikutus. Hyvän metsänhoidon suositusten mukaan hakkuutähteen tulisi kuivata palstoilla kasoissa ennen välivarastoon tai haketukseen siirtämistä.

6.3.3 Kokopuun korjuun ja varastoinnin vaikutus maaperään

Harvennushakkuissa syntyvän hakkuutähteen määrä ja hakkuutähteen sisältämät ravinnemäärät ovat melko pieniä verrattuna avohakkuussa syntyvien hakkuutähteen määrään. Humuskerroksen ravinnevarastojen kokoon suhteutettuna kokopuun korjuussa poistuu eniten kaliumia, kalsiumia ja magnesiumia. Metsäntutkimuslaitoksen (Ilvesniemi ym. 2012) tutkimusten mukaan osalla kasvupaikoista harvennushakkuiden yhteydessä tehty hakkuutähteen korjuu heikensi kasveille käyttökelpoisen typen vapautumista orgaanisesta aineksestä hajotuksen yhteydessä. Lisäksi hakkuutähteen korjuu aiheutti pitkäaikaisia muutoksia maan orgaanisen aineen koostumuksessa alentamalla esimerkiksi joidenkin terpeenien pitoisuuksia.

6.3.4 Kokopuun korjuun ja varastoinnin vaikutus maaperään Keski-Suomessa

Keski-Suomen alueella tehtyjen tutkimusten mukaan kokopuun korjuu aiheuttaa muutoksia maaperän C/N- suhteisiin (hiili/typpi) kuusikon harvennuskohteilla verrattuna pelkkään harvennushakkuuseen. Smolanderin ym. (2010) tutkimuksessa havaittiin, että toistuva hakkuutähteen poisto alensi maaperän C/N mineralisaatiota. Erot koko- ja ainespuualojen välillä olivat huomattavissa koealoilla vielä 19 vuoden jälkeen Petäjävedellä sijaitsevalla koealalla. Tutkimuksessa havaittiin, että hakkuutähteet sisältävät suuria pitoisuuksia fenolihdisteitä ja terpeenejä, jotka säätelevät typen muuntumista metsämailla.

Luiron ym. (2009) tutkimuksessa selvitettiin kokopuunkorjuun pitkäaikaisvaikutuksia kuusikon ja männikön neulasten ravinnepitoisuuksiin. Keski-Suomessa sijaitsevalla kuusen harvennuskoealalla neulasten kaliumin pitoisuus oli merkittävästi alempi 5 vuotta kokopuun korjuun jälkeen verrattuna ainespuun korjuuseen. Suomessa kaliumin puutetta on havaittu vain turvemaidella, mutta ankara kaliumin puutos saattaa rajoittaa puuston kasvua merkittävästi ja nopeasti.

Dightonin ym. (2012) tutkimuksessa selvitettiin koealalle jätettyjen erikokoisten hakkuutähdekasojen vaikutusta puuston kasvuun ja maaperän kemiaan sekä juuristoon. Tutkimustulokset osoittivat, että aloilla joissa oli suuremmat hakkuutähdekasat havaittiin merkittävästi puuston biomassamäärän kasvua. Maaperän pH:ssa ei huomattu merkittäviä muutoksia. Muutamia muutoksia maaperän kemiassa, erityisesti kasvua rajoittavien kalium ja kalsium pitoisuuksissa havaittiin, mutta tulokset eivät olleet johdonmukaisia lisätyn hakkuutähdemäärän kanssa. Odotusten vastaisesti typpi- ja fosforipitoisuuksien määrän lisääntymistä maaperässä ei havaittu. Juuriston biomassassa ei muuttunut suhteessa maahan sijoitetun

hakkuutähteen kanssa. Tammisen ym. (2012) lyhyen aikavälin tutkimuksissa kokopuun korjuun todettiin vähentävän maaperän ravinteisuutta männiköissä ja kuusikoissa, mutta vain marginaalisesti. Hakkuutähteen on kuitenkin todettu vapauttavan ravinteita vasta pidemmän ajan kuluessa.

Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusten (Palviainen 2012) mukaan metsän koko kiertoajan kattavien laskelmien perusteella kokopuukorjuu ei ole useimmissa metsissä ravinnetaloudellisesti kestävä. Vaikka hakkuutähteistä jätettäisiin energiapuun korjuun ja kasvatuksen Hyvän metsänhoidon suositusten mukaisesti 30 % kasvupaikalle, ravinnetase jää negatiiviseksi. Runkopuu- ja kokopuukorjuun aiheuttamat ravinnepoistumat hakattua runkopuukuutiometriä kohden ovat suuremmat kuusikoissa ja koivikoissa kuin männiköissä.

Tutkimukset osoittavat, että kokopuun korjuulla on merkittäviä vaikutuksia maaperän ravinnevaroihin sekä puuston kasvuun ja terveyteen, vaikka Hyvän metsänhoidon suositusten mukaisia kokopuun korjuun rajoitteita noudatettaisiin.

6.3.5 Kantojen korjuun vaikutukset maaperään Keski-Suomessa

Kataja-ahon ym. (2011a) tutkimuksessa selvitettiin kantojennoston vaikutuksia maaperän C/N muutokseen lyhyellä aikavälillä kuusikon päätehakkuualoilla Keski-Suomessa. Koealueilla käytettiin olemassa olevia metsätalousmenetelmiä: perinteinen maanmuokkaus ja kantojen korjuu. Hakkuutähteistä 70 % oli korjattu pois. Kaikkein suurin vaikutus kantojen korjuulla on maaperän C/N:n dynamiikkaan perustuen faktaan, jonka mukaan kantojen korjuu sekoittaa maaperän orgaanista kerrosta laajemmalla alalla kuin perinteinen maanmuokkaus; C/N suhde on yleensä alempi syvämmässä maaperässä. Maaperän fysikaaliset häiriöt vahvistavat muutoksia maaperän lämpötiloissa ja kosteustiloissa ja täten aiheuttavat selviä muutoksia maaperän ravinnekiertossa ja vähentävät maaperän tyyppiä ja muita ravinteita. Vahvempi ja syvämpi maanmuokkaus aiheuttaa erilaista häiriötä maaperään kuin perinteinen muokkaus. Orgaanisen aineksen määrä ei vaihdellut koekäsittelyjen välillä. Pitkäaikaisvaikutuksia maaperän happamuuteen, ravinnekiertoon tai muihin maaperän ominaisuuksiin ei tunneta.

6.4 Metsäbioenergian korjuun ja varastoinnin vaikutus eliöstöön

Metsätalous on yksi tärkeimpiä Suomen luonnon monimuotoisuuden vaikuttavia tekijöitä. Avohakkuun seurauksena osa vanhan sulkeutuneen metsän lajistosta häviää, ja tilalle tulee sukkession alkuvaiheen avoimeen ympäristöön sopeutunutta lajistoa. Melko suuri osa lajis-

tosta pystyy säilymään avohakkuun yli, mutta lajiston runsaussuhteissa tapahtuu suuria muutoksia. Tutkimusten mukaan hakkuutähteiden korjuun vaikutuksen lisävaikutus avohakkuuseen verrattuna on vähäinen. Harvennushakkuut muuttavat samoin metsikön olosuhteita ja lajistoa, mutta myös kokonaan ilman käsittelyjä kehittyvässä metsikössä puuston rakenne ja lajisto muuttuvat vähitellen sukcession seurauksena. Järeän lahopuun määrä talousmetsissä on yli 95 % pienempi kuin luonnonmetsissä. Lahopuun määrän väheneminen tehokkaan metsien käytön seurauksena on keskeisin niistä metsätalouden seurannaisvaikutuksista, jotka ovat johtaneet lukuisten metsälajien taantumiseen tai uhanalaistumiseen. Kantojen korjuu ja maanmuokkaus aiheuttavat suuria muutoksia maaperän olosuhteissa, millä saattaa olla vaikutuksia eliöstöön (Siitonen 2008). Kokopuun korjuun vaikutuksia eliöstöön ei tunneta.

6.4.1 Hakkuutähteen ja kantojen korjuun ja varastoinnin vaikutus lahopuusta riippuvaisiin eliöihin

Talouksmetsissä, joissa luontaisesti esiintyvät suurten häiriöiden jälkeiset lahopusuknessiot puuttuvat kokonaan, avohakkuualojen lahopuu on merkittävä lahopuu- eli saproksyyllilajien resurssi. Lahopuun määrän väheneminen tehokkaan metsien käytön seurauksena on tärkein yksittäinen metsälajien uhanalaistumisen syy. Eliöryhmiä, joita energiapuun korjuu ja lahopuun määrän väheneminen erityisesti koskee on yhteensä noin 4000 - 5000 lajia, eli vähintään viidennes kaikista metsälajeista. Lajimäärältään suurimpia ryhmiä ovat lahotajasienet, kovakuoriaiset, kaksisiipiset ja loispistiäiset (Siitonen 2008).

Uhanalaisia ja silmälläpidettäviä metsälajeja on uusimman uhanalaisarvioinnin mukaan 1590 lajia, joista 523 lajille (33 %) lahopuun väheneminen on yksi uhanalaisuuden syy (Rassi ym. 2010). Pieniläpimittaisen lahopuun (< 10 cm) määrä – samoin kuin kantojen määrä – puolestaan on lisääntynyt metsätalouden seurauksena. Lahopuulajien esiintymiselle pieniläpimittainen lahopuu on osoitettu tärkeäksi resurssiksi tavallisissa talouskuusikoissa, joissa järeää lahopuuta on tyypillisesti hyvin vähän (Siitonen 2012).

Järeä lahopuu on uhanalaisen lahopuusta riippuvaisen lajiston kannalta tärkeämpi elinympäristö kuin pieniläpimittainen lahopuu. Suurin osa uhanalaisista lahopuulla elävistä lajeista suosii vähintään 20 cm läpimittaisia kuolleita puita. Lajit, jotka tulevat toimeen myös pieniläpimittaisella lahopuulla tai kannoilla, eivät ole yleensä metsätalouden seurauksena uhanalaistuneet. Suomen saproksyyllilajeista ei ole arviota siitä, mikä osuus näistä lajeista elää < 10 cm läpimittaisella lahopuulla, mutta Ruotsissa tehdyn tutkimuksen mukaan pieni-

läpimittaisen lahopuun merkitys saproksyyllilajiston monimuotoisuudelle näyttäisi olevan suurempi kuin mitä aiemmin on uskottu. Yksittäiset tutkimustulokset osoittavat, että sekä hakkuutähteillä että hakkuukannoilla elää yhtä rikas saproksyyllilajisto kuin luontaisesti syntyneillä lahoppuulaaduilla. Laajan mittakaavan ja pitkän aikavälin vaikutuksia lahoppuusta riippuvaisten lajien populaatiokokoihin vaatii kuitenkin lisätutkimusta. Energiapuun korjuukoneet tuhoavat hakkuualojen lahoppuuta – ilman energiapuun korjuutakin uudistus-hakkuualojen maapuusta on osoitettu tuhoutuvan ja/tai hautautuvan peräti 70 % hakkuun ja maanmuokkauksen vuoksi (Siitonen 2012).

Hakkuutähteiden korjuuseen liittyy saproksyyllilajiston kannalta lisääntymispaikkojen vähenemisen lisäksi myös haitallinen pyydysvaikutus. Lahoppuun tuottamien kemiallisten aineiden perusteella lisääntymispaikoilleen suunnistavien lahoppulajien (erilaiset hyönteiset kuten nilaa ja puuta syövät lajit sekä niiden pedot ja loiset) kohdalla hakkuutähdekasojen houkutusvaikutus saattaa olla näiden lajien populaatioille paikallisesti tuhoisaa, kun suurin osa yksilöistä munii hakkuutähdekasoihin, jotka korjataan energiakäyttöön ennen kuin jälkeläiset ovat aikuistuneet. Hakkuutähdekasojen pyydysvaikutuksen mahdollisista vaikutuksista lajimääriin ja populaatiokoostumukseen ei ole määrällisiä arvioita (Siitonen 2012). Hakkuutähdekasojen varastoiminen palstalla ja kasojen korjuuajankohdan huomioiminen voisi vähentää korjuun pyydysvaikutuksia saproksyyllilajeihin. Siitosen (2012) mukaan hakkuutähteet ja kannot toimivat myös varjostusta ja kosteutta säilyttävinä suojapaikkoina suurelle joukolle lajeja (esim. pikkunisäkkäät, linnut, maakiitäjäiset), mutta energiapuun korjuun vaikutusta näihin lajeihin ei ole juurikaan tutkittu.

6.4.2 Hakkuutähteen ja kantojen korjuun ja vaikutus lahoppuusta riippuvaisiin eliöihin Keski-Suomessa

Toivasen ym. (2011) tutkimuksessa selvitettiin hakkuutähteiden ja kantojen poiston vaikutusta erilaisiin hajottajasieniin Keski-Suomessa MT- kuusikon päätehakkuualoilla. Tutkimus tehtiin 4-5 vuotta päätehakkuun jälkeen. Tutkimustulosten mukaan kääpien esiintyminen ja lajimäärä väheni koealoilla, joissa hakkuutähteet ja kannot oli poistettu. Hajottajasienien yleisimpien lajien määrät puolestaan kasvoivat; helttasienien yleisin laji (*H. auranthiaca*) esiintyi useammin metsäbioenergian korjuualoilla. Tutkimuksen mukaan kannot ovat tärkein puulaji hajottajasienien kannalta.

Toivasen ym. (2011) tutkimuksessa todettiin, että hakkuutähteiden ja kantojen korjuu ei johda välittömästi paikallisten lajien sukupuuttoihin, mutta muutokset elinympäristön mo-

nimuotoisuuden heikkenemisessä on kuitenkin havaittavissa, erityisesti pienessä mittakaavassa. Kannot ovat pitkäaikainen resurssi lahottajasienilajeille hakkuutähteisiin verrattuna ja ne saattavat tarjota suojan monille eliöille alueilla joissa hakkuutähteet korjataan, ennen kuin uutta lahoppuainesta tai kariketta syntyy. Kantoja tulisi jättää korjaamatta lahoppuun säilymistä turvaamiseksi metsätalouksissa. Pitkäaikaistutkimusta tarvitaan, jotta kantojen korjuun vaikutukset tulevat selvemmin. Tutkimus osoittaa kantojen merkityksen metsien lahoppuuresurssina, mutta ei ota kantaa minkä verran kantoja olisi mahdollista korjata ilman vaaraa monimuotoisuuden heikkenemisestä.

6.4.3 Hakkuutähteen ja kantojen korjuun vaikutus lahoppuun määrään ja laatuun Keski-Suomessa

Järeän lahoppuun määrä talousmetsissä on yli 95 % pienempi kuin luonnonmetsissä. Pieniläpimittaisen lahoppuun (< 10 cm) määrä – samoin kuin kantojen määrä puolestaan on lisääntynyt metsätalouden seurauksena. Eräjään ym. (2010) tutkimuksessa selvitettiin lahoppuun määrää ja laatua päätehakkuun ja hakkuutähteen ja kantojen korjuun jälkeen Keski-Suomen kuusikoissa. Tutkimuksessa havaittiin, että lahoppuun kokonaistilavuus oli odotettua suurempi. Erityisesti pieniläpimittaista (< 10 cm) lahoppuuta oli runsaasti. Suurta määrää selittää erityisen tarkka lahoppuun mittausmenetelmä. Tutkimustulos osoittaa, että pieniläpimittainen lahoppu saattaa olla tärkeä resurssi siitä riippuvaisille eliöille, jos järeää lahoppuuta on niukasti. Tutkimuksen mukaan energiapuun korjuualoilla oli 81 % vähemmän kantoja kuin kontrollialoilla, jossa metsäbioenergiaa ei korjattu. Energiapuun korjuualoilla kannot muodostivat 10 % lahoppuusta, kun tavanomaisilla päätehakkualoilla määrä oli 35 %. Tutkimus osoittaa, että energiapuun korjuu yksipuolistaa päätehakkuun lahoppukoostumusta ja että kantojen osuus lahoppuusta vähenee korjuussa huomattavasti. Suomen saporoksyylilajeista ei ole tehty kattavaa arviota siitä, mikä osuus lajeista elää < 10 cm läpimitaisilla kuolleilla puilla tai rungonosilla, ja mikä osuus hakkuukannoilla (Siitonen 2012).

Rabinowitsch-Jokisen & Vanha-Majamaan (2010) tutkimuksessa vertailtiin hakkuutähteen poiston ja maanmuokkauksen sekä hakkuutähteen, kantojen poiston ja maanmuokkauksen vaikutuksia karikkeen määrään ja lahoamisasteeseen. Koealat sijaitsivat MT- ja OMT- kuusikoiden päätehakkualoilla Keski-Suomessa. Hakkuutähteen korjuu alensi karikkeen määrää korjuualoilla 15 %. Myös uutta kariketta muodostui ainespuun korjuun yhteydessä, mutta tästä huolimatta karikkeen kokonaismäärä laski. Uudistusaloilla vanhemman karikkeen määrä ja laatu muuttuu. Uusi pääasiassa kannoista hakkuualoille synty-

vä karikke osittain kompensoi vanhan karikkeen poistumaa. Tulokset osittavat myös että mitä voimakkaampi maanmuokkausmenetelmä on (mätästys vs. kantojen korjuu), sitä enemmän kariketta syntyy. Toisaalta kantojen korjuu alensi merkittävästi kokonaiskarikkeen määrää; kantojen osittainen korjuu voi poistaa jopa neljänneksen potentiaalisesta hakkuualalla maanmuokkauksen jälkeen jäljellä olevasta karikkeesta. Tutkimuksessa havaittiin myös, että kantojen korjuualoilla elävät puut kuolivat nopeasti neljällä viidestä koelasta muodostaen uutta kariketta. Tämä voi johtua puiden juurien vahingoittumisesta kantojen korjuun yhteydessä. Tutkimuksen mukaan metsissä on oletettua enemmän pieniläpimittaista lahoppuuta, jonka määrä on kasvanut metsätalouden seurauksena. Suomen saproksyytilajeista tulisi selvittää, mitkä lajit pärjäävät pieniläpimittaisella lahoppuulla ja mitkä vaativat järeää lahoppuuta. Tästä voitaisiin tehdä suosituksia metsäenergian korjuun suhteen. Kantojen korjuu uhkaa sekä kokonaiskarikemäärän, että järeän runkopuun määrää talousmetsissä.

6.4.4 Hakkuutähteen ja kantojen korjuun vaikutus maaperäeliöstöön

Päätihakkuu ja hakkuutähteen poisto vaikuttavat maaperäeliöiden fysikaaliseen ympäristöön ja saatavilla olevaan ravintovarastoon. Hakkuutähteen poistolla voi olla monia eri vaikutuksia maaperäeliöstön koostumukseen ja toimintaan. Maaperäeliöille ravinnonlähteenä käytettävissä olevan biomassan määrä pienenee, lämpötila ja kosteusolot humuskerroksessa muuttuvat äärevimmiksi suojaavien hakkuutähteen puuttuessa, hajottajille tärkeä C/N-suhde (hiili/typpi-suhde) muuttuu ja maaperän happamuus kasvaa. Muutokset maaperäeliöstössä voivat osaltaan vaikuttaa kasvupaikan pitkän aikavälin tuottokykyä alentavasti. Vaikutukset olisivat siis samansuuntaisia kuin hakkuutähteen poiston aiheuttama maaperän ravinnevaraston väheneminen; käytännössä molemmat vaikutukset näkyvät alentuneena puuston kasvuna (Siitonen 2012).

Tämän hetkisen tutkimustiedon valossa hakkuutähteen korjuu ei näytä vaikuttavan oleellisesti lahottajasienten tai mykorritsasienten lajirikkauteen, lajikoostumukseen, biomassaan tai sienirihmaston määrään maassa. Kuitenkin kokeissa, joissa on korjattu sekä hakkuutähde päätihakkuun yhteydessä että pienpuu harvennushakkuiden yhteydessä, humuskerros oli ohuempi ja sienijuurten määrä pienempi kuin verrokkialoilla. Kantojen noston vaikutuksista maaperän mykorritsaverkoston ja sienilajistoon tiedetään edelleen hyvin vähän. Sienijuurten määrän pieneneminen voi puolestaan vaikuttaa puiden ravinnonottoon ja kasvuun (Siitonen 2012).

6.4.5 Kantojen korjuun vaikutus maaperäeliöihin Keski-Suomessa

Kataja-ahon ym. (2011a) tutkimuksessa selvitettiin kantojen korjuun lyhyen aikavälin vaikutuksia maaperän hajottajaeliöihin. Koealue sijaitsi Keski-Suomen alueella kuusikon päätehakkuualoilla. Tutkimuksen mukaan maan voimakas muokkaantuminen vaikuttaa enemmän ekosysteemin kuin itse kannon poistaminen. Kantojen poiston yhteydessä maanpinta rikkoontuu ja kivennäismaata paljastuu 2 - 3 kertaa enemmän kuin tavanomaisessa maanmuokkauksessa kuten laikkumätästyksessä; häiriintymättömän metsämaan osuudet pienenevät ja paljastuneen mineraalimaan osuus kasvaa. (Kataja-aho ym. 2011a). Maanmuokkauksen seurauksena tutkimuksessa havaittiin sukkula- ja änkyrimatojen lukumäärien vähentyminen. Muissa hajottajaeliöryhmissä eroa ei havaittu. Mikrobi- ja hyppyhäntäisyhteisöt erosivat selvästi paljastuneen ja ehjän maanpinnan välillä. Rikkoontuneessa maanpinnassa oli vähemmän tutkittuja hajottajaeliöyhteisöjen edustajia kuin ehjällä maapinnalla. Mikrobiyhteisöjen määrä voi vaikuttaa maaperän ravinnekiertoon pitkällä aikavälillä.

Kataja-ahon ym. (2011b) toisessa tutkimuksessa selvitettiin kantojen noston vaikutuksia häiriöttömän maaperän hajottajaeliöstöön 4 vuotta päätehakkuun jälkeen. Koealat sijaitsivat Keski-Suomessa kuusikon päätehakkuualoilla. Aloilta oli poistettu myös 70 % hakkuutähteistä. Tulokset osoittivat, että tavanomainen kantojen korjuu ei aiheuta äärimmäisiä tai johdonmukaisia muutoksia häiriöttömillä maa-aloilla elävissä hajottajayhteisöissä verrattuna tavanomaiseen maanmuokkaukseen. Vain muutamia vähäisiä muutoksia maaperän mikrobitoiminnassa ja eliöiden runsauksissa havaittiin.

6.4.6 Hakkuutähteen ja kantojen korjuun ja varastoinnin vaikutus kasvillisuuteen

Tutkimusten tulosten mukaan avohakkuulla sinänsä on suuri vaikutus kasvilajistoon, johon verrattuna hakkuutähteen poiston lisävaikutus on vähäinen. Hakkuutähteen poisto yleensä vähentää tiettyjen kasvilajien runsauksia, mutta toisaalta lisää toisten lajien runsauksia. Väheneviä lajeja ovat typpeä 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. Energiapuun korjuun vaikutuksista harvinaisten kasvilajien säilymiseen ei ole tutkimustietoa. Suurin osa harvinaisista metsäkasvilajeista esiintyy kuitenkin ympäristöstään poikkeavilla kasvupaikoilla jotka rajataan pääosin

hakkuiden ulkopuolelle, eikä niillä siten tehdä myöskään energiapuun korjuuta (Siitonen 2012).

Siitosen (2008) mukaan kasvillisuudessa hakkuutähteen korjuun vaikutukset sammallajistoon ovat suurempia. Tutkimusten mukaan metsäsammalten peitto väheni noin 50 %, ja kolmannes maksasammallajeista hävisi hakkuutähteen poiston seurauksena. Hakkuutähteet vaikuttavat sammallajistoon pääasiassa tarjoamalla suojaa paahdetta ja kuivumista vastaan. Yleisten ja runsaiden kasvilajien runsauden muutoksilla voi olla merkittäviä seurannaisvaikutuksia. Kannonnostosta kärsivät useimmat kasvullisesti lisääntyvät kloonikasvit kuten mustikka. Mustikka on metsissä kenttäkerroksen runsain kasvilaji. Mustikan väheneminen on pääasiassa avohakkuiden ja maanmuokkauksen seurausta. Mustikan vähenemisellä saattaa olla myös epäsuoria monimuotoisuusvaikutuksia. Mustikka on varttuneissa metsissä tärkein kasvinsyöjähyönteisten ravintokasvi, jolla elää toukkana noin 80 perhoslajia ja viisi sahapistiäislajia. Kasvinsyöjähyönteisten toukat ovat puolestaan tärkeä ravintokohde monille hyönteissyöjälinnuille niiden pesimäaikaan – esimerkiksi metson poikasten tärkein ravintokohde muutaman ensimmäisen elinviikon aikana (Siitonen 2008).

Putkilokasvilajeja ilmestyy sitä enemmän, mitä enemmän käsittelyssä aiheutetaan maaperähäiriöitä, kannonnosto on siis putkilokasveille edullisempi toimenpide tavanomaiseen maanmuokkaukseen verrattuna. Uudet lajit olivat valtaosin joko tehokkaasti leviäviä, kilpailuvapaata kasvutilaa nopeasti hyödyntäviä lajeja tai maanpinnan rikkomisesta aktivoituvia siemenpankkilajeja. Hakkuutähteen pääasiallinen vaikutus putkilokasvilajistoon liittyy neulasten mukana tulevaan ravinnelisäykseen (Siitonen 2012). Putkilokasvilajiston hyödyntäjillä, esimerkiksi perhosilla, energiapuun korjuun monimuotoisuusvaikutukset ilmenevät epäsuorasti. Oksien korjuun jälkeen ravintokasvit eivät jää peittoon ja maanpinnan rikkominen tuo runsaasti uusia kasvilajeja ja niiden herbivoreja, kuten perhosia. Varttuneen metsän perhoslajisto puolestaan taantuu tai häviää jo pelkän hakkuun vuoksi, eli energiakäyttö ei sinänsä tuo lisää negatiivisia vaikutuksia (Antikainen ym. 2007).

6.4.7 Kantojen korjuun ja vaikutus kasvillisuuteen Keski-Suomessa

Kataja-ahon (2011b) tutkimuksessa selvitettiin kantojen poiston vaikutuksia kasvillisuuden kuusikon päätehakuualoilla Keski-Suomessa. Tutkimuksessa havaittiin, että kasvillisuuden lajimäärä oli suurempi kannonnostoaloilla. Kantojen poisto ja maanmuokkaus vaikuttivat kasvilajien runsauksiin: mustikka, puolukka ja seinäsammal ja kynsisammaleet

vähenevät selvästi, kun taas vadelma ja koivu hyötyivät kantojen poistosta ja maanmuokkauksesta. Tutkimuksessa havaittiin, että kuusen taimet kasvoivat 10 % nopeammin tavanomaiseen uudistushakkuualueeseen verrattuna.

Nykyistä suurempi uudistushakkuupinta-ala ja selvästi laajamittaisempi maanmuokkaus ja kantojen korjuu ovat vähentäneet selvästi mustikan ja muiden varpujen peittävyyttä ja samalla niistä riippuvaista lajistoa (Siitonen 2012). Tutkimustulokset ovat usein hyvin paikariippuvaisia, eliöstöä tutkittaessa myös muut olosuhteet vaikuttavat olennaisesti. Pitkäaikaistutkimuksesta puutetta.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Suomen metsäkeskuksen (Kauppinen 2013) laskelmien mukaan energiapuuvarojen kokonaispotentiaali on Keski-Suomessa yhteensä 3 390 000 m³ vuodessa. Tästä määrästä teknis-ekologisesti on mahdollista käyttää 1 765 000 m³, eli 52 %. Näiden lukujen perusteella Keski-Suomen metsäbioenergian teknis-ekologinen korjuupotentiaali on riittävä Keski-Suomen ilmastostrategian 2020 ja Keski-Suomen Metsäohjelman 2011 – 2015 asettamalle 1 200 000m³ tavoitteelle energiapuun käytölle.

Mikäli tavoitteet energiapuun käytölle Keski-Suomessa toteutuvat, metsäbiomassa tullaan korjaamaan Keski-Suomen teknis-ekologisesta korjuupotentiaalista 68 % ja energiapuun kokonaispotentiaalista 35 %. Energiapuun lisäysmäärä kohdistuu erityisesti lisääntyvään hakkuutähteiden sekä kantojen ja juurakoiden korjuuseen. Vuonna 2011 pienpuun ja järeän runkokuun käytön osalta oli jo saavutettu tavoitemäärä, mikä viittaa kuitupuun käyttöön polttoaineena (Kauppinen 2013). Tällä hetkellä metsäbioenergian korjuu on sidoksissa metsäteollisuuteen ja metsien hakkuumääriin. Metsäteollisuuden tulevaisuutta ja hakkuiden määriä on vaikea ennustaa. Todennäköistä on että kaikkien puumassaositteiden, erityisesti hakkuutähteiden ja kantojen käyttö tulee lisääntymään Keski-Suomessa tavoitteiden mukaisesti.

Metsän uudistaminen on itsessään suuri häiriö metsän luontoympäristölle ja suhteutettuna tähän metsäbioenergian korjuun ja varastoinnin vaikutukset ovat pieniä. Metsäbioenergian korjuu aiheuttaa kuitenkin omalta osaltaan luontoympäristövaikutuksia maaperään, vesistöön ja eliöstöön, sekä välillisesti ilmastoon. Luontoympäristövaikutusten arviointi ja tut-

kimus on hyvin paikka- ja olosuhderiippuvaista joten tutkimusten soveltaminen voi olla vaikeaa. Synteesiin on pääosin poimittu Keski-Suomen alueella toteutettujen tutkimusten tuloksia. Voi olla, että muualla Suomessa toteutuneet tutkimukset ovat myös sovellettavissa Keski-Suomen alueelle. Synteesin aineiston perusteella, erityisesti Keski-Suomen alueella tehtyjen kokeiden perusteella vahvimmat luontoympäristövaikutukset ovat seurausta hakkuutähteen korjuusta johtuvan maaperän ravinnetaseen heikkenemisenä sekä kantojen korjuusta seuraavat muutokset maaperän fysikaalisissa ominaisuuksissa ja lahopuun määrän väheneminen.

Metsäbioenergian korjuu saattaa myös aiheuttaa ravinnetaseiden heikkenemistä, jolla saattaa olla pitkän aikavälin vaikutuksia puuston tuotokseen ja kasvuun ja sitä kautta myös metsiin hiilivarastoina. Erityisesti kokopuun korjuu nähdään ravinnetaloudellisesti kannattamattomana. Keski-Suomen alueella pienpuulle asetettu energiapuumäärätavoite on jo saavutettu 2011, mutta määrä viittaa siihen, että energiantuotannossa on käytetty kuitupuuta. Mikäli energiapuun hinta kasvaa, kokopuun korjuu saattaa lisääntyä haittavaikutuksista huolimatta. Uusimmat tutkimustiedot osoittavat että kokopuun korjuu johtaa useimmissa tapauksissa ravinnetaloudellisiin tappioihin, vaikka 30 % hakkuutähteistä jätettäisiin Hyvän metsänhoidon suositusten mukaisesti korjuualalle (Palviainen 2012).

Uudishakkuilta korjattavan hakkuutähteen vallitseva korjuumenetelmä oli vuonna 2011 tienvarsihaketus, mikä viittaa siihen, että hakkuutähde korjataan tuoreena palstalta tienvarsi-varastoon kuivumaan. Mikäli 35 % Keski-Suomen energiapuun korjuupotentiaalista kerätään vuosittain ”tuoreena” tienvarsi-kasoihin, saattaa tämä merkitä ajan kuluessa merkittäviä ravinnetaloudellisia tappioita, sekä kokopuun että hakkuutähteiden korjuukohteille. Keski-Suomen ilmastostrategian 2020 mukaan biomassan korjuumenetelmiä tulee kehittää siten, että metsän ravinnetasapaino ei vaarannu (Keski-Suomen liitto 2011), tämä tulisi huomioida hakkuutähteen varastointia toteutettaessa. Hakkuutähteiden varaston sijainnilla palstalla tai tienvarressa on myös merkittävä vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen: Hyvän metsänhoidon suositusten noudattaminen oleellista energiapuun varastopaikkoja valittaessa vesistövaikutusten minimoimiseksi.

Kantojen korjuu aiheuttaa lisärasitusta maaperään sekä korjuukoneiden lisääntyvien käyntimäärien vuoksi, mikä johtaa maaperän tiivistymiseen, että korjuusta johtuvan lisääntyneen maanmuokkauksen myötä. Keski-Suomen metsäbioenergialle asetettujen tavoitteiden mukaisesti kantojen korjuu tulee lisääntymään. Paitsi kuusen, myös mäntyjen kantoja kor-

jataan. Mäntyjen kantojen nosto aiheuttaa kuusen kantoja enemmän esim. fysikaalisia vaikutuksia maaperään, mutta mäntyjen kantojen noston vaikutuksista ei ole tutkimuksia. Lisääntyneen kantojen korjuun seurauksena riskit maaperäeroosion ja vesistövaikutusten kuten raviteiden huuhtoutumisen osalta kasvavat. Keski-Suomessa tehtyjen tutkimusten mukaan esimerkiksi nitraattitypen pitoisuudet pinta- ja pohjavesissä kasvoivat avohakkuun ja maanmuokkauksen seurauksena. Kantojen korjuulla ei synteisin valittujen tutkimusten perusteella kuitenkaan ollut selkeästi suurempaa vaikutusta vesistöihin (Kubin 2012). Tämä voi selittyä korjuukohteen sijainnilla tai ajankohdalla. Metsäbioenergian korjuun ja varastoinnin vaikutuksista vesistöön on hyvin niukasti tietoa ja tutkimustulokset saattavat olla hyvin paikka- ja olosuhderiippuvaisia. Kantojen kasvava käyttö energiantuotannossa on yksi syy, miksi metsien vesiensuojelun ohjeita ollaan uusimassa.

Tutkimusten mukaan hakkuutähteiden ja kantojen korjuu voi aiheuttaa heikentäviä muutoksia Keski-Suomen talousmetsien monimuotoisuudessa, erityisesti niiden eliöiden osalta jotka ovat riippuvaisia järeästä lahpuusta. Toivasen (2011) tutkimuksessa todettiin että hakkuutähteen ja kantojen korjuulla on merkitystä hajottajasienien lajimääriin ja esiintymiseen muuttaen näin lajirunsausta korjuualoilla. Eräjään ym. (2010) mukaan järeän lahpuun määrä on laskenut rajusti, mutta pieniläpimittaisen lahpuun määrä oli odotettua suurempi. Kokonaisuudessaan hakkuutähteen ja erityisesti kantojen korjaaminen kuitenkin vähentää karikkeen määrää metsäpalstalla (Rabinowitsch-Jokinen & Vanha-Majamaa 2010). Suomen lahpuusta riippuvaisista lajeista ei ole tietoa mikä osuus lajeista elää järeällä tai pieniläpimittaisilla lahpuilla. Kantojen nostosta johtuva maanmuokkaus aiheuttaa muutoksia eri eliölajien määrissä ja runsaussuhteissa. Kannonnostoaloilla kasvilajien lajimäärä oli suurempi. Kantojen poisto ja maanmuokkaus vaikuttivat kasvilajien runsauksiin: mustikka, puolukka ja seinäsammal ja kynsisammaleet vähenivät selvästi, kun taas vadelma ja koivu hyötyivät kantojen poistosta ja maanmuokkauksesta (Kataja-aho 2011b).

Metsäbioenergian korjuulla ei ole tunnistettuja pitkän aikavälin vaikutuksia eliöstöön, mutta metsäbioenergian korjuun ja varastoinnin luontoympäristövaikutuksien tutkimustieto on kuitenkin suhteellisen uutta, ja useiden tutkimusten seuranta-aika on lyhyt. Keski-Suomen ilmastostrategian 2020 mukaan luonnon monimuotoisuudesta huolehtiminen ja ekosysteemipalveluiden turvaaminen ovat tärkeitä ilmastonmuutokseen sopeutumisen kannalta. Metsäbioenergian korjuun vaikutuksia monimuotoisuuteen tulee tarkkailla ottaen metsäbioenergian korjuumääriä kasvatettaessa, jotta monimuotoisuus pystytään turvaamaan jatkossa.

Metsäbioenergian korjuusta johtuva monimuotoisuuden heikkeneminen on uhka metsillemme ja vaikuttaa niiden kestävyYTEEN.

Suurin osa synteessin tutkimuksissa tehdyistä kokeista on tehty Hyvän metsänhoidon suosituksia noudattaen, monet metsäbioenergian luontoympäristövaikutuksia voidaan minimoida noudattamalla annettuja suosituksia mm. korjuuajankohdalle, korjuumäärille, lahoppuun määrälle ja suojakaistoille. Myös korjuutyötä tekevän ammattilaisen ohjeistus on tärkeää. Tällä hetkellä Suomessa ei kuitenkaan ole lainsäädäntöä, mikä velvoittaa toimimaan Hyvän metsänhoidonsuositusten mukaisesti. Suosituksia ei aina noudateta, joten todellisuudessa luontoympäristövaikutukset saattavat olla tutkimustuloksia suuremmat. Tässä tutkielmassa ei selvitetty, kuinka suuri osa metsäbioenergian korjuuseen ja varastointiin liittyvistä toimenpiteistä tehdään suositusten mukaisesti.

Valtaosa metsäbioenergian korjuupotentiaalista sijaitsee yksityisten metsänomistajien metsissä. Tutkimusten mukaan tällä hetkellä 1/3 yksityisistä metsänomistajista ei halua kantoja nostettavan päätehakkuualoilta. Mikäli metsäbioenergian tuotannosta aiheutuu suuria ja näkyviä luontoympäristövaikutuksia metsänomistajien halukkuus metsäbioenergian käyttöön laskee edelleen. Esimerkiksi kantojen nostosta johtuvat maisemanmuutokset ja muutokset kasvilajien runsaussuhteissa (kuten varpuikasvien häviäminen) voi vaikuttaa metsänomistajan mielipiteeseen. Ilman yksityisiä metsänomistajia metsäbioenergian korjuutavoitteita ei saavuteta.

Jokainen energiantuotantomuoto aiheuttaa vaikutuksia luontoympäristöön. Metsäbioenergian luontoympäristövaikutuksia tulisi verrata esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden vaikutuksiin ja arvioitava, mikä vaihtoehto on lopulta vähiten haitallinen ympäristön kannalta. Metsäbioenergian käytön yhtenä perusteena on kuitenkin fossiilisten polttoaineiden aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen väheneminen, samoin kuin uusiutumattomien energianlähteiden korvaaminen uusiutuvilla. Mikäli Keski-Suomen maakunnassa pyritään vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä erilliskorjattavan metsäbioenergian avulla, tulisi vähennyslaskelmissa ottaa huomioon metsäbioenergian tuotannossa käytettävän biomassaositteiden aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt ja säteilypakotevaikutukset. Tutkimusten mukaan erityisesti kantojen kohdalla vaikutukset kasvihuonekaasuihin ovat huomattavasti merkittävämmät, kuin pienempiä biomassaositteita kuten oksia käytettäessä.

Suomen kohdalla metsäbioenergian käytössä kyse on myös kotimaisesta polttoaineesta ja omavaraisuuden turvaamisesta. Jotta turvataan metsien terveys ja metsäbioenergian käyttö pitkällä aikavälillä, tulee varmistaa, että korjuun ja varastoinnin aiheuttamat vaikutukset luontoympäristöön ja luonnon monimuotoisuuteen ovat mahdollisimman pienet. Tämä edellyttää aktiivista luontoympäristövaikutusten seuraamista metsäbioenergian korjuumäärien kasvaessa. Tulevaisuudessa ilmastonmuutos on todennäköisesti metsien luontoympäristölle metsäbioenergian korjuuta ja varastointia suurempi uhka ja kaikki mahdolliset keinot sen hillitsemiseksi on otettava käyttöön.

KIITOKSET

Erityiskiitos kaikesta avusta ja ohjauksesta Keski-Suomen ELY- keskuksen Pekka Hokkaselle ja Auvo Hamarukselle. Kiitos myös Elina Toloselle saattamisestani mielenkiintoisen aiheen pariin. Kiitokset ohjaajilleni Margareta Wihersaarelle sekä Elisa Valliukselle sekä Jyväskylän yliopiston Ympäristötieteen- ja teknologian osastolle työtiloista. Lisäksi haluan kiittää Fortumin säätiötä apurahasta sekä Keski-Suomen Metsäkeskuksen Ari Nikkolaa tiedonannosta ja informaatiosta. Kiitos myös kaikille gradun valmistumiseen vaikuttaneille henkilöille yliopistolla, kotona ja vapaa-ajalla.

KIRJALLISUUS

- Alakangas, E. 2000: Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia [properties of fuels used in Finland]. Espoo. 2000. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research notes 2045. s.17–18.
- Antikainen, R., Tenhunen, J., Ilomäki, M., Mickwitz, P., Puntila, P., Puustinen, M., Seppälä, J. & Kauppi, L. 2007: Bioenergian tuotannon uudet haasteet Suomessa ja niiden ympäristönäkökohdat. Nykytilakatsaus. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 11/2007.
- Dighton, J., Helmisaari, H.-S., Maghirang, M., Smith, S., Malcom, K., Johnston, W., Quast, L., Lallier, B., Gray, D., Setälä, H., Starr, M., Luiro, J. & Kukkola, M. 2012: Impacts of forest post thinning residues on soil chemistry, fauna and roots: Implications of residue removal in Finland. *Applied Soil Ecology* 60: 16–22.
- Eräjää, S., Halme, P., Kotiaho, J.S., Markkanen, A. & Toivanen, T. 2010: The volume and composition of dead wood on traditional and forest fuel harvested clear-cuts. *Silva Fennica* 44(2): 203–211.
- Fixteri Oy. 2012: Fixteri-paalain – tehokkaan korjuutyön sydän. <http://www.fixteri.fi/fixteri-paalain>. Luettu 14.9.2012.
- Gumse, S-I., Metsähakkeen pientuotanto. 2003: Teoksessa: Knuutila, K.(toim.) Puuenergia. s.57.
- Haapanen, M., Kenttämies, K., Porvari, T. & Sallantausta, T. 2006: Kivennäismaan uudistushakkuun vaikutus kasvinravinteiden ja orgaanisen aineen huuhtoutumiseen; raportti Kurussa ja Janakkalassa sijaitsevien tutkimusalueiden tuloksista. Teoksessa: Kenttämies, K. ja Mattsson, T. (toim.) Metsätalouden vesistökuormitus. MESUVE-projektin loppuraportti. s.43.

- Hakkila, P. 2003: Suurimittainen metsähakkeen tuotanto. Teoksessa: Knuutila, K.(toim.) Puuenergia. s. 59,62.
- Hakkila, P., Nurmi, J. & Kalaja, H. 1998: Metsänuudistusalojen hakkuutähde energialähteenä. 68 s. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 684.
- Helmisaari, H-S., Finér, L., Kukkola, M., Lindroos, A-J., Luiro, J., Piirainen, S., Saarsalmi, A., Smolander, A. & Tamminen, P. 2008: Energiapuun korjuu ja metsän ravinnetase. Teoksessa: Kuusinen, M. & Ilvesniemi, H. (toim.) Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset, tutkimusraportti. Tapion ja Metlan julkaisuja. s.19,21.
- Hämäläinen, I. 2003: Pienpuuhakkeen tuotanto. Teoksessa: Knuutila, K.(toim.) Puuenergia. s.63–64.
- Ilvesniemi, H., Hartman, M., Hytönen, J., Lauren, A., Kaila, A., Kantola, M., Kiiikkilä, O., Kremsa, J., Kubin, E., Lindgren, M., Lindroos, A-J., Moilanen, M., Murto, T., Nieminen, M., Nieminen, T.M., Penttilä, T., Piispanen, J., Saarsalmi, A., Smolander, A., Tamminen, P., & Ukonmaanaho, L. 2012: Energiapuun korjuun vaikutukset metsiin ja vesistöihin. Teoksessa: Asikainen, A., Ilvesniemi, H., Sievänen, R., Vapaavuori, E., & Muhonen, T. (toim.) Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät. Metlan työraportteja 240. s. 55–56, 63, 75.
- Joensuu, S., Hynninen, P., Heikkinen, K., Tenhola, T., Saari, P., Kauppila, M., Leinonen, A., Ripatti, H., Jämsén, J., Nilsson, S. & Vuollekoski, M. 2011: Metsätalouden vesiensuojelu - Metsätalouden vesiensuojelu -kouluttajan aineisto.
- Kataja-aho, S., Fritze, H. & Haimi, J. 2011: Short-term responses of soil decomposer and plant communities to stump harvesting in boreal forests. *Forest Ecology and Management* 262(3): 379–388.
- Kataja-aho, S., Saari, E., Fritze, H. & Haimi, J. 2011. Effects of stump removal on soil decomposer communities in undisturbed patches of the forest floor. *Scandinavian Journal of Forest Research* 26(3): 221–231.
- Kauppinen, V-P. 2011: Keski-Suomen metsäkeskus.
- Keski-Suomen Energiatoimisto.2012: Tietopankki- Keski-Suomen Energiataseet. <http://www.kesto.fi/>. Luettu 20.10. 2012.
- Keski-Suomen liitto. 2011: Keski-Suomen ilmastostrategia 2020. s.15, 20.
- Keskisuomi.info. 2013: Vesistöt. <http://www.keskisuomi.info/avainlukuja/ymparisto-ja-liikenne/vesistot/>. Luettu 22.3.2013.
- Kilpeläinen, A., Kellomäki, S. & Strandman, H. 2012: Net atmospheric impacts of forest bioenergy production and utilization in Finnish boreal conditions. *GCB Bioenergy* 4(6): 811–817
- Kivimaa, P., Huttunen, S., Hildén, M., Laturi, J., Lehtonen, H., Pohjola, J., Uusivuori, J. & Virtanen, Y. 2012: Ilmastopolitiikan ja muun yhteiskuntapolitiikan koherenssi. Ristiriidat ja synergiat metsäbioenergiaan ja elintarvikeketjuihin vaikuttavissa politiikka-toimissa. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 34/2012
- Kokko, A. 2012: Kantojen korjuun ja hakkuutähteiden korjuun vaikutus veden laatuun.
- Kubin, E.2012: Kantojen ja hakkuutähteiden korjuun vesistövaikutukset. Bioenergiaa metsistä -tutkimus- ja kehittämisohjelman (BIO) loppuseminaari. 19.4.2012.

- Liski, J., Repo, A., Känkänen, R., Vanhala, P., Seppälä, J., Antikainen, R., Grönroos, J., Karvosenoja, N., Lähtinen, K., Leskinen, P., Paunu, V.-V., & Tuovinen, J.-P. 2011: Metsäbiomassan energiakäytön ilmastovaikutukset Suomessa. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 5/2011.
- Luiro, J., Kukkola, M., Saarsalmi, A., Tamminen, P. & Helmisaari, H.-S. 2009: Logging residue removal after thinning in boreal forests: long term impact on the nutrient status on Norway spruce and Scots pine needles. *Tree Physiology* 30(30): 78–88
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2011: Kansallinen metsäohjelma 2015. Metsäalasta biotalouden vastuullinen edelläkävijä.
- Markkila, M. 2003: Kantomurskeen tuotanto. Teoksessa: Knuutila, K. (toim.) *Puuenergia*. s. 69–70.
- Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 2002: Tapion taskukirja. 555 s. 24 uudistettu painos. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti.
- Metsäntutkimuslaitos. 2011: Metsätilastollinen vuosikirja 2011. 472 s. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimipaikka.
- Metsäntutkimuslaitos. 2013: Metinfo Tilastopalvelu. Puun käyttö. Metsähakkeen raaka-aineet. <http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/puunkaytto/>. Luettu 3.4. 2013.
- Palviainen, M. & Finér, L. 2012: Estimation of nutrient removals in stem-only and whole-tree harvesting of Scots pine, Norway spruce, and birch stand with generalized nutrient equations. *European Journal of Forest Research* 131: 945–964.
- Pyörälä, P., Kellomäki, S. & Peltola, H. 2012: Effects of management on biomass production in Norway spruce stands and carbon balance of bioenergy use. *Forest Ecology and Management* 275: 87–97.
- Ranta, T. 2003: Varastointi. Teoksessa: Knuutila, K. (toim.) *Puuenergia*. s. 76.
- Rassi, P., Hyvärinen, E., Juslén, A. & Mannerkoski, I. (toim.) 2010: Suomen lajien uhanalaisuus – Punainen kirja 2010. 685 s. Ympäristöministeriö & Suomen ympäristökeskus.
- Repo, A., Tuomi, M. & Liski, J. 2011: Indirect carbon dioxide emissions from producing bioenergy from forest harvest residues. *GCB Bioenergy* 3(2): 107–115.
- Rabinowitsch-Jokinen, R. & Vanha-Majamaa, I. 2010: Immediate effects of logging, mounding and removal of logging residues and stumps on coarse woody debris in managed boreal Norway spruce stands. *Silva Fennica* 44(1): 51–62 .
- Salminen, A. 2011: Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyypeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin. Vaasan yliopiston julkaisuja. Opetusjulkaisuja 62. Julkisjohtaminen 4.
- Sauranen, T. 2003: Hakkuutähteen suurtuotanto. Teoksessa: Knuutila, K. (toim.) *Puuenergia*. s. 64–65.
- Siitonen, J. 2008: Energiapuun korjuun vaikutukset metsälajiston monimuotoisuuteen Teoksessa: Kuusinen, M. & Ilvesniemi, H. (toim.) *Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset, tutkimusraportti*. Tapion ja Metlan julkaisuja. s. 30–32.
- Siitonen, J. 2012: Monimuotoisuus. Teoksessa: Asikainen, A., Ilvesniemi, H., Sievänen, R., Vapaavuori, E., & Muhonen, T. (toim.) *Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät*. Metlan työraportteja 240. s. 155–156, 159–160.

- Smolander, A., Kitunen, V., Tamminen, P. & Kukkola, M. 2010: Removal of logging residue in Norway spruce thinning stands: Long-term changes in organic layer properties. *Soil Biology and Biochemistry* 42(8): 1222–1228.
- Strandström, M. 2012: Metsätehon tulosalvosarja 4/2012
http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tulosalvosarja/Tulosalvosarja_2012_04_Metsahakkeen_tuotantoketjut_2011_ms.pdf. Luettu 25.3.2013.
- Suomen metsäkeskus. 2011: Keski-Suomen Metsäohjelma 2011–2015. Nikkola, A. (toim.)
- Suomen virallinen tilasto (SVT) 2013: Energian hankinta ja kulutus ISSN=1799-795X. 2011. Helsinki: Tilastokeskus.http://stat.fi/til/ehk/2011/ehk_2011_2012-12-13_tie_001_fi.html. Luettu 16.1.2013.
- Tamminen, P., Saarsalmi, A., Smolander, A., Kukkola, M. & Helmisaari, H-S. 2012: Effects of logging residue harvest in thinnings on amounts of soil carbon and nutrients in Scots pine and Norway spruce stands. *Forest Ecology and Management* 263: 31–38
- Toivanen, T., Markkanen, A., Kotiaho, J.S. & Halme, P. 2012: The effect of forest fuel harvesting on the fungal diversity of clear-cuts. *Biomass and Bioenergy* 39: 84–93.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2008: Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia.
- Vesisenaho, T. 2003: Metsähakkeet. Teoksessa: Knuutila, K.(toim.) *Puuenergia*. s. 37.
- Wall, A. 2008: Effect of removal of logging residue on nutrient leaching and nutrient pools in the soil after clearcutting in a Norway spruce stand. *Forest Ecology and Management* 256(6): 1372–1383.
- Wall, A. & Hytönen, J. 2011: The long-term effects of logging residue removal on forest floor nutrient capital, foliar chemistry and growth of a Norway spruce stand. *Biomass & Bioenergy* 35: 3328–3334.
- Wihersaari, M. 2005: Greenhouse gas emissions from final harvest fuel chip production in Finland. *Biomass & Bioenergy* 28(5): 435–443.
- Äijälä, O., Kuusinen, M. & Koistinen, A. (toim.) 2010. Hyvän metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen ja kasvatukseen. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja.

LIITTEET

Liite 1

Kirjoittaja	Julkaisun nimi	Aihe
Antikainen, R., Tenhunen, J., Ilomäki, M., Mickwitz, P., Puntila, P., Puustinen, M., Seppälä, J. & Kauppi, L. 2007.	Bioenergian tuotannon uudet haasteet Suomessa ja niiden ympäristönäkökohdat. Nykytilakatsaus. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 11	Eliöstö
Haapanen, M., Kenttämies, K., Porvari, T. & Sallantausta, T. 2006.	Kivennäismaan uudistushakkuun vaikutus kasvinravinteiden ja orgaanisen aineen huuhtoutumiseen; raportti Kurussa ja Janakkalassa sijaitsevien tutkimusalueiden tuloksista.	Vesistö
Helmisaari, H-S., Finér, L., Kukkola, M., Lindroos, A-J.,Luiro, J., Piirainen, S., Saarsalmi, A., Smolander A., & Tamminen, P. 2008.	Energiapuun korjuu ja metsän ravinnetase. Teoksessa: Kuusinen, M., Ilvesniemi, H. (toim.). Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset, tutkimusraportti.	Vesistö, maaperä
Joensuu, S., Hynninen, P., Heikkinen, K., Tenhola, T., Saari, P., Kauppi, M., Leinonen, A., Ripatti, H., Jämsén, J., Nilsson, S. & Vuollekoski, M. 2011.	Metsätalouden vesiensuojelu - Metsätalouden vesiensuojelu -kouluttajan aineisto	Vesistö
Kilpeläinen, A., Kellomäki, S. & Strandman, H. 2012	Net atmospheric impacts of forest bioenergy production and utilization in Finnish boreal conditions	Ilmasto
Liski, J., Repo, A., Känkänen, R., Vanhala, P., Seppälä, J. Antikainen, R., Grönroos, J., Karvosenoja, N., Lähtinen, K., Leskinen, P., Paunu, V-V., & Tuovinen, J-P. 2011.	Metsäbiomassan energiakäytön ilmastovaikutukset Suomessa	Ilmasto
Pyörälä, P., Kellomäki, S. & Peltola, H. 2012	Effects of management on biomass production in Norway spruce stands and carbon balance of bioenergy use.	Ilmasto
Siitonen, J. 2008	Energiapuun korjuun vaikutukset metsälajiston monimuotoisuuteen Teoksessa: Kuusinen, M. & Ilvesniemi, H. (toim.) Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset, tutkimusraportti.	Eliöstö
Äijälä, O., Kuusinen, M. & Koistinen, A. (toim.) 2010.	Hyvän metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen ja kasvatukseen	Ilmasto, vesistö

LIITE 2

Kirjoittaja	Julkaisun nimi	Aihe
Dighton, J., Helmisaari, H.-S., Maghirang, M., Smith, S., Malcom, K., Johnston, W., Quast, L., Lallier, B., Gray, D., Setälä, H., Starr, M., Luro, J. & Kukkola, M. 2012.	Impacts of forest post thinning residues on soil chemistry, fauna and roots: Implications of residue removal in Finland.	Maaperä
Eräjää, S., Halme, P., Kotiaho, J. S., Markkanen, A. & Toivanen, T. 2010.	The Volume and Composition of Dead Wood on Traditional and Forest Fuel Harvested Clear-Cuts.	Eliöstö
Ilvesniemi, H., Hartman, M., Hytönen, J., Lauren, A., Kaila, A., Kantola, M., Kiikkilä, O., Kremsa, J., Kubin, E., Lindgren, M., Lindroos, A.-J., Moilanen, M., Murto, T., Nieminen, M., Nieminen, T.M., Penttilä, T., Piispanen, J., Saarsalmi, A., Smolander, A., Tamminen, P., & Ukonmaanaho, L. 2012.	Energiapuun korjuun vaikutukset metsiin ja vesistöihin. Teoksessa: Asikainen, A., Ilvesniemi, H., Sievänen, R., Vapaavuori, E., & Muhonen, T. (toim.), Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät.	Vesistö, Maaperä
Kataja-aho, S., Fritze, H. & Haimi, J. 2011.	Short-term responses of soil decomposer and plant communities to stump harvesting in boreal forests.	Maaperä, eliöstö
Kataja-aho, S., Saari, E., Fritze, H. and Haimi, J. 2011.	Effects of stump removal on soil decomposer communities in undisturbed patches of the forest floor.	Eliöstö
Kokko, A. 2012.	Kantojen korjuun ja hakkuutähteiden korjuun vaikutus veden laatuun	Vesistö
Kubin, E. 2012.	Kantojen ja hakkuutähteiden korjuun vesistövaikutukset.	Vesistö
Luro, J., Kukkola, M., Saarsalmi, A., Tamminen, P. & Helmisaari, H.-S. 2009.	Logging residue removal after thinning in boreal forests: long term impact on the nutrient status on Norway spruce and Scots pine needles	Maaperä
Palviainen, M. & Finér, L. 2012	Estimation of nutrient removals in stem-only and whole-tree harvesting of Scots pine, Norway spruce, and birch stand with generalized nutrient equations.	Maaperä
Rabinowitsch- Jokinen, R. & Vanha- Majamaa, I. 2010.	Immediate effects of logging, mounding and removal of logging residues and stumps on coarse woody debris in managed boreal Norway spruce stands.	Eliöstö
Sitonen, J. 2012	Monimuotoisuus. Teoksessa: Asikainen, A., Ilvesniemi, H., Sievänen, R., Vapaavuori, E., & Muhonen, T. (toim.), Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät.	Eliöstö
Smolander, A., Kitunen, V., Tamminen, P. ja Kukkola, M. 2010.	Removal of logging residue in Norway spruce thinning stands: Long-term changes in organic layer properties.	Maaperä
Tamminen, P., Saarsalmi, A., Smolander, A., Kukkola, M., Helmisaari, H.-S. 2012.	Effects of logging residue harvest in thinnings on amounts of soil carbon and nutrients in Scots pine and Norway spruce stands	Maaperä
Toivanen, T., Markkanen, A., Kotiaho, J.S. & Halme, P. 2012.	The Effect of Forest Fuel Harvesting on the Fungal Diversity of Clear-Cuts.	Eliöstö
Wall, A. 2008.	Effect of removal of logging residue on nutrient leaching and nutrient pools in the soil after clearcutting in a Norway spruce stand	Maaperä
Wall, A. & Hytönen, J. 2011.	The long-term effects of logging residue removal on forest floor nutrient capital, foliar chemistry and growth of a Norway spruce stand.	Maaperä