



## Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä

Juha Nurmi & Ari Kokko (toim.)





# Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä

Juha Nurmi & Ari Kokko (toim.)

---

**Nurmi, J. ja Kokko A. (toim.). 2001.** Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 816. 80 s. ISBN 951-40-1793-5. ISSN 0358-4283.

**Julkaisija:** Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen tutkimusasema.

**Hyväksynyt:** Tutkimusjohtaja Kari Mielikäinen 24.09.2001.

**Kannen kuvat:** Esa Heino / Metla, Jaakko Miettinen / Metla ja Erkki Oksanen / Metla.

**Toimittajien yhteystiedot:** Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen tutkimusasema, PL 44, 69101 Kannus, puh. 06 - 874 3211, e-mail: [juha.nurmi@metla.fi](mailto:juha.nurmi@metla.fi), [ari.kokko@metla.fi](mailto:ari.kokko@metla.fi).

**Julkaisun myynti:** Metsäntutkimuslaitos, kirjasto, puh. 09 - 857 05580, faksi 09 - 857 05582, e-mail: [kirjasto@metla.fi](mailto:kirjasto@metla.fi).

Copyright : Metsäntutkimuslaitos

Art-Print Oy, Kokkola  
2001

---

# Sisällys

Lukijalle	5
Johdanto	7
1 Energiapuuvarat	9
1.1 Metsikön biomassatuotos	9
1.1.1 Runkopuu	10
1.1.2 Oksat ja neulaset	11
1.1.3 Juuristo	12
1.2 Energiapuun kertymä metsikössä	12
1.2.1 Hakkuutähteen kertymä	12
1.2.2 Pienpuun kertymä	12
1.3 Koko maan vuotuisen hakkuupoistuman biomassakertymät	14
2 Energiapuun talteenoton vaihtoehdot	17
2.1 Pienpuun talteenotto	17
2.2 Hakkuutähteen talteenotto	18
2.2.1 Hakkuutyö ja hakuutähteen kasautuminen	18
2.2.2 Hakkuutähteen metsäkuljetus	19
2.3 Hakuutähteen talteenoton uudet vaihtoehdot	19
2.4 Puupolttoaineitten varastointi	21
3 Energiapuu ja kasvihuonekaasut	24
3.1 Ilmastonmuutos ja puuenergia	24
3.2 Puuenergian kasvihuonekaasutus	25
3.2.1 Metsähakkeen tuotannon päästöt	25
3.2.2 Metsähakkeen varastoinnin päästöt	26
3.2.3 Puun polton päästöt	26
3.2.4 Tuhkan käsittely ja mahdollinen kompensaatiolannoitus	27
3.3 Hakkuutähteen talteenoton vaikutukset metsien hiilitaseeseen	27
3.3.1 Metsien hiilivarastot ja hiilen kierto talousmetsissä	27
3.3.2 Hakkuutähteen hiili	28
3.3.3 Vaikutukset puuston hiilivarastoon	28
3.3.4 Vaikutukset maaperän hiilivarastoon	29
3.4 Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen puupolttoaineilla	29
4 Energiapuun korjuu ja metsämaan ravinnetase	31
4.1 Ravinteiden kierto ja metsämaan puuntuotoskyky	31
4.1.1 Ravinnekierto	31
4.1.2 Metsämaan ravinnevarat	33
4.1.3 Metsämaan happamuus	34
4.1.4 Puuston ravinteiden käyttö	35
4.2 Hakkuutähteen ravinnesisältö	35

4.3 Ravinnemenetyksen vaikutus puuston kasvuun	38
4.3.1 Kangasmetsien ensiharvennukset	38
4.3.2 Kangasmetsien päätehakkuut	40
4.3.3 Suometsät	42
4.4 Ravinteiden huuhtoutuminen	43
4.5 Puuntuhkan koostumus ja käyttö maanparannusaineena	44
4.5.1 Kangasmetsät	44
4.5.2 Suometsät	50
5 Hakkuutähteen vaikutus metsän uudistamiseen	53
5.1 Hakkuutähteet ja maan muokkaus	53
5.2 Metsänviljely ja taimien alkukehitys	54
5.3 Vaikutukset koko uudistamisketjuun	56
6 Energiapuun korjuu ja metsätuhot	59
6.1 Hyönteistuhot	59
6.1.1 Tuhohyönteisistä ja hyönteistuvoista	59
6.1.2 Kuusen tuhohyönteiset	60
6.1.3 Männyn tuhohyönteiset	61
6.2 Sienituhot	61
6.2.1 Taudinaiheuttajien esiintyminen hakkuutähteessä	61
6.2.2 Tuhoriskit erityyppisillä korjuukohteilla	63
6.2.3 Hakkuutähteen korjuun vaikutus mykoritsasieniin	63
6.3 Metsätuhojen torjuntaa koskevat säädökset ja energiapuun hankinta	63
7 Energiapuun hankinta ja metsälajiston monimuotoisuus	66
7.1 Taustaa	66
7.2 Kasvillisuus ja suursienet	66
7.3 Lahopuusta riippuvaiset eliöt	69
7.4 Maaperäeliöstö	70
8 Energiapuun korjuun vaikutus maisemaan ja metsän virkistyskäyttöön	75
8.1 Johdanto	75
8.1.1 Talousmetsien virkistyskäytön laajuus	75
8.1.2 Hakkuutähteen vaikutus maisemaan ja virkistyskäyttöön	76
8.2 Hakkuutähteen korjuun vaikutus maisemaan ja metsien virkistyskäyttöön	77
8.2.1 Kokopuujärjestelmä maiseman ja virkistyskäytön kannalta paras	77
8.2.2 Haketus mieluiten terminaalissa tai käyttöpaikalla	77
8.2.3 Hakkuutähdekasat nopeasti pois näkyvistä	78
8.2.4 Korjuujälkien välttäminen	78
Kirjoittajien yhteystiedot	80

## Lukijalle

Kioto ilmastokokouksen pöytäkirjan ratifiointi velvoittaa Suomen alentamaan hiilidioksidin päästönsä vuoden 1990 tasolle. Tavoitteiden toteutuminen edellyttää fossiilisten, hiilidioksidia tuottavien polttoainneiden osittaista korvaamista uusiutuvilla biopolttoaineilla.

Hakkuiden ja metsänhoitotöiden yhteydessä metsiin jää suuri määrä kuitupuun mitta- ja laatuvaatimukset täyttämätöntä pienpuuta ja hakkuutähdettä, jotka sopivat periaatteessa energian tuotantoon. Suurimmat käytännön esteet liittyvät puun korjuun talouteen. Kilpailevien energialähteiden hinnoilla vain osa mahdollisista korjuukohteista on taloudellisesti korjuukelpoisia.

Kansallisen metsäohjelman metsänhoitotavoitteiden toteutumista pyritään osaltaan vauhdittamaan tukemalla energiapuun korjuuta ja haketusta nuoren metsän hoidon kohteissa. Metsänomistajille ja lämpöyrittäjille myönnettävän tuen toivotaan omalta osaltaan motivoivan alan toimijoita huomispäivän metsien hoitoon.

Biomassan poistolla on myös ympäristövaikutuksia, jotka on otettava toiminnassa huomioon. Hakkuutähteiden korjuu helpottaa metsässä liikkumista ja metsän uudistamista. Korjuun yhteydessä metsästä viedään neulasten ja lehtien mukana kuitenkin myös ravinteita. Riittävän tarkan tiedon saamiseksi kokopuun korjuun ympäristövaikutuksista eri kasvupaikoilla tutkimusta tulee lisätä.

Nyt käsillä olevaan kirjaan on koottu tämänhetkinen tietämys puubiomassan tarkemman talteenoton vaikutuksista metsien puuntuotokseen, uudistamiseen, luonnon monimuotoisuuteen, metsätuhoihin ja virkistyskäyttöön. Teoksessa on esitetty myös laskelmia energiapuun korjuun kokonaisvaikutuksesta metsien hiilitaseeseen.

Tämän raportin tuottanut hanke on osa maa- ja metsätalousministeriön ja Metsäntutkimuslaitoksen panosta Puuenergian teknologiaohjelmassa. Hanketta ovat ministeriön ohella tukeneet monet energiapuun

korjuuta harjoittavat alan toimijat. Tästä lämmin kiitos heille.

Helsingissä syyspäivän tasauksen päivänä

**Kari Mielikäinen**  
**Tutkimusjohtaja**



## Johdanto

**Juha Nurmi**

*Metsäntutkimuslaitos  
Kannuksen tutkimusasema*

**Eino Mälkönen**

*Metsäntutkimuslaitos  
Vantaan tutkimuskeskus*

Toisen maailmansodan jälkeen fossiilisten polttoaineitten käyttö lisääntyi Suomessa nopeasti niiden helpon saatavuuden ja edullisen hinnan vuoksi. Energiaa tarvittiin erityisen runsaasti metalli- ja metsäteollisuudessa. Vaikka puupolttoaineitten osuus kansallisessa energiabudjetissa väheni tuolloin voimakkaasti, puu säilyi kotitalouksien pääasiallisena lämmönlähteenä aina 1960-luvulle, jolloin öljy alkoi korvata puuta. Tämä kehitys on jatkunut aina vuosituhannen vaihteeseen asti.

Vuonna 2000 kauppa- ja teollisuusministeriön tilastojen (Energiakatsaus 2001) mukaan 20 % Suomen koko energian kuluksesta muodostui 27 Mm<sup>3</sup>:stä puuperäisiä polttoaineita. Osuus on teollisuusmaiden korkein ja koostui etupäässä selluloosateollisuuden jätelipeästä, kuorintatähteestä ja sahanpurusta (21 Mm<sup>3</sup>). Pienkiinteistöjen polttopuun määrä oli 5 Mm<sup>3</sup>. Näihin lukuihin verrattuna metsähakkeen käyttö biopolttoaineena on vielä varsin vaatimatonta. Vuonna 1999 metsähakkeen käytön arvioitiin olleen kaikkiaan 750 000 m<sup>3</sup> (Hakkila ym. 2001). Määrä kuitenkin nousee huomattavasti tulevien vuosien aikana, sillä Kioton ilmastokokouksen pöytäkirjan sekä EU:n ja Suomen kesken neuvoteltujen päästörajoitusten saavuttaminen vuosien 2008 - 2012 välisenä aikana edellyttää Suomelta fossiilisten polttoaineitten korvaamista ainakin jossain määrin uusiutuvilla biopolttoaineilla. Koska uusiutuvan biomassan poltosta syntyvät hiilidioksidipäästöt eivät kuulu päästörajoitusten piiriin, puuenergian käyttöä lisäämällä voidaan parantaa valtakunnallista hiilitasetta. Suomessa valtioval-

ta on määrätietoisesti edistänyt puupolttoaineen käyttöä kahdellakin tapaa. Ensiksi-kin Kansalliseen metsäohjelmaan (KMO) on kirjattu tavoitteeksi lisätä puupolttoaineen käyttöä 5 Mm<sup>3</sup> vuoteen 2010 mennessä (Kansallinen ... 1999); ja toiseksi Puuenergian tutkimusohjelma tekee määrätietoista tutkimus- ja kehitystyötä alan tietäiden edistämiseksi.

Vuonna 1999 Suomessa tehtiin uudistushakkuita 175 000 ha:lla ja kasvatushakkuita 345 000 ha:n alalla, joista ensiharvennusten osuus oli 149 000 ha. Lisäksi taimikonhoitotöitä tehtiin 210 000 ha:n alalla (Metsätilastollinen ... 2000). KMO:n asettama polttopuun käytön lisääminen merkitsisi energiapuun talteenottoa yli 62 000 ha:lta vuodessa, mikäli keskitytään kuusi-valtaisiin päätehakkuuleimikoihin, joilla hakkuutähteen keskimääräinen kertymä on 80 m<sup>3</sup>/ha. Mikäli puolet tavoitteesta kertyy päätehakkuista ja toinen puoli ensiharvennuksista ja taimikoitten pienpuusta tulisi talteenoton piiriin vuosittain noin 100 000 ha vuodessa, kun pieniläpimittaisen energiapuun kertymä on 35 m<sup>3</sup>/ha. Olipa talteenoton piiriin tulevien leimikkotyypin suhde mikä hyvänsä, korjuupinta-alat ovat huomattavia. Intensiivisen kehitystyön ansiosta hakkuutähteen ja pienimittaisen puun koneellinen korjuu on nyt teknisesti mahdollista.

Entistä tarkemmalla puuston tuottaman biomassan talteenotolla on monia seurannaisvaikutuksia, joiden eduista ja haitoista ei vielä olla riittävästi selvillä. Puuenergian tutkimusohjelmissa biomassan lisääntyvän korjuun seurannaisvaikutuksiin on toistaiseksi kiinnitetty vähän huomiota, vaikka metsien ekologinen kestävyys on määritelty metsien hoidon ja käytön keskeiseksi periaatteeksi.

Metsänomistajien ja metsäammattilaisten keskuudessa on virinnyt keskustelua siitä, miten biomassan entistä tarkempi talteenotto harvennusmetsissä vaikuttaa kasvatettavaksi jäävän puuston tuotokseen ja miten hakkuutähteen talteenotto päätehakkuualoilta vaikuttaa taimikon alkukehitykseen. Kysymyksiä on herättänyt erityisesti

hakkuutähteen korjuun aiheuttaman ravinnemenetyksen puuntuotannollinen merkitys, miten se riippuu esimerkiksi kasvupaikan laadusta, puuston kehitysvaiheesta ja korjattavan hakkuutähteen laadusta. Tuotosvaikutusten tarkastelua vaikeuttaa se, että ravinteiden saatavuuteen liittyvät muutokset voivat olla vähittäisiä ja melko pitkäaikaisia. Hakkuutähteen korjuulla päätehakkuualoilta voi metsänviljelyn helpottumisen ja viljelytyön laadun paranemisen ohella olla yhteyttä myös metsänuudistamisen vesistövaikutuksiin ja taimikon alkukehitykseen. Kiinnostusta ovat herättäneet myös hakkuutähteen talteenoton vaikutukset kasvi- ja eläinlajiston monimuotoisuuteen sekä korjuun merkitys tuohyönteisten leviämisen kannalta.

Biomassan polton yleistyminen tuottaa kasvavia määriä tuhkaa. Puuntuhkan kierrätyksen on arvioitu tarjoavan mahdollisuuksia ravinnemenetyksen kompensointiin korjuukohteilla. Vaikka tuhka lieventääkin metsämaan happamuutta, sillä ei kuitenkaan kangasmetsissä ole saatu toivottua kasvunlisäystä. Tuhkan hyötykäytön ratkaisemiseksi tarvitaan edelleen jatkokehittelyä.

Puuntuottamiseen liittyvien tekijöiden lisäksi puuston biomassan tehostuva talteenotto voi vaikuttaa metsien virkistyskäyttömuotoihin kuten marjastukseen ja sienestykseen niin kulkukelpoisuuden kuin satoisuudenkin osalta. Myös maisemahoidon ja retkeilyn näkökohdat herättävät mielipiteitä hakkuutähteen korjuusta.

Tässä julkaisussa pyritään muodostamaan kokonaiskuva energiapuuvarojen käyttömahdollisuuksista ja puuston biomassan entistä tarkempaan talteenottoon liittyvistä seikoista tämänhetkisen tietämyksen perusteella.

## Kirjallisuus

- Energiakatsaus 1/2001. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto. 40 s.
- Hakkila, P., Nousiainen, I. & Kalaja, H. 2001. Metsähakkeen käyttö Suomessa. Tilannekatsaus vuodesta 1999. VTT Tiedotteita 2087. 39 s.
- Kansallinen metsäohjelma 2010. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2/1999. 38 s.
- Metsätalastollinen vuosikirja 2000. Maa-, metsä- ja kalatalous 2000:14. Metsäntutkimuslaitos. 366 s.

*Jari Hynynen*  
*Metsäntutkimuslaitos*  
*Vantaan tutkimuskeskus*

## 1.1 Metsikön biomassatuotos

Metsikön biomassatuotosta on havainnollista tarkastella esimerkkimetsiköiden avulla. Tyypillisimpiä eteläsuomalaisia metsiköitä edustaviksi esimerkeiksi valittiin tuoreen kankaan kuusikko, kuivahkon kan-

kaan männikkö ja lehtomaisen kankaan rauduskoivikko (taulukko 1). Laskelmat tehtiin metsiköiden kehitystä ennustavien mallien avulla. Puuston kehityssennusteet laskettiin Metsäntutkimuslaitoksessa laadituilla kasvu- ja tuotomalleilla (Hynynen ym. 2001). Harvennushakkuissa ja päätehakuissa kertyvän hakkuupoistumaan biomassat laskettiin Hakkilan (1979 ja 1991) laatimilla malleilla. Biomassat laskettiin erikseen rungon käyttöpuuosalle, latvaosalle, eläville ja kuolleille oksille, havupuiden

Taulukko 1. Tietoja esimerkkimetsiköiden puustosta ja hakkuupoistumista hakkuukerrottain.

	<b>Männikkö</b>	<b>Kuusikko</b>	<b>Rauduskoivikko</b>
<b>Kasvupaikka</b>	VT	MT	OMT
<b>Lähtöiheys, kpl/ha</b>	1800	1900	1600
<b>Kiertoaika, vuotta</b>	95	95	60
<b>Harvennukset</b>			
<u>Ensiharvennus</u>			
Ikä, v/Valtapituus, m	40/14,2	40/14,3	25/15,1
Poistuma, yht., m <sup>3</sup> /ha	55,2	61,4	25,1
- kuitupuuta, m <sup>3</sup> /ha	47,9	50,7	20,3
- tukkipuuta, m <sup>3</sup> /ha	0,3	1,3	0,0
- osuus kokonaistuotoksesta, %	11,2	10,5	6,2
<u>2. harvennus</u>			
Ikä, v/Valtapituus, m	55/17,5	55/17,6	45/23,8
Poistuma, yht., m <sup>3</sup> /ha	72,2	103,6	92,4
- kuitupuuta, m <sup>3</sup> /ha	51,2	43,9	77,2
- tukkipuuta, m <sup>3</sup> /ha	19,0	56,5	14,0
- osuus kokonaistuotoksesta, %	14,7	17,8	22,9
<u>3. harvennus</u>			
Ikä, v/Valtapituus, m	75/20,9	75/21,1	
Poistuma, yht., m <sup>3</sup> /ha	80,1	99,4	
- kuitupuuta, m <sup>3</sup> /ha	26,2	14,4	
- tukkipuuta, m <sup>3</sup> /ha	53,0	83,8	
- osuus kokonaistuotoksesta, %	16,3	17,1	
<b>Päätehakkuu</b>			
Ikä, v/Valtapituus, m	95/23,7	95/23,8	60/27,8
Poistuma, yht., m <sup>3</sup> /ha	283,6	316,9	285,1
- kuitupuuta, m <sup>3</sup> /ha	57,0	21,5	113,8
- tukkipuuta, m <sup>3</sup> /ha	224,6	293,2	169,9
- osuus kokonaistuotoksesta, %	57,7	54,5	70,8
<b>Kokonaistuotos, m<sup>3</sup>/ha</b>			
- kuitupuuta, m <sup>3</sup> /ha	491,2	581,6	402,7
- tukkipuuta, m <sup>3</sup> /ha	182,8	130,6	211,3
- tukkipuuta, m <sup>3</sup> /ha	296,9	434,8	183,8

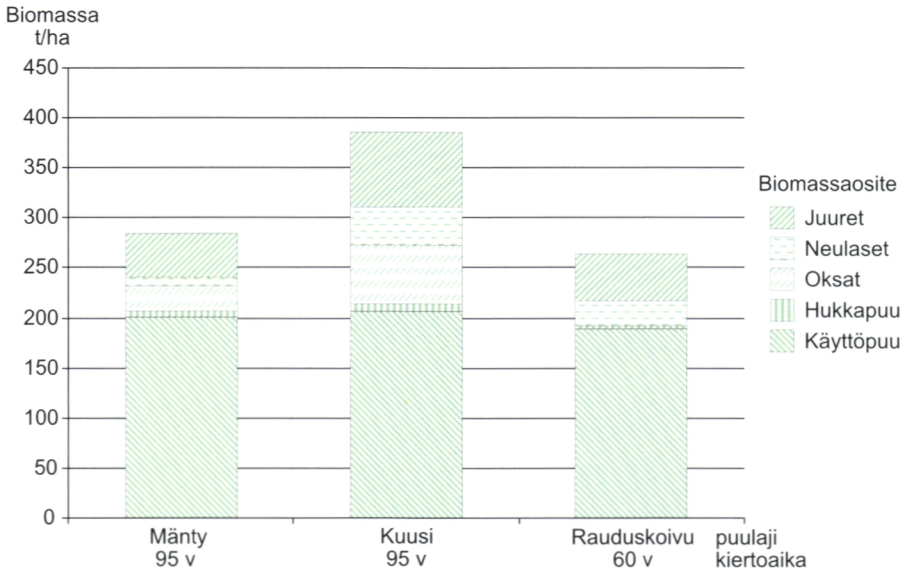
neulasille, sekä juuristolle. Juuriston biomassaan laskettiin mukaan yli viisi senttimetriä paksut juuret (Hakkila 1972). Laskelmissa oletettiin, että metsiköitä kasvatetaan metsänhoitosuosituksen mukaisesti (Hyvän metsänhoidon suositukset 2001).

Harvennushakkuissa ja päätehakkuissa hakatun puuston kokonaisbiomassan tuotos on selvästi suurin kuusikossa (kuva 1, taulukot 2, 3 ja 4). Esimerkkikuusikossa kokonaisbiomassan kertymä yhden kiertoajan kuluessa on noin 385 tonnia. Män-

nikössä kertymä on lähes neljänneksen pienempi (285 tonnia) ja koivikossa hieman männikköäkin alhaisempi (265 tonnia).

### 1.1.1 Runkopuu

Suurin osa puun kokonaistuotoksesta kertyy runkoon. Runkopuun kokonaistuotos kiertoajan aikana on esimerkkimännikössä 491 m<sup>3</sup>/ha, kuusikossa 582 m<sup>3</sup>/ha ja koivikossa 402 m<sup>3</sup>/ha (taulukko 1). Suurin osa



Kuva 1. Hakkuissa poistetun puuston kokonaisbiomassa ositteittain eri puulajeilla.

Taulukko 2. Metsikön kiertoajan aikana hakatun puuston biomassatuotos eteläsuomalaisessa kuivahkon kankaan männikössä.

Biomassa-komponentti	Ensi-harvennus	Toinen harvennus	Kolmas harvennus	Päätehakkuu	Yhteensä	
					Biomassa, t/ha	%
<b>Runkopuu</b>						
- käyttöpuu	20,1	31,3	32,8	116,9	201,2	70,7
- hukkapuu	2,9	0,7	0,4	0,8	4,8	1,7
<b>Oksat</b>						
- elävät	2,8	3,6	3,4	11,3	21,2	7,4
- kuolleet	1,1	0,9	0,7	2,0	4,8	1,7
<b>Neulaset</b>	1,5	1,5	1,3	3,9	8,2	2,9
<b>Juuret</b>	5,2	7,4	7,5	24,4	44,5	15,6
<b>Yhteensä</b>	33,6	45,6	46,1	159,3	284,6	100,0
%	11,8	16,0	16,2	56,0	100,0	

Taulukko 3. Metsikön kiertoajan aikana hakatun puuston biomassatuotos eteläsuomalaisessa tuoreen kankaan kuusikossa.

Biomassa-komponentti	Ensi-harvennus	Toinen harvennus	Kolmas harvennus	Pääte-hakkuu	Yhteensä	
					Biomassa, t/ha	%
<b>Runkopuu</b>						
- käyttöpuu	19,8	37,1	36,0	114,5	207,3	53,8
- hukkapuu	3,7	1,2	0,5	0,8	6,1	1,6
<b>Oksat</b>						
- elävät	6,9	10,6	9,3	28,2	55,0	14,3
- kuolleet	0,9	1,0	0,7	1,9	4,5	1,2
<b>Neulaset</b>	5,1	6,5	6,0	20,1	37,7	9,8
<b>Juuret</b>	8,1	15,2	13,0	38,2	74,5	19,3
<b>Yhteensä</b>	44,5	71,5	65,4	203,6	385,1	100,0
<b>%</b>	11,5	18,6	17,0	52,9	100,0	

Taulukko 4. Metsikön kiertoajan aikana hakatun puuston biomassatuotos eteläsuomalaisessa lehtomaisen kankaan rauduskoivikossa.

Biomassa-komponentti	Ensi-harvennus	Toinen harvennus	Pääte-hakkuu	Yhteensä	
				Biomassa, t/ha	%
<b>Runkopuu</b>					
- käyttöpuu	9,3	43,0	136,2	188,5	71,3
- hukkapuu	2,2	0,6	0,7	3,5	1,3
<b>Oksat</b>					
- elävät	1,5	5,2	17,2	23,9	9,0
- kuolleet	0,2	0,2	0,4	0,8	0,3
<b>Neulaset</b>					
<b>Juuret</b>	3,5	12,0	32,1	47,6	18,1
<b>Yhteensä</b>	16,7	61,0	186,5	264,3	100,0
<b>%</b>	6,3	23,1	70,6	100,0	

hakkuukertymästä saadaan päätehakkuussa, jonka osuus kokonaiskertymästä on männikössä ja kuusikossa hieman yli puolet ja koivikossa peräti 70 %. Tukkipuuston osuus hakkuukertymästä on suurin kuusella, 74 %. Männikössä tukin osuus 60 % on ja rauduskoivikossa 46 %.

Biomassoiksi muutettuna runkopuun tuotoserot puulajien välillä ovat tilavuutena mitattua tuotosta pienemmät johtuen puulajien erilaisesta puuaineen tiheydestä. Kaikilla puulajeilla käyttöpuun mitat täyttävän runkopuun hehtaarikohtainen biomassatuotos eteläsuomalaisissa hoidetuissa metsiköissä kiertoajan aikana on noin 200 tonnia (kuva 1). Runkopuuhun kertyy männikössä ja koivikossa noin 70 % ja kuusikossa noin 55 % kokonaisbiomassasta.

### 1.1.2 Oksat ja neulaset

Oksa- ja neulasbiomassojen kertymän osalta puulajien väliset erot ovat selkeät. Eniten oksa- ja neulasmassaa kertyy kuusikossa, jossa noin 15 % kokonaisbiomassasta kertyy oksiin ja noin 10 % neulasiin. Kiertoajan aikana hakkuissa poistettujen puiden oksabiomassa on kuusikossa yli kaksinkertainen määrä verrattuna männikköön ja koivikkoon. Männikössä neulasbiomassa on vain noin 3 % kokonaisbiomassasta ja on siten selvästi pienempi kuin kuusikossa.

### 1.1.3 Juuristo

Puun juuristoon kertyy merkittävä osa puun kokonaistuotoksesta. Vanhojen juuristotutkimusten mukaan juurten tilavuus on männyllä noin kolmasosa runkopuun tilavuudesta ja kuusella ja koivulla vieläkin suurempi (Laitakari 1929, 1935). Esimerkilaskelmissa juuriston biomassoja laskettaessa otettiin huomioon vain paksuimmat, yli 5 cm paksut juuret. Juuristoon kertyi hoidetussa kuusikossa noin 19 %, männikössä 16 % ja koivikossa 18 % kokonaisbiomassasta.

## 1.2 Energiapuun kertymä metsikössä

### 1.2.1 Hakkuutähteen kertymä

Normaalin puunkorjuun yhteydessä energiapuuna kertyvään hakkuutähteeseen luetaan latva- ja muu hukkapuu, elävät ja kuolleet oksat, ja havupuilla myös neulasat. Tuotettua runkopuukuutiometriä kohti laskettuna hakkuutähteen määrä on kuusikossa keskimäärin  $167 \text{ kg/m}^3$ , männikössä  $79 \text{ kg/m}^3$  ja rauduskoivikossa  $70 \text{ kg/m}^3$ . Kuusikossa hakkuutähteeksi jäävän biomassan määrä tuotettua runkopuuta kohti on yli kaksinkertainen verrattuna männikköön ja koivikkoon.

Kaikkea hakkuutähteestä ei saada korjattua energiapuuna. Biomassatuotosten perusteella tehdyissä laskelmissa korjuuhävikin määräksi korjuuhävikin määräksi oletetaan harvennushakuissa 38 % ja päätehakuissa 32 %.

Energiapuuna käytettävän hakkuutähteen massasta suurin osa saadaan elävistä oksista. Havupuilla elävien oksien osuus on kokonaiskertymästä hieman yli puolet (50 - 55 %) ja koivulla peräti 85 %. Havupuilla myös neulasista kertyy huomattavasti biomassaa; kuusella peräti 35 % ja männylläkin noin 20 % kokonaismassasta saadaan neulasista (kuva 2).

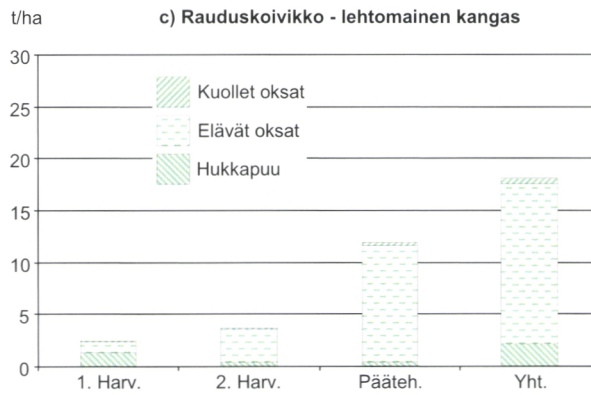
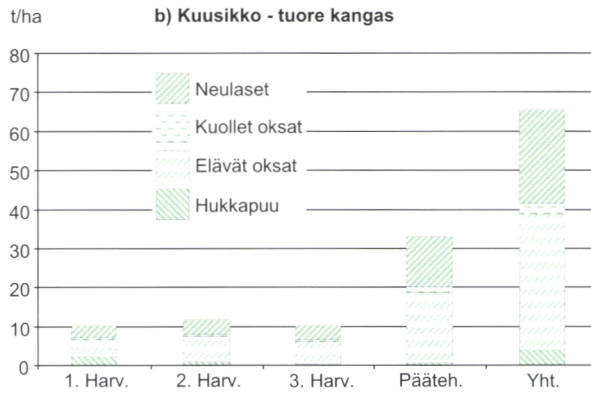
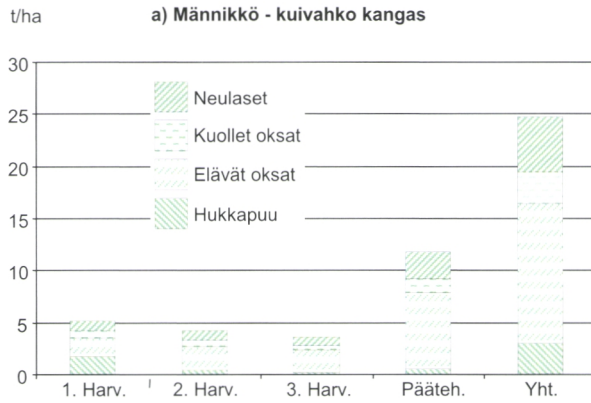
Eniten hakkuutähdettä kertyy kuusikoissa, jossa koko kiertoajan aikana hehtaarikohtainen kertymä on noin 65 tonnia. Männikössä kertymä on noin 25 tonnia ja koivikossa noin 18 tonnia. Valtaosa hakkuutähteen biomassakertymästä saadaan päätehakuissa. Niiden osuus kokonaiskertymästä on kuusikossa ja männikössä noin puolet ja koivikossa noin kaksi kolmasosaa (kuva 2).

Metsiköstä kiertoajan kuluessa kertyvän hakkuutähteen biomassassa on esitetty kuvassa 3 muunnettuna teholliseksi lämpöarvoksi. Muunnoksessa on oletettu, että hakkuutähteen kosteusprosentti on 40 %. Eniten energiaa on sitoutuu päätehakuukuusikon biomassaan, jossa yhdeltä hehtaarilta kertyvän hakkuutähteen lämpöarvo on noin 160 MWh. Se vastaa lämpöarvoltaan 14 tonnia kevyttä polttoöljyä.

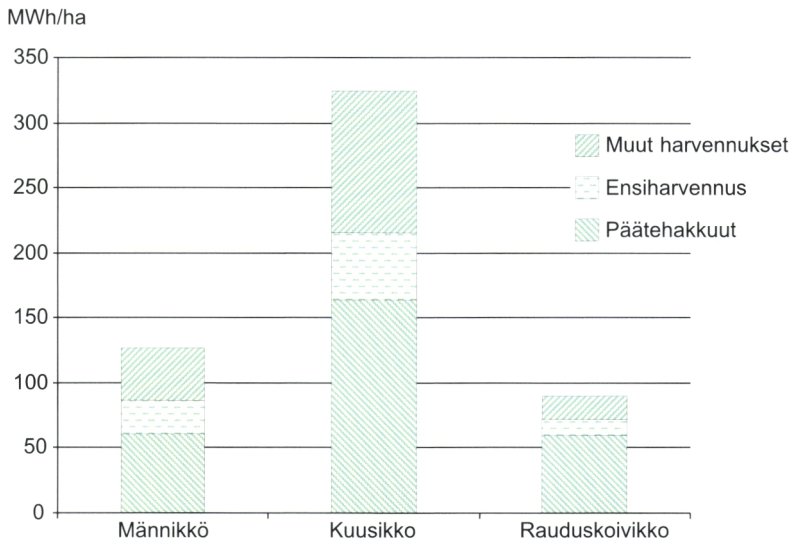
### 1.2.2 Pienpuun kertymä

Pienpuun kertymällä tarkoitetaan energiapuuna käytettävän pieniläpimittaisen puun hakkuupoistumaa, jota kertyy mm. ensiharvennuksessa tai nuoren metsän hoitohakuun yhteydessä. Kertymän määrää on seuraavassa arvioitu olettaen, että korjuu tehdään kokopuitten kaato-kasauksena ja metsäkuljetuksena. Hävikin osuuden on tällöin arvioitu olevan 10 % kokonaisbiomassasta.

Hoidoltaan viivästyneessä nuoren metsän hakkuissa lähes koko poistuma on ainoastaan energiapuuksi soveltuvaa pienpuuta. Jos oletetaan, että nuoren metsän hoitokohde on puustoltaan noin 10 - 12 metrin pituinen tiheä hoitamaton metsikkö, kertyy harvennuksessa pienpuuta männikössä ja koivikossa noin 15 tonnia ja kuusikossa noin 25 tonnia hehtaarilta. Pienpuun biomassakertymästä runkopuuta on noin kolme neljäsosaa. Hoidetussa metsikössä normaalin ensiharvennuksen yhteydessä kertyvän, kuitupuun minimiläpimitat alittavan pienpuuston ja hakkuutähteen yhteenlaskettu biomassassa on männikössä noin viisi tonnia, kuusikossa 10 ja hoidetussa rauduskoivikossa alle kolme tonnia hehtaarilla.



Kuva 2. Talteen saatavan hakkuutähteen määrä hakkuukerroittain eri puulajeilla. Laskelmassa on oletettu korjuuhävikin osuudeksi harvennushakkuissa 38 % ja päätehakkuissa 35 %.



Kuva 3. Hakkutähteen hehtaarikohtaista kertymää vastaavat lämpöarvot eri puulajeilla. Laskelmassa on oletettu hakkutähteen kosteusprosentiksi 40 %.

### 1.3 Koko maan vuotuisen hakkuupoistuman biomassakertymät

Metsikkötarkastelun yhteydessä laskettuja biomassojen kertymäennusteita sovellettiin arvioitaessa koko maan vuotuista biomassakertymää. Laskelmat laadittiin vuoden 1999 kotimaisen raakapuun käyttömäärälle männyllä, kuusella ja lehtipuilla (taulukko 5) (Metsätilastollinen vuosikirja 2000). Laskelmissa oletettiin, että vuotuisen hakkuupoistuman kokonaistilavuudesta 75 % saadaan päätehakuusta ja 25 % harvennushakkuista (kuva 4).

Vuotuisella, 61,7 milj. m<sup>3</sup>:n, hakkuumäärällä korjuukelpoista hakkutähdettä kertyy 4,8 milj. tonnia. Runkopuun tilavuuden

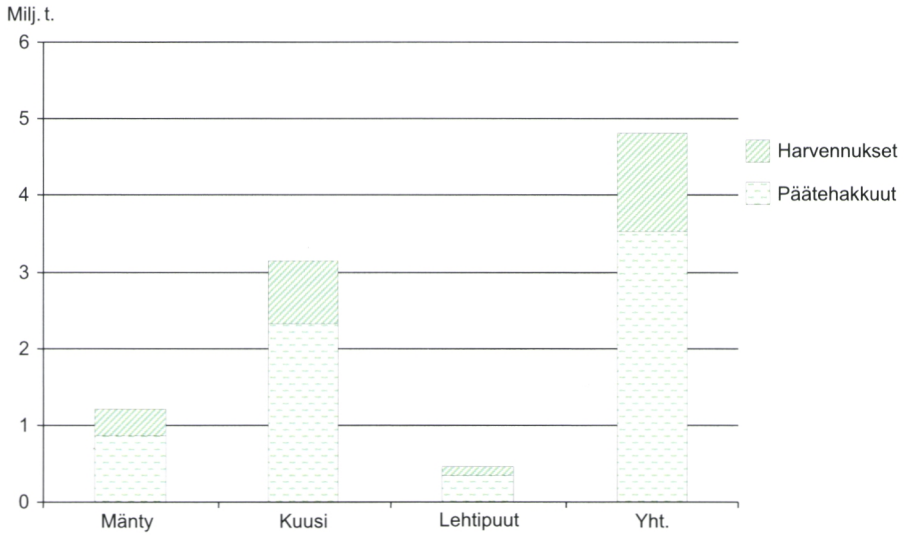
suhteutettuna hakkutähteen biomassaa olisi korjattavissa 78 kg jokaista markkinapuuksi korjattavaa puukuutiometriä kohti.

Teholliseksi lämpöarvoksi muutettuna vuoden 1999 hakkuupoistumaa vastaava hakkutähteen maanpäällinen biomassan lämpöarvo on yhteensä 25 TWh (kuva 5). Siitä valtaosa, noin 75 % kertyy päätehakuista. Suhteutettuna poistuman runkotilavuuteen hakkutähteen biomassan lämpöarvo on 0,4 TWh jokaista miljoonaa puukuutiometriä kohti.

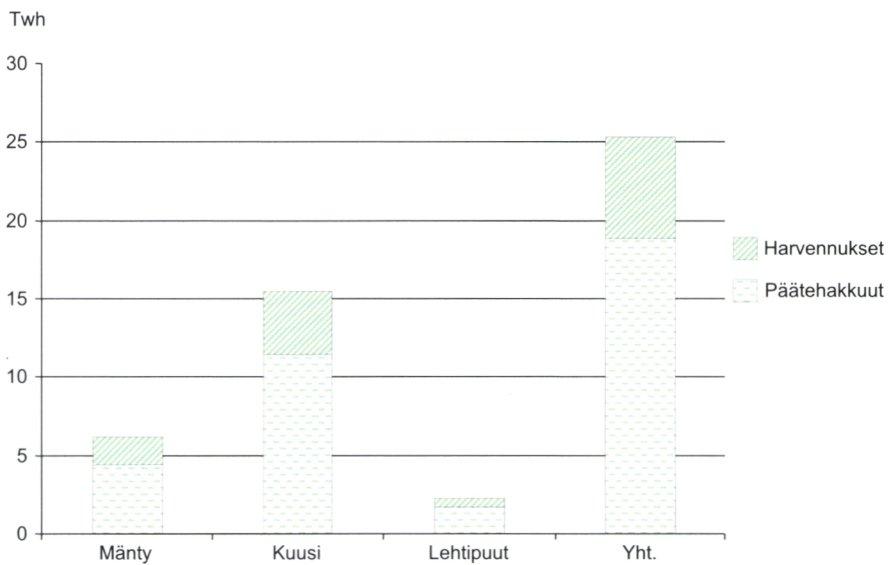
Suurimmat energiareseptit ovat päätehakuusikoissa, joiden hakkutähteen lämpöarvo on yli 11 TWh, eli 45 % koko poistuman hakkutähteen lämpöarvosta. Se vastaa lämpöarvoltaan noin miljoonaa tonnia kevyttä polttoöljyä.

Taulukko 5. Kotimaisen raakapuun teollinen ja ei-teollinen käyttö v. 1999 (Metsätilastollinen vuosikirja 2000).

	Mänty	Kuusi	Lehtipuut	Yhteensä
	milj. m <sup>3</sup>			
Teollinen käyttö	23,5	26,6	7,0	57,1
Ei-teollinen käyttö	0,8	0,8	3,1	4,6
Yhteensä	24,3	27,4	10,0	61,7



Kuva 4. Vuotuisen hakkuupoistuman maanpäällisten hakkuutähteen biomassat puula-jeittain. Laskelmassa on oletettu korjuuhävikin osuudeksi harvennushakkuissa 38 % ja päätehakuissa 35 %.



Kuva 5. Nykyisiä hakkuumäärillä koko maassa kertyvän hakkuutähteen tehoisa lämpöarvo puula-jeittain. Laskelmassa on oletettu hakkuutähteen kosteusprosentiksi 40 %.

## Kirjallisuus

- Hakkila, P. 1979. Wood density survey and dry weight tables for pine, spruce and birch stems in Finland. Seloste: Mänty- kuusi- ja koivurunkojen puuaineen tiheys ja kuivapainotaulukot.
- Hakkila, P. 1991. Hakkuupoistuman latvusmassa. Summary: Crown mass of trees at the harvesting phase. *Folia Forestalia* 773. 24 s.
- Hakkila, P. 1972. Mechanized harvesting of stumps and roots. A sub-project of the joint Nordic research programme for the utilization of logging residues. Lyhennelmä: Kanto- ja juuripuun koneellinen korjuu. Yhteispohjoismaisen hakkuutähdetutkimuksen alaprojekti. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 77.1. 71 s.
- Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Salminen, H., Siipilehto, J. & Haapala, P. 2001. Models for predicting the stand development - Description of Biological Processes in MELA system. Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos. Hyvän metsänhoidon suositukset. 2001. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 95 s.
- Laitakari, E. 1929. Männyn juuristo. Morfologinen tutkimus. Summary: The root system of Pine (*Pinus silvestris*). A morphological investigation. *Acta Forestalia Fennica* 33.1:1–380.
- Laitakari, E. 1935. Koivun juuristo. Summary: The root system of birch (*Betula verrucosa* and *odorata*). *Acta Forestalia Fennica* 41.2:1–216.
- Metsätilastollinen vuosikirja 2000. Metsäntutkimuslaitos. SVT. Maa-, metsä- ja kalatalous 2000:14. Jyväskylä. 366 s.
- Nurmi, J. 1993. Heating values of the above ground biomass of small-sized trees. Tiivistelmä: Pienikokoisten puiden maanpäällisten biomassojen lämpöarvot. *Acta Forestalia Fennica* 236. 30 s.
- Nurmi, J. 1995. Heating values of mature trees. *Acta Forestalia Fennica* 256. 28 s.

## 2 Energiapuun talteenoton vaihtoehdot

*Juha Nurmi*

*Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen  
tutkimusasema*

### 2.1 Pienpuun talteenotto

Pienpuun korjuu perustuu valtaosaltaan metsurin tekemään kokopiitten kaato-kausaukseen ja metsäkuljetukseen. Kuljetuksessa käytetään yleisimmin metsätraktoria tai puunajoon soveltuvaa maataloustraktoria. Kokopuut haketetaan tienvarsivarastossa. Mikäli on kyse maatilojen kotitarvepuusta tapahtuu haketus usein myös käyttöpäikällä. Jos lopputuote on polttoklapi, tehdään runkojen karsinta metsässä ja ajo vastaavasti rankoina.

Koska nuorten metsien suuresta määrästä ja työvoiman puutteesta johtuva nuorten metsien käsittelyn puute on muodostunut Suomessa ongelmaksi on tätä tilannetta

helpottamaan pyritty kehittämään sellaista korjuukalustoa, joka mahdollistaisi suurten pinta-alojen koneellisen korjuun kohtuu kustannuksin. Kehitystyö on välttämätöntä, sillä perinteisillä ainespuun korjuuseen tarkoitetuilla koneilla pieniläpimittaisen raivaus- ja harvennuspuun korjuukustannukset ovat kestävämmän korkeat. Nyt kehitteillä olevat ns. yhdistelmäkonet muodostuvat puristuspankolla varustetusta metsätraktorista, kuormaimesta ja keräilykaato-laitteesta (kuva 6). Laitte katkoo ja kerää kokopuut 2 - 6 puun taakoiksi ennen niiden kuormatilaan asettamista. Näin samalla koneella voidaan suorittaa kaato sekä kuljetus tien varteen. Mikäli työmaalta korjataan sekä ainespuuta että energiapuuta, on laitteella mahdollista katkoa rungot ja eritellä tyviosan kuitupuu ja latvan energiapuun osat. Erityisesti tulee huomata, että menetelmä ei vaadi kallista, nimenomaan harvennukseen tarkoitettua peruskonetta, vaan



Kuva 6. Karelian Puu ja Metalli Oy:n kehittämä keräilykaato-laitte soveltuu koko- ja osapuun korjuuseen (Kuva: Metsäteho Oy).

metsätraktoria voidaan muuna aikana käyttää joustavasti ainespuun ajoon.

Toisenlaista korjuuketjua edustaa palstahaketus-menetelmä. Siinä palstahakkuri hakettaa kokopuut metsurin kaato-kasautuksen jäljiltä palstalla omaan konttiinsa ja kuljettaa hakkeen tienvarsivarastoon. Siellä hake kipataan irtokonttiin tai hakeauton kuormatilaan. Usein hakettavan yksikön peruskoneena on metsätraktori, jonka kuormatilaan hakkuri syöttöpöytineen ja kontteineen on sijoitettu. Palstahakkuri voi myös olla oma laitekokonaisuutensa (kuva 7). Menetelmä on ollut erityisen suosittu Ruotsissa, ja menestyksekkäimmin sitä on Suomessa soveltanut Biowatti Oy. Palstahakkureita voidaan myös käyttää avohakkuu-aloilla. Tulee kuitenkin huomata, että hakkuutähteen ominaisuudet asettavat hakkurin syöttölaitteille omat erityisvaatimukset.

## 2.2 Hakkuutähteen talteenotto

### 2.2.1 Hakkuutyö ja hakkuutähteen kasautuminen

Hakkuutähteen etuna pienpuun korjuuseen verrattuna on, ettei se vaadi yksinkappalein käsittelyä, vaan talteenotto on koneellista alusta loppuun asti. Onnistuakseen tämä korjuuketju edellyttää hakkuukoneelta hakkuutähteen talteenottoon tähtävää työskentelytekniikkaa, jossa hakkuutähde kasautuu ajouran varteen omaksi puutavaralajiksi.

Normaalissa päätehakkutyöskentelyssä hakkuukone kaataa puut joko koneen yhdeltä tai molemmilta puolilta. Karsinta ja katkonta tehdään koneen edessä. Koneen siirtyessä eteenpäin hakkuutähde polkeutuu sen alle. Tämä menettely on monesti välttämätöntä maaston kantavuuden paran-



Kuva 7. Nuoren metsän kunnostuksessa syntyvä pieniläpimittainen puu voidaan hakettaa palstalla. (Kuva: Metla / Hannu Kalaja).

tamiseksi. Talteenoton kannalta hakkuutäh-  
teen tulee kuitenkin olla painumattomissa,  
selvästi näkyvissä kasoissa. Haluttuun kor-  
juujälkeen päästään, kun puiden karsinta  
suoritetaan hakkuukoneen sivulla, joko yh-  
dellä tai molemmilla puolilla. Näin mene-  
teltäessä hakkuutähte jää kasoille ajouran  
varteen (Nurmi 1994). Ruotsissa näitten  
vaihtoehtoisten hakkuumenetelmien on to-  
dettu alentavan yksiotihakkuukoneen tuot-  
tavuutta 2 - 4 % (Wigren 1991 ja 1992).  
Suomessa tuottavuuksissa on havaittu suur-  
ta vaihtelua työmaiden ja kuljettajien vä-  
lillä.

Hakkuutähteen kasautuminen on tär-  
keää keruutyön tehokkuuden kannalta. Mi-  
käli päätehakkuukuusikon korjuussa puut  
karsitaan hakkuukoneen edessä, jää hak-  
kuutähteen kuivamassasta vain 20 % hel-  
posti talteen otettaviin yli 50 cm paksuihin  
kerroksiin. Mikäli karsinta tapahtuu koneen  
sivulla, 70 - 80 % hakuutähteen kuivamas-  
sasta on yli puoli metriä paksuissa kerrok-  
sissa. Yli 80 cm korkeisiin kasoihin eteen-  
puinnin yhteydessä kertyi ainoastaan 5 %  
massasta, kun taas vaihtoehtoisilla mene-  
telmillä 40 %.

## 2.2.2 Hakkuutähteen metsäkuljetus

Hakkuutähteen haketus palstalien varressa  
edellyttää hakkuutähteen keruuta ja kulje-  
tusta metsätraktorilla palstalien varteen.  
Kuljetuksen tuottavuus on erityisen herkkä  
kuormakoolle. Työn tehostamiseksi ja kus-  
tannusten alentamiseksi tulisi metsätraktori  
varustaa laajennetulla kuormatilalla (Asi-  
kainen 1995). Pohjoismaisissa tutkimuk-  
sissa on hakuutähteen metsäkuljetuksen  
tuottavuus vaihdellut melkoisesti kuormien  
koon ollessa 5 - 9 tonnia.

Myös hakkuukoneen työnjälki vaikut-  
taa merkittävästi hakuutähteen metsäkulje-  
tyksen tuottavuuteen. Metsäntutkimus-  
laitoksen tutkimusten mukaan hakkuu-  
tähteen metsäkuljetus on huomattavasti  
tuottavampaa mukautetulta hakkuujäljel-  
tä. Mukautetulta jäljeltä kuusen hakkuutäh-

teen metsäkuljetuksen tehotuntuotos on  
300 m ajomatalla noin 20 % suurempi kuin  
jos tähteet olisi kerätty ajouralta.

Hakkuukoneen työtapavaikuttaa myös  
hakkuutähteen kertymään. Kun karsinta on  
tehty ajouralla, saadaan siitä talteen alle 60  
%. Mukautetuilla menetelmillä kertymä on  
sensijaan 70 - 75 %. Luvut osoittavat, että  
ajouralle karsituista oksista otetaan talteen  
pääasiallisesti helposti kerättävissä oleva  
materiaali.

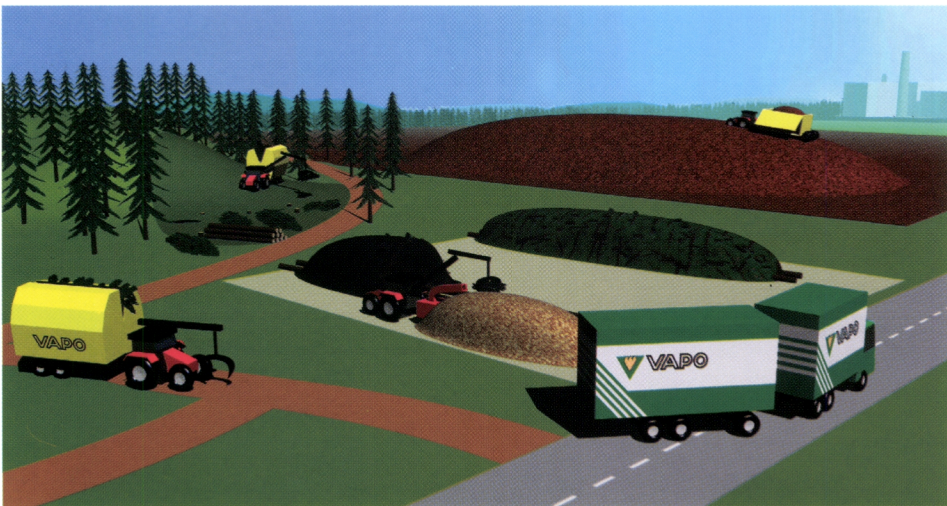
## 2.3 Hakuutähteen talteenoton uudet vaihtoehdot

Hakuutähdettä varastoidaan tienvaressa  
jonkin aikaa polttoaineen saatavuuden tur-  
vaamiseksi tai laadun parantamiseksi. Ir-  
tonaisen hakkuutähteen maantiekuljetusta  
ei Suomessa juurikaan harrasteta. Sensijaan  
hakuutähte haketetaan kuljetusta ja käyttöä  
varten jo palstalien varressa rumpuhakku-  
rilla vaihtolavalle tai suoraan autoon (kuva 8).

Tämän jo vakiintuneen menetelmän  
ohelle on kehittymässä kaksi merkittävää  
vaihtoehtoista hankintaketjua, jotka mo-  
lemmat soveltuvat omaan erityisympäris-  
töönsä. Näistä varhaisempi on Vapo Oy:n  
omia tarpeitaan vastaavaksi kehittämä ter-  
minaalihakkeen tuotantoketju. Siinä turve-  
tai maataloustraktori kuormaa kasoille ha-  
katun hakkuutähteen HavuHukka-hakkuu-  
tähdeperävaunuun. Vaunun erikoisuutena  
ovat kuorman tiivistävät purituslaitat. Sul-  
jettuna perävaunu on maantieliikennekel-  
poinen, joten hakkuutähte voidaan kuljet-  
taa sillä suoraan palstalta terminaaliin. Kul-  
jetusetäisyys on enintään 10 km. Terminaa-  
lissa hakkuutähte puretaan varastoamaan,  
jossa se kuivuu seuraavan kesän ylitse. Au-  
mat peitetään, jotta hakuutähte säilyisi kui-  
vana haketukseen saakka. Kuivunut hak-  
kuutähte haketetaan hakkurilla tai murs-  
kaimella. Hake voidaan tarvittaessa sekoit-  
taa turpeeseen. Tuotantoketjun hyvänä puo-  
lena on, että koneiden väliset kuumat ketjut  
on katkaistu. Siinä on pyritty hyödyntä-  
mään turveurakoitsijoiden konekapasiteet-



Kuva 8. LHM-Hakkuri Oy:n Giant-malli soveltuu kokopuun sekä irtonaisen tai paalatus hakuutähteen haketuksen (Kuva: Tommi Lahti).



Kuva 9. Terminaalihakkeen tuotantoketjun etuna on turvetuotannon vetokaluston ympärivuotinen hyödyntäminen ja mahdollisuus seospolttoaineen tuottamiseen sekoittamalla turvetta polttohakkeen joukkoon (Kuva: Vapo Oy).



Kuva 10. Hakkuutähteen paalaminen helpottaa käsittelyä ja alentaa kaukokuljetuksen kustannuksia (Kuva: Metla / Erkki Oksanen ).

tia. Lisäksi menetelmä tarjoaa lisätyötä urakoitsijoille, kuljettajille ja konekalustolle (kuva 9).

Toinen uusi hakkuutähteen talteenotomenetelmä on tähteen paalaaminen. Menetelmä on peräisin Ruotsista, missä tekniikkaa on kehitelty viime vuosikymmenen aikana. Paalien etuna irtotavaraan nähden on niiden hyvä käsiteltävyys ja korkea kuormatiheys maantiekuljetuksessa. Juuri näiden kriteerien takia paalit on valittu hakkuutähteen pääasialliseksi toimitusmuodoksi Pietarsaaren Ahlholmens Kraft:n voimalalle. Voimala sijaitsee aivan meren rannassa, joten hankinta-alue ja kuljetusetäisyydet muodostuvat suuriksi. Tässä ketjussa hakkuukoneen kasoille puima tähde paalataan välittömästi ainespuun ajon jälkeen (kuva 10). Paalit ajetaan tienvarteen kasoille tavallisella metsätraktorilla. Traktori ei vaadi erikoisvarustelua. Paalit varastoidaan tienvarressa tai käyttöpaikalla. Ne voidaan myös tarvittaessa peittää.

## 2.4 Puupolttoaineitten varastointi

Biopolttoaineiden korjuun eräs vaikeimmista vaiheista on niiden laadun hallinta. Aikaisempien tutkimusten perusteella tiedämme, että hakatun, murskatun tai muilla keinoin paloittelun biomassan pitkittynyt varastointi aiheuttaa huomattavia kuiva-ainetappioita, energiasisällön alenemista sekä terveysriskejä. Pitkästä lämmityskaudesta johtuen puskurivarastojen ylläpito on välttämätöntä polttohakevirran katkeamattomuuden takaamiseksi. Ongelmana onkin oikeiden talteenotto/varastointi-yhdistelmien löytäminen. Puupolttoaineen laatuun voidaan vaikuttaa oikea-aikaisella kuivatuksella ja varastoinnilla. Yleisimmät varastopaikat ovat palsta, välivarasto palstien varressa sekä polttohakkeen varastointi kasassa käyttöpaikalla. Otollisimmat paikat kullakin korjuutyömaalla ja käyttöpaikalla ovat tapauskohtaisia. Niihin vaikuttavat mm. ainespuun korjuun ja polttopuun talteenoton logistiikka, metsän uudistaminen,

metsämaan ravintesus ja lämpölaitoksen valmius polttaa joko kuivaa tai märkää tärhettä.

Puupolttoaineiden merkittävänä erona fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna on puun ominaisuuksien, mm. kosteuden, tiheyden ja tehollisen lämpöarvon vaihtelu. Puuaineen kosteus on tärkein puun palamiseen vaikuttavista tekijöistä. Polttopuun kosteus riippuu ensisijaisesti puun kaadon jälkeisestä käsittelystä ja varastoinnista. Polttohakkeen pienkuluttajien keskuudessa hakkeen kuivatus on tavanomaista. Suurkuluttajien keskuudessa tämä ei kuitenkaan ole kannattavaa suurten määrien sekä useiden toimittajien takia. Laadun parantaminen tulee silloin tehdä ennen haketusta. Kokopuitten ja hakkuutähteen rasikuivatus palstalla tai kuivatus tienvarsikasoissa ovat edelleen yksinkertaisimmat, tehokkaimmat ja taloudellisimmat menetelmät puupolttoaineen kosteuden alentamiseksi ja laadun parantamiseksi (Lehtikangas & Jirjis 1993).

Tuoreen puuaineen kosteus vaihtelee välillä 50 - 60 %. Kun puun maanpäällisten osien yhteys juuristoon on katkaistu, pyrkii niiden kosteus asettumaan tasapainotilaan ilman suhteellisen kosteuden kanssa. Kuivumisen nopeus riippuu mm. ilman lämpötilasta, suhteellisesta kosteudesta ja kuivatuspaikasta. Leimikossa levällään tai kourakasoissa olevat kokopuut tai vastaavasti palstalla kasoilla oleva hakkuutähde kuivuu suuremman pinta-alansa ja kasojen harvuuden takia välivarastoon ajettua materiaalia nopeammin. Mikäli hakkuut tehdään syksyllä tai talvella, puuaines ei kuivu palstallakaan ennen seuraavaa kesää. Pikemminkin talviaikainen varastointi voi lisätä hakkuutähteen kosteutta pintajään ja lumen muodossa. Mikäli hakkuu on tehty keväällä tai kesällä, hakkuutähde kuivuu hakkuukoneen palstalle tekemissä kasoissa usein erittäin hyvin. Parhaimmillaan parin viikon kuivatus riittää laskemaan kosteuden alle 35 %:n. Kokopuiden rasikuivatus leimikossa vie noin kuukauden (Hakkila 1962).

Varastointi ja kuivattaminen palstalla vähentää hakkuutähteen kertymää. Suurin

kertymä saadaan, mikäli hakkuutähde kerätään tuoreena. Tällöin tosin joudutaan kuljettamaan paljon vettä, mistä syntyy kustannuksia. Monissa nykyaikaisissa laitoksissa kostean hakkeen poltto ei tuota vaikeuksia, mutta toistaiseksi monissa laitoksista ei ole rakennettu vastaanottamaan näin kosteata polttoainetta. Jos hakkuutähteen annetaan kuivua palstalla, saatavan polttohakkeen tehollinen lämpöarvo paranee siinä määrin, että neulasten varisemisen johdosta tapahtuva massan menetys korvautuu lähes täysimääräisesti kosteuden alenemisella.

Parhaan säilyvyyden takaamiseksi tulee kuiva polttopuu ajaa välivarastoon odotamaan lähelle käyttöhetkeä ajoittuvaa haketusta. Näin voidaan säilyttää polttopuun hyvä laatu, koska lunta ja jätää ei tällöin pääse kertymään polttopuun sekaan. Säilyvyyttä voidaan edelleen edistää peittämällä tienvarsikasat katepaperilla, jolloin on tärkeätä mitoittaa kasa vastaamaan katteen leveyttä. Mikäli katetta ei ole käytettävissä kasa on tehtävä mahdollisimman korkeaksi, jolloin kasan yläosa pidättää satteen ja lumen.

## Kirjallisuus

- Asikainen, A. 1995. Discrete-event simulation of mechanized wood-harvesting systems. Tiedonantoja 38. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. 86 s.
- Hakkila, P. 1962. Polttohakepuun kuivuminen metsässä. Summary: Forest seasoning of wood intended for fuel chips. Communicationes Institutii Forestalis Fenniae 54(4). 82 s.
- Lehtikangas, P. & Jirjis, R. 1993. Vältlagring av avverkningsrester från barrträd under varierande omständigheter. Summary: Storage of logging residue (softwood) in windrows under variable conditions. Sveriges Lantbruksuniversitet. Inst. för Virkeslära. Rapp. No. 235. 45 s.
- Nurmi, J. 1994. Työtavan vaikutus hakkuukoneen tuotokseen ja hakkuutähteen kasautumiseen. Folia Forestalia (2). 10 s.

- Wigren, C. 1991. Tillvaratagande av trädrester efter slutavverkning med engrepsskördare - studie av en bränsleanpassad metod hos Mälarskog. Skogarbeten. Moniste 1991-11-08. 16 s.
- 1992. Studie av bränsleanpassad avverkning med engrepsskördare hos Mellanskog. Skogarbeten. Moniste 1992-02-14. 6 s.

*Taru Palosuo*  
*Euroopan Metsäinstituutti*

*Margareta Wihersaari*  
*VTT Energia*

*Risto Sievänen*  
*Metsäntutkimuslaitos*  
*Vantaan tutkimuskeskus*

### 3.1 Ilmastonmuutos ja puenergia

Ilmakehän kasvihuonekaasut, joista hiiliyhdisteet hiilidioksidi ja metaani ovat tärkeimmät, estävät lämpösäteilyn pääsyä maapallon pinnalta avaruuteen ja vaikuttavat kohottavasti maapallon lämpötilaan. Ilman tätä vaikutusta maapallo olisi niin kylmä, ettei nykyisenkaltainen elämä olisi täällä mahdollista. Pitkäaikaiset mittaukset ovat osoittaneet, että ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on jatkuvasti kohonnut viimeisen 200 vuoden aikana. Tästä arvellaan olevan seurauksena, että seuraavan sadan vuoden aikana maapallon keskilämpötila tulee kohoamaan 1,4 - 5,8 °C (IPCC 2001). Hiilidioksidipitoisuuden kasvu johtuu pääasiassa ihmisen toiminnasta. Torjuttaessa ihmisen aiheuttamaa kasvihuoneilmaston voimistumista hiilen kierron tasapainottaminen maapallolla on keskeisellä sijalla.

Kasvihuonekaasupäästöjen kasvua ja ilmastomuutosta yritetään rajoittaa kansainvälisin sopimuksin. Rio de Janeirossa v. 1992 solmitussa YKn ilmastosopimuksessa ei vielä asetettu sitovia velvoitteita päästöjen rajoittamiselle. Sopimuksen mukaan valtioilla on kuitenkin velvollisuus raportoida kasvihuonekaasutaseensa vuosittain. Päästöjen (ja hiilinielun) laskentaohjeet on annettu YKn alaisen järjestön IPCC:n (Intergovernmental Panel on Climate Change)

julkaisemissa ohjekirjoissa. Ilmastosopimuksen jatkoneuvotteluissa Kiotoon (Kiotoon pöytäkirja) v. 1997 teollisuusmaat sitoutuivat vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään keskimäärin 5 % vuoden 1990 tasosta kaudella 2008 - 2012. Kehitysmaille ei tullut päästörajoituksia, ne ovat velvollisia vain arvioimaan päästöjään. Euroopan unioni sitoutui tavoitteeseen 8 % ja Suomen osuudeksi EUn sisäisessä taakanjaossa tuli päästöjen pitäminen vuoden 1990 lukemissa (tavoite 0 %). Päästöjen on ennustettu kasvavan Suomessa vuoteen 2010 mennessä, joten rajoittamistoimet ovat tarpeen tällä vuosikymmenellä.

Kiotoon pöytäkirjaan on otettu mukaan rajattuja metsätalouden toimenpiteitä. Jos metsissä tapahtuu metsitystä, metsänuudistamista tai metsän hävitystä (afforestation, reforestation tai deforestation; artikla 3.3), otetaan kyseisten alueiden hiilitase huomioon kansallista kasvihuonekaasutasetta laskettaessa. Myös eräiden metsänkäsittelytoimenpiteiden hiilitasevaikutukset otetaan huomioon (artikla 3.4). Bonnin ilmastokokouksessa heinäkuussa 2001 päästiin poliittiseen sopimukseen Kiotoon pöytäkirjan avoimista kysymyksistä, mikä mahdollistaa sen ratifioinnin ja voimaantulon. Metsätalouden toimenpiteistä sovittiin, että artiklan 3.3 toimet koskevat maankäytön muuttumista; ts. jos metsämaa lisääntyy tai vähenee, se otetaan laskelmissa huomioon. Artiklan 3.4 mukaisena lisätoimena hyväksytään metsien hoito siten, että 15 % sen tuottamasta hiilinielusta voidaan laskea hyväksi.

Energiantuotanto on sekä Suomessa että maailmanlaajuisesti merkittävin ihmisen toimintaan liittyvä kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttaja. Biopolttoaineiden ja siis puun energiakäyttö eroaa fossiilisten polttoaineiden käytöstä siinä, että polttoaine on uusiutuva. Puuta poltettaessa vapautetaan ilmakehään hiiltä samoin kuin fossiilistenkin polttoaineiden tapauksessa, mutta

tämän hiilen voidaan ajatella sitoutuvan uudelleen kasvavaan puustoon. Mikäli biopolttoaineilla korvataan fossiilisia, voidaan tällä tavalla vähentää fossiilisista polttoaineista tulevia päästöjä ja parantaa kasvihuonekaasutasetta. Kioton pöytäkirjassa mainitaan uusiutuvien energiamuotojen käyttö suosittelavana toimenpiteenä. IPCC:n ohjeiden mukaan, joita Kioton pöytäkirjassa noudatetaan, bioenergiasta tulevat hiilidioksidipäästöt eivät ole rajoitusten piirissä. Kioton pöytäkirja antaa näin ollen selvän kannusteen puuenergian käytölle.

Seuraavassa esitellään puun energiankäytön kasvihuonekaasuvaikutuksia. Ensiksi tarkastellaan energiapuunkorjuun kasvihuonekaasutasetta ja toiseksi energiapuunkorjuun vaikutuksia metsän hiilivarastoihin.

### 3.2 Puuenergian kasvihuonekaasutase

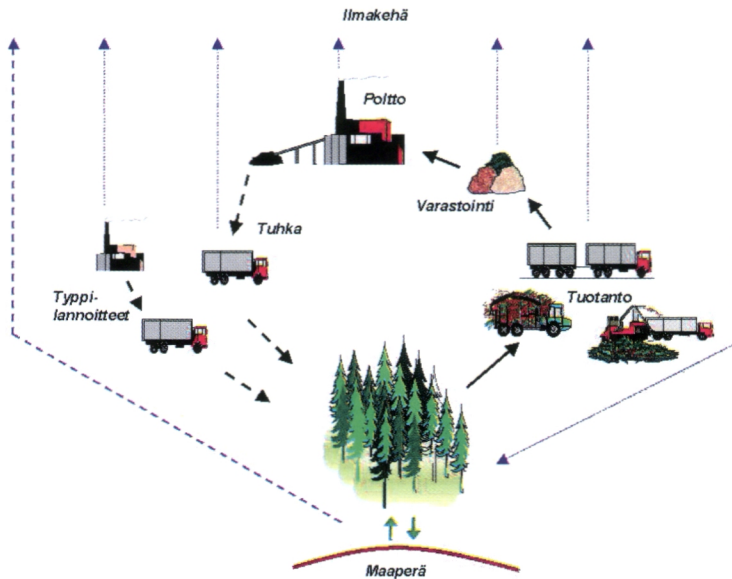
Puuenergia tuotannossa ja poltossa syntyy jonkin verran kasvihuonekaasuja. Päästölähteitä ovat tuotantoketjun koneet, poltto, metsähakkeen varastointi, tuhkan käsittely

ja palautus sekä mahdollinen korvauslainoitus.

#### 3.2.1 Metsähakkeen tuotannon päästöt

Metsähakkeen tuotantoketjut muodostuvat puun hakkuusta, metsäkuljetuksesta, haketuksesta, maantiekuljetuksesta sekä mahdollisesta hakkeen varastoinnista. Näissä tuotannon vaiheissa tarvitaan energiaa, joka useimmiten on peräisin fossiilisista polttoaineista. Tuotannossa tapahtuva energiankulutus synnyttää kasvihuonekaasupäästöjä. Päästöt muodostuvat työkoneiden polttomoottoreiden päästöistä, työkoneiden vaatiman sähköntuotannon aiheuttamista päästöistä ja valmiin hakkeen varastoinnin aiheuttamista päästöistä. Myös dieselpolttoaineiden ja koneiden valmistuksessa syntyy päästöjä, mutta niiden vaikutus ketjun kasvihuonekaasutaseeseen on vähäinen.

Hakkuutähteiden korjuuketjut voidaan luokitella sen mukaan missä haketus tapahtuu; metsässä palstalla, metsätien varrella, terminaalilla tai käyttöpaikalla. Lisäksi ketju voi poiketa muista työvaiheiden



Kuva 11. Metsähakkeen energiakäytön kasvihuonekaasuvirra (Kuva: VTT Energia).

määrän ja käytettyjen konetyyppien perusteella. Mikäli metsätähte haketetaan tai murskataan käyttöpaikalla, voidaan käyttää sähköistä hakkuria tai murskaajaa. Sähkön laskennalliset päästöt riippuvat oletetusta sähkön tuotantotekniikasta ja käytetystä polttoaineesta. Jos hakkurin käyttämä sähkö on tuotettu puulla, haketusvaiheen päästöt ovat merkittävästi pienemmät kuin dieselkäyttöisellä hakkurilla.

Polttomootoreiden päästöjen arviointi on hankalaa, sillä moottoreiden kuormitukset vaihtelevat suuresti ja nopeasti, mikä vaikeuttaa palamisprosessin hallintaa ja pakokaasujen puhdistusta. Myös moottorin tyyppi, ikä ja kunto vaikuttavat oleellisesti päästötasoon. Kasvihuonekaasu-päästöistä saadaan kuitenkin luotettava kuva tutkimalla polttoaineen kulutusta, sillä noin 98 % moottoreiden kasvihuonekaasupäästöistä on hiilidioksidipäästöjä, jotka ovat käytännössä suoraan verrannollisia polttoaineen kulutukseen. Polttoaineen kulutukseen vaikuttaa voimakkaasti kuljettajan ajotapa; epäedullinen ajotapa voi jopa kaksinkertaistaa kulutuksen.

Metsähakkeen tuotantoketjut ovat yleensä hyvin tehokkaita, tuotantoketjujen energiankulutus on noin 2 - 3 % tuotetun polttoaineen energiasisällöstä ja kasvihuonekaasupäästöt pienet, noin 4 - 7 kg CO<sub>2</sub>-ekv/MWh<sub>pa</sub><sup>1</sup> (Wiheraari & Palosuo 2000). Energiankulutuksen jakautuminen metsäkuljetukseen, haketukseen, ja kaukokuljetukseen riippuu tuotantoketjusta. Erot kokonaisenergiankulutuksessa ja päästöissä erilaisten tuotantoketjujen välillä ovat pienet.

---

<sup>1</sup> Päästöluvut on esitetty tuotettua polttoaineenergiaa kohti. Esitettyihin lukuihin sisältyy metsäkuljetuksen, haketuksen ja kaukokuljetuksen vaikutus energiankulutukseen ja päästöihin. Päästöt on esitetty hiilidioksidiekvivalentteina, eli kertomalla muita kasvihuonekaasuja, metaania (CH<sub>4</sub>) ja dityppioksidia (N<sub>2</sub>O) niiden globaalilla lämmityspotentiaalilla suhteessa hiilidioksidin vastaavaan arvoon 100 vuoden tarkastelujaksolla. Metaanille tämä kerroin on 21 ja dityppioksidille 310.

### 3.2.2 Metsähakkeen varastoinnin päästöt

Metsätähteiden ja valmiin hakkeen varastoinnin aikana tapahtuu materiaalin hajoamista, joka tuottaa erilaisia päästöjä. Erityisesti valmiin hakkeen varastointiin liittyy kasvihuonekaasujen päästöriski, sillä hajoamisprosessi hakekasoissa on vilkas ja sen seurauksena saattaa syntyä metaani- ja dityppioksidipäästöjä. Hakkeen varastoinnin päästöjä on toistaiseksi tutkittu vain vähän.

### 3.2.3 Puun polton päästöt

Hakkeen poltossa vapautuvien kasvihuonekaasujen määrä riippuu polttotekniikasta ja polttoaineen laadusta, esimerkiksi kosteudesta. Huonolaatuinen polttoaine tuottaa enemmän päästöjä kuin hyvänlaatuinen, sillä huonolaatuisen polttoaineen palamislämpötila jää matalammaksi. Saman lämpö määrän tuottamiseen täytyy heikkolaatuista polttoainetta käyttää enemmän, jolloin hiiltä palaa enemmän ja syntyy enemmän savukaasuja. Puuperäisten polttoaineiden hiilidioksidipäästöt vaihtelevat polttoaineen kosteudesta riippuen 360 - 430 kg CO<sub>2</sub>/MWh<sub>pa</sub> välillä. Puusta ja puuperäisistä polttoaineista polton yhteydessä vapautuvaa hiilidioksidia ei siis puubiomassan uusiutuvuuden vuoksi kuitenkaan IPCCn ohjeiden mukaan lasketa päästökäsi.

Puun polton muiden kasvihuonekaasujen, kuten metaanin ja dityppioksidin päästöt lasketaan samalla tavalla päästökäsi kuin fossiilisten polttoaineiden kohdalla. Puun poltossa syntyvät metaanipäästöt liittyvät epätäydelliseen palamiseen. Dityppioksidia taas syntyy korkeissa lämpötiloissa palamisilman typen hapettuessa ja polttoaineen sisältämien typpiyhdisteiden palamisessa. Dityppioksidia syntyy myös muiden typen oksidien (NO, NO<sub>2</sub>) päästöistä maahan kohdistuvan typpilaskeuman kautta. Polttoaineen typpipitoisuus vaikuttaa typen oksidien päästötasoon. Metsähakkeen typpipitoisuus riippuu hakkeen koostumuksesta. Nykyaikaisissa lämpövoimalaitoksissa

sa, joissa palaminen voidaan hallita hyvin, päästöt ovat verrattain pienet. Tavanomainen kasvihuonekaasupäästötaso ( $N_2O$  ja  $CH_4$ ) puun poltossa on 1 - 20 kg  $CO_2$ -ekv/ $Mwh_{pa}$  (Wiheraari & Palosuo 2000).

### 3.2.4 Tuhkan käsittely ja mahdollinen kompensatiolannoitus

Puupolttoaineiden tuhkapitoisuus on yleisesti ottaen pieni verrattuna muihin kiinteisiin polttoaineisiin kuten turpeeseen tai kivihiileen. Polttotekniikasta riippuen tuhkaan jää myös hiiltä. Nykyään puutuhka käytetään yleisimmin täytemaana tai ajetaan kaatopaikalle. Tässä käsittelyssä syntyy lähinnä kuljetuksesta kasvihuonekaasupäästöjä, jotka ovat suuruusluokaltaan noin 0.005 kg  $CO_2$ -ekv/ $Mwh_{pa}$ . Kun tuhka varastoidaan kaatopaikalle tai täyttömaana maahan, voidaan olettaa, että tuhkan sisältämä hiili ei käytännössä vapaudu ilmakehään. Tämä merkitsisi, että tuhkan perinteinen käsittely johtaisi pienen hiilinielun syntymiseen. Tähän ei kuitenkaan kannata pyrkiä, sillä kaikki tuhkan sisältämä hiili on pois energiantuotannosta eli polton hyötysuhde laskee.

Metsätähteiden energiakäytön yhteydessä voi tuhkan palauttaminen metsään tulla tarpeelliseksi. Jos tuhka palautetaan metsään, se pyritään rakeistamaan tai pelletöimään. Tuhkan rakeistuksesta, kuljetuksesta ja levityksestä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt ovat noin 0.2 kg  $CO_2$ -ekv/ $Mwh_{pa}$ .

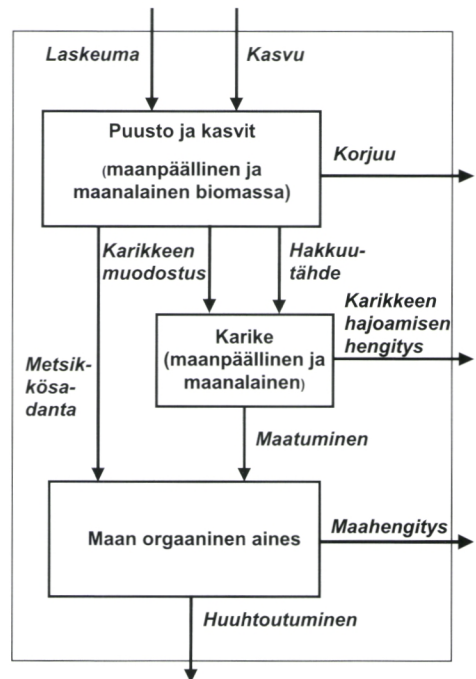
Metsätähteet sisältävät runsaasti typpeä, erityisesti jos neulaset ovat mukana tähteissä. Tuhkassa ei ole typpeä, joten jos metsästä tähteiden mukana viety tyyppi halutaan korvata, se on kompensoitava lannoituksella. Osa tyyppihävikistä korvautuu kuitenkin ilmakehästä tulevan typpilaskeuman kautta. Typpilannoitteiden valmistus on erittäin energiantensiivistä ja niiden tuotantoprosesseista aiheutuu päästöjä. Lisäksi päästöjä syntyy typpilannoitteiden kuljetuksessa ja levityksessä sekä siitä, että osa lannoitetyypistä vapautuu metsästä dityppiok-

sidina ilmaan. Kun tähteiden mukana viety tyyppi palautetaan metsään lannoitteena, syntyy kasvihuonekaasupäästöjä noin 7 kg  $CO_2$ -ekv/ $MWh_{pa}$ , eli saman verran kuin koko tuotantoketjusta (Wiheraari & Palosuo 2000).

## 3.3 Hakkuutähteiden talteenoton vaikutukset metsien hiilitaseeseen

### 3.3.1 Metsien hiilivarastot ja hiilen kierto talousmetsissä

Hiilen virtojen nopeudet ja varastot (kuva 12) vaihtelevat suuresti kasvillisuustyyppien ja ympäristöolosuhteiden mukaan. Nopeus, jolla maan orgaaninen hiili vapautuu ilmakehään, riippuu voimakkaasti lämpö-



Kuva 12. Metsien hiilivarastot ja virrat. Hengityksessä vapautuu hiilidioksidia ilmakehään. Laskeumassa tuleva hiilimäärä on vähäinen puiden ja kasvien kasvuun verrattuna.

tilasta. Pohjoisilla leveysasteilla on kylmää ja sen vuoksi siellä maaperään on varastoitunut suuri hiilimäärä. Kasvisolukkojen hajoaminen on tropiikissa nopeata ja hiilen varastoituminen on sen vuoksi suhteellisesti paljon vähäisempää kuin pohjoisilla leveysillä. Pohjoisen pallonpuoliskon havumetsävyöhykkeen, joihin Suomen metsät kuuluvat, puustoon ja maaperään on varastoitunut 26 % maapallon kasvillisuuden ja maaperän hiilivaroista. Pohjoisen havumetsävyöhykkeen kasvien kyky sitoa hiiltä on kuitenkin vain 8 % koko kasvillisuuden hiilensidonnasta. Suurin osa hiilestä sitoutuu tropiikin rehevissä ja nopeakasvuissa metsissä.

Metsämaan käytöllä voi olla periaatteessa tuntuva vaikutus sopeutumisessa Kioton pöytäkirjan sitoumuksiin. Suomen metsätaloukseen (karkeasti ottaen metsät ja suot) puustoon ja maaperään on varastoitunut noin kolmesataakertaisesti polttoaineiden ja turpeen käytön vuotuiset hiilipäästöt. Suurin yksittäinen metsätaloukseen hiilen varasto on turve, jossa on 70 % kokonaisuudesta. Kivennäismailla metsien hiilestä keskimäärin kolmasosa on sitoutunut puustoon, loput maaperään.

Puista ja muista kasveista hiili joko kulkeutuu korjuun kautta pois tai joutuu karikkeena ja hakkuutähteenä maan orgaaniseksi aineeksi (kuva 12). Karike ja hakkuutähte hajoavat päästäten osan niihin sitoutuneesta hiilestä hiilidioksidina takaisin ilmakehään. Osa karikkeesta ja hakkuutäh-

teestä on vaikeasti hajoavia ligniinipitoisia rakenteita, jotka säilyvät maan orgaanisena aineksena jopa tuhansia vuosia. Soihin varastoituneesta hiilestä osa vapautuu metaanina ilmaan.

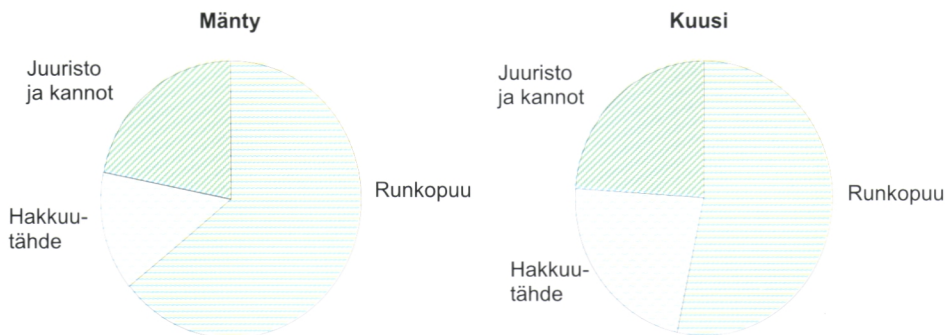
Talousmetsistä hiiltä kulkeutuu pois puun korjuun yhteydessä. Osa hiilestä varastoituu puusta valmistettuihin tuotteisiin, joista se aikanaan palautuu ilmakehään tuotteiden elinkaaren päättyessä eli tuotteiden maatuessa tai niiden polton yhteydessä.

### 3.3.2 Hakkuutähteiden hiili

Hakkuutähteeksi jäävän latvusmassan ja hukkarunkopuun osuus uudistuskypsän kuusikon kokonaisbiomassasta on keskimäärin vajaa neljännes ja männikön kokonaisbiomassasta noin seitsemäsosa (kuva 13). Puiden biomassasta jäävät palstalle myös maanalaiset osat, juuret ja kannot. Kuusikoissa hakkuutähteet muodostavat noin puolet metsikköön hakkuuhetkellä maan päälle ja alle jäävästä biomassasta, männiköissä reilun kolmanneksen. Hiiltä on puiden kuivamassasta noin puolet.

### 3.3.3 Vaikutukset puuston hiilivaraan

Hakkuutähteiden talteenoton yhteydessä typpeä ja muita ravinteita poistuu metsästä. Talteenotto ilman ravinteiden palautusta



Kuva 13. Biomassan jakautuminen uudistuskypsissä mänty- ja kuusimetsissä.

joko tuhkan tai muun lannoitteen muodossa voi heikentää puiden kasvua ja vaikuttaa sitä kautta puustoon sitoutuneen hiilivaraston suuruuteen. Luvussa 4.3. esitellyn tutkimuksen mukaan kokopuukorjuu kangasmetsien ensiharvennusten yhteydessä vähensi pohjapinta-alan kasvua 7 % männyllä ja 12 % kuusella korjuun jälkeisenä 10-vuotiskautena. Kangasmetsien päätehakkuun yhteydessä kokopuukorjuulla ei ollut vaikutusta männyin puiden pituuskasvuun, kuusen taimikossa pituuskasvu pieneni selvimmin viljavilla kasvupaikoilla.

### 3.3.4 Vaikutukset maaperän hiilivarastoon

Hakkuutähteiden käyttö energiantuotannossa merkitsee entistä intensiivisempää puiden biomassan hyödyntämistä. Tällöin hakkuissa palstalle jäävä ja maaperään päätyvä hiilimäärä vähenee. Hakkuutähteisiin sitoutunut hiili vapautetaan pian hakkuun jälkeen polttamalla. Jos hakkuutähteitä ei kerättäisi, vapautuminen tapahtuisi hitaammin tähteiden maatuessa palstalla.

Jos verrataan kahta metsäaluetta, joista toisesta hakkuutähteet on kerätty metsiköiden uudistushakkuissa ja toiseen hakkuutähteet on jätetty maatumaan, huomataan, että maaperän hiilivarasto on pienempi sillä alueella, josta hakkuutähteet on kerätty. Hakkuutähteiden talteenotto pienentää maaperän hiilivarastoa erityisesti hakkuiden jälkeisenä parina kymmenenä ensimmäisenä vuotena. Sen jälkeen hiilimäärät ovat lähellä tavanomaisten hakkuiden jälkeisiä hiilimääriä. Tämä hiilimäärien ero maaperässä on hakkuutähteiden talteenoton aiheuttama varastomuutos, joka voidaan ajatella päästönä ilmakehään. Eräiden laskelmien mukaan tämän tekijän huomioonmisen lisäksi puuenergian kasvihuonekaasupäästöjä merkittävästi.

Hakkuutähteiden talteenotolla voi olla myös epäsuoria vaikutuksia metsien hiilitaseeseen. Hakkuutähteiden talteenotto voi vaikuttaa orgaanisen aineksen hajoamisnopeuteen maaperässä ja puuston kasvuolo-

suhteisiin ympäristötekijöiden, esimerkiksi maaperän lämpötilan, happamuuden tai ravinnepitoisuuden, muutosten kautta.

## 3.4 Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen puupolttoaineilla

Käytettäessä uusiutuvia puupolttoaineita niistä vapautuvan hiilen voidaan katsoa sitoutuvan takaisin kasvavaan puustoon. Jos puupolttoaineilla korvataan fossiilisia polttoaineita, vältytään vastaavasti fossiilisten polttoaineiden aiheuttamilta hiilidioksidipäästöiltä. Esimerkiksi kivihiilen poltosta aiheutuva hiilidioksidipäästö on noin 334 kg CO<sub>2</sub>/Mwh<sub>pa</sub> (IPCC 1997). Kun hiilen tuotannosta, kuljetuksesta ja varastoinnista syntyvät päästöt otetaan huomioon, nousee päästötaso vielä yli 10 % korkeammaksi. Puupolttoaineiden poltossa ja tuotannossa vapautuvien kasvihuonekaasupäästöjen (muut kuin CO<sub>2</sub>) määrä on normaalisti hyvin pieni, noin 6 - 10 kg CO<sub>2</sub>-ekv/MWh<sub>pa</sub>, mikäli poltto tapahtuu polttoteknisesti hyvin eikä puupolttoainetta varastoida hakeena (Wihersaari & Palosuo 2000). Korvaamalla siis esimerkiksi kivihiihtä puuhakkeella voidaan parhaimmillaan vähentää laskennallisia kasvihuonekaasupäästöjä käytettyä polttoaineenergiämäärää kohti jopa 97 - 98 %. Puuhakkeen epädullinen varastointi, epädullinen poltto sekä toteutettu kompensatiolannoitus voivat yhdessä pienentää päästövähennystä jopa kymmenisen prosenttia. Mikäli arvioidut, hakkuutähteiden energiakäytöstä johtuvat muutokset maaperän hiilitaseessa otettaisiin hiilitaselaskelmissa huomioon, pienensivät päästövähennys edelleen noin kymmenisen prosenttia.

### Kirjallisuus

- Hakkila, P. 1989. Utilization of residual forest biomass. Springer Verlag, Berlin. 568 s.  
IPCC. 2001. IPCC Third Assessment Report - Climate Change 2001 (<http://www.ipcc.ch/>)

- IPCC. 1997. Greenhouse Gas Inventory: Reference manual – Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 3. Bracknell: The Intergovernmental Panel on Climatic Change.
- Liski, J. 1997. Carbon storage in forest soils in Finland. Helsingin yliopiston Metsäekologian laitoksen julkaisuja no. 16. ISBN 951-45-7744-2
- Minkkinen, K. 1999. Effect of forestry drainage on the carbon balance and radiative forcing of peatlands in Finland. ISBN 952-91-1547-4
- Palosuo, T. & Wihersaari, M. 2000. Puuenergia ja kasvihuonekaasut. Osa 2: Hakkuutähteiden energiakäytön vaikutus metsien maaperän hiilitaseeseen. VTT Energian raportteja 9/2000.
- UNFCCC. 1997. Kyoto protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. UNFCCC Secretariat, Bonn, FRG.
- Wihersaari, M. & Palosuo, T. 2000. Puuenergia ja kasvihuonekaasut. Osa 1: Päätehakuun hake-  
tuotantoketjujen kasvihuonekaasupäästöt. VTT Energian raportteja 8/2000.
- Wihersaari, M. 1996. Biopolttoaineet ja ympäristö. Kauppa- ja teollisuusministeriö. 164 s. (Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 17/1996).

*Eino Mälkönen ja Mikko Kukkola*

*Metsäntutkimuslaitos  
Vantaan tutkimuskeskus*

*Leena Finér*

*Metsäntutkimuslaitos  
Joensuun tutkimuskeskus*

## 4.1 Ravinteiden kierto ja metsämaan puuntuotoskyky

### 4.1.1 Ravinnekierto

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

Ravinteiden biologiseen kiertoon sisältyvät kasveille käyttökelpoinen ravinnevarasto maassa, kasvien ravinteiden otto ja niiden sitoutuminen biomassatuotokseen sekä palautuminen uudelleen kasvien saataville kuolleen orgaanisen aineen hajotuksessa. Tärkeimpiä perusprosesseja, jotka tuottavat ravinteita kasvien käyttöön, ovat mineraalien rapautuminen, biologinen ty-

pendidonta ja ravinnelaskeuma ilmakehäästä. Esimerkiksi paksuturpeisilla soilla kivennäismaasta rapautumisessa vapautuvat ravinteet ovat juurten tavoittamattomissa, ja merkittävin ravinnelisäys biologiseen kiertoon tulee laskeuman kautta.

Kasvuisassa metsässä ravinnekierto on hyvin suljettu (taulukko 6). Ravinteiden menetys kasvupaikalta, huuhtoutuminen vesistöihin tai haihtuminen ilmaan, on vähäistä. Häiriötilanteissa kuten esimerkiksi metsäpalon, puunkorjuun ja uudistamisen sekä kunnostusojituksen yhteydessä kasvupaikalta kuitenkin menetetään ravinteita. Metsäpalossa ja kulotuksessa palavan aineen sisältämä typpi haihtuu ilmaan ns. kivennäisravinteiden jäädessä tuhkaan. Perinteisessä ainespuun korjuussa hakkuutähteen sisältämät ravinteet jäävät kasvupaikalle. Metsän uudistamisvaiheessa, jolloin ravinteita käytävää kasvillisuutta on vähän, huuhtoutuminen voimistuu muutaman vuoden ajaksi.

Vuotuinen typpilaskema on Etelä-Suomessa yleensä 3 - 10 kg/ha, Pohjois-Suomessa 2 - 3 kg/ha. Luontainen typpi-huuhtouma metsäisiltä valuma-alueilta on selvästi laskeumaa pienempi. Myös fosforia tulee laskeumana metsäekosysteemiin enemmän kuin sitä huuhtoutuu. Kaliumlaskeuma vastaa likimain huuhtoumaa. Suurinta laskeuma on eteläisessä Suomessa ja pienintä pohjoisessa.

Kangasmetsien kasvua rajoittaa useimmiten kasveille käyttökelpoisen typen niuk-

Taulukko 6. Vuotuinen ravinnelaskeuma metsäekosysteemiin (Järvinen 1986) ja ravinteiden luontainen huuhtouma metsäisiltä valuma-alueilta (Ahtiainen 1990, Kortelainen ym. 1999).

	N	P	K
Laskeuma, kg/ha	1,8 - 12,0	0,06 - 0,43	0,5 - 2,4
Huuhtouma, kg/ha	0,3 - 2,3	0,02 - 0,15	0,8 - 2,7

kuus, mikä aiheutuu orgaanisen aineen hitaasta hajoamisesta. Vaikka juuristokerroksessa on tyypeä 2 - 3 t/ha, vain muutama prosentti siitä mineralisoituu vuosittain ammoniumtypeksi kasvien uudelleen käytettäväksi. Metsikön ravinnekierrossa hajotajaeliöstön toiminta onkin avainasemassa. Puuston kasvun lisääminen metsänhoidon menetelmin perustuu useimmiten ravinnekierroksen nopeutumiseen.

Turvemailla puuston kasvua rajoittaa yleensä fosforin, kaliumin ja boorin niukkuus. Karuilla soilla myös kasveille käyttökelpoisen typen vähyys on kasvua rajoittava tekijä. Tyypeä ja fosforia on juuristokerroksessa runsaasti (taulukko 7), mutta orgaanisen aineen hitaan hajoamisen vuoksi niitä vapautuu niukasti kasvien käyttöön. Muilla ravinteilla käyttökelpoinen osuus turpeen sisältämästä kokonaismäärästä on huomattavasti suurempi kuin tyypellä ja fosforilla.

Ravinteiden niukka saatavuus ilmenee puiden ravinteiden käytössä. Osa neulasten sisältämistä ravinteista siirtyy neulasten kellastuessa puun sisäisen ravinne-

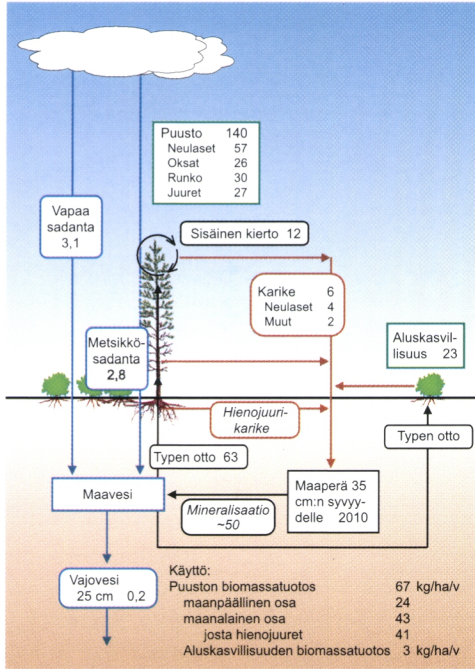
kierron välityksellä seuraavana keväänä uudelleen käytettäväksi (kuvat 14 ja 15). Sisäiseen kiertoon osallistuvat vain ne ravinteet, jotka voivat liikkua puun nilassa (N, P, K ja Mg). Sisäinen kierto on tehokkainta typen ja fosforin osalta, mutta sillä on merkitystä myös vuotuisen kalium- ja magnesiumitarpeen tyydyttämisessä (Helmisaari 1995). Puun sisäinen ravinnekierro on tärkeä lyhytaikaisessa puun ravinnetilan säätelyssä kuten keväällä kasvun alkaessa.

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

Puuston biomassan entistä tarkempi talteenotto herättää kysymyksiä metsämaiden puuntuotoskyvyn kestävydestä. Mahdollisina riskitekijöinä nousevat esille ravinteisuuden heikkeneminen ja kangas-

Taulukko 7. Metsämaan kokonaistypen sekä käyttökelpoisen fosforin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin määrät Etelä-Suomessa (Tamminen 1998).

Ravinne	Kerros	Lehdot	Lehtom. kangas	Tuore kangas	Kuivahko kangas	Kuiva kangas	Keskimäärin
kg/ha							
N <sub>kok.</sub>	Humus	400	670	660	520	300	600
	0 - 20 cm	2250	2080	940	750	620	1110
	Yhteensä	2650	2750	1600	1270	920	1710
P	Humus	5,8	7,4	11,6	8,8	6,0	9,5
	0 - 20 cm	5,9	7,7	5,6	5,3	6,1	6,0
	Yhteensä	11,7	15,1	17,2	14,1	12,1	15,5
K	Humus	117	33	44	32	19	36
	0 - 20 cm	44	36	18	15	13	20
	Yhteensä	61	69	62	47	32	56
Ca	Humus	170	180	150	110	55	140
	0 - 20 cm	560	210	70	47	20	80
	Yhteensä	730	390	220	157	75	220
Mg	Humus	17	24	20	14	7	18
	0 - 20 cm	71	43	12	8	5	14
	Yhteensä	88	67	32	22	12	32



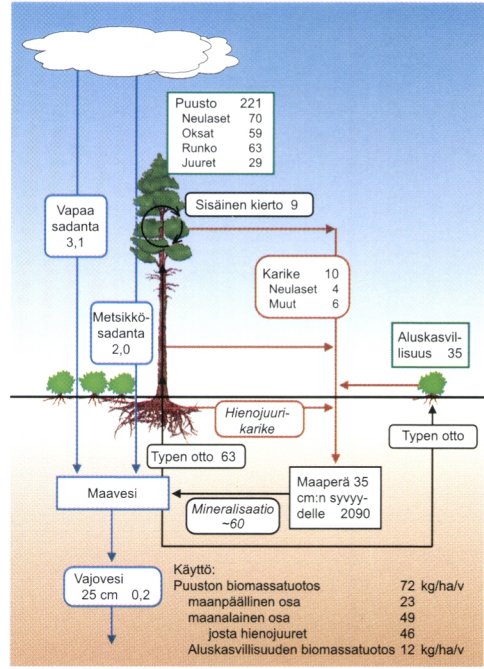
Kuva 14. Typen määrä (kg/ha) ja kierto (kg/ha/v) nuorena männikössä Ilomantsissa (Helmisaari 1998).

mailla myös maaperän happamoituminen. Lisäksi biomassan korjuusteella saattaa olla vaikutusta metsämaan lämpöoloihin ja vedenpidätyskykyyn.

#### 4.1.2 Metsämaan ravinnevarat

Kangasmailla yksittäisten maaperätunnusten ja kasvupaikan tuotoskyvyn väliset riippuvuudet ovat melko löyhiä. Parhaita ravinnetunnuksia kasvupaikan tuotoskyvyn kuvaamiseksi ovat humuskerroksen ja kivennäismaan pintaosan kokonaistypen pitoisuudet sekä kivennäismaan vaihtuvan kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet (Viro 1951, Lipas 1985, Tamminen 1993, 1998).

Metsätyypit kuvastavat melko hyvin kasvupaikan typpi-, kalium-, kalsium- ja magnesiummääriä (taulukko 7), mutta fosforin määrä ei lisäännä vastaavasti metsätyypin muuttuessa viljavammaksi. Näin ollen typen ja fosforin suhde on puiden kas-



Kuva 15. Typen määrä (kg/ha) ja kierto (kg/ha/v) päteuhakuuvaiheen männikössä Ilomantsissa (Helmisaari 1998).

vun kannalta epäedullisin viljavimmilla kasvupaikoilla.

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

Ojitetuilla soilla pintaturpeen ravinnevarastot ovat yleensä runsaammat alunperin minerotrofisilla kuin ombrotrofisilla soilla (taulukko 8). Tämä suhde on selvempi typen ja fosforin kuin kaliumin kohdalla. Typen ja fosforin määrät ovat suuremmat ojitetuilla kuin vastaavilla luonnonalaisilla soilla, mikä aiheutuu turpeen painumisesta ojituksen jälkeen (Laiho & Laine 1994, 1995, Kaunisto & Paavilainen 1995). Turpeen painuminen ei lisää merkittävästi ka-

Taulukko 8. Juuristokerroksen (0 - 20 cm) kokonaisravinnemäärät ojitetuilla soilla ja vanhoilla ojitusalueilla (Kaunisto ja Paavilainen 1988, Paavilainen ja Päivänen 1995).

Ravinne	Suotyyppi					Käyttökelpoinen osuus
	Isovarpuinen räme	Varsinainen sararäme	Ruohoinen sararäme	Mustikka-korpi	Vanhat ojitusalueet	
			kg/ha			%
Typpi	1910	2570	5880	4970	3000 - 7000	< 1
Fosfori	105	125	380	310	90 - 250	1 - 8
Kalium	65	90	220	235	30 - 65	> 50
Kalsium	390	830	1650	1800	500 - 1800	
Magnesium	70	140	200	250	50 - 200	
Boori	0,4				0,2 - 0,6	

liumin määrää, sillä suurin osa kaliumista on pintaturpeessa ja sen määrä vähenee selvästi syvemmissä turvekerroksissa. Kaliumia huuhtoutuu vain häiriötilanteissa, esimerkiksi ojituksen yhteydessä, jos kasvillisuus ei pysty sitä täysimääräisesti pidättämään. Ojituksen jälkeen elpyvä puusto sitoo tehokkaasti kaliumia biomassatuotokseen, joten se on tarkoin biologisessa kierrossa. Kalsiumin ja magnesiumin määrien väheneminen ojituksen jälkeen on selitettävissä sekä puuston ravinteiden otolla että huuhtoutumisella.

### 4.1.3 Metsämaan happamuus

Metsämaan happamuus määräytyy osin metsien luontaisen kehityksen, osin metsien hoidon ja käytön sekä happaman laskeuman aiheuttaman kuormituksen mukaan. Happamuus vaikuttaa ravinteiden saatavuuteen sekä suoraan kemiallisesti että

kasvillisuuden koostumuksen välityksellä. Mikrobin hajotustoiminta on yleensä sitä hitaampaa mitä happamampaa maa on. Ravinteisuuden suhteen vaateliaat ja samalla helposti hajoavaa kariketta tuottavat kasvit suosivat lähes neutraaleja oloja. Maaperän happamuudelle ei kuitenkaan ole pystytty määrittelemään optimiarvoja puiden kannalta. Puulajimme ovat sopeutuneet happamiin oloihin, ja metsämaalla on hyvä puskurikyky happamuuden muutoksia vastaan.

Humuskerroksen pH korreloi varsin hyvin kasvupaikkatyyppillä ilmaistun viljavuuden kanssa (taulukko 9). Sen sijaan kiennäismaan pH-arvot ovat samankaltaisia kaikilla kasvupaikkatyypeillä ohutta pintakerrosta lukuunottamatta.

Happamuus rajoittanee typen mineraalisaatiota kangasmailla viljavampia kasvupaikkoja lukuunottamatta. Yhtenä osoitukseksi tästä on se, ettei typpilisäyksellä saada mainittavaa kasvunlisäystä lehdossa eikä aina lehtomaisilla kankaillaakaan.

Taulukko 9. Maan pH kasvupaikkatyypeittäin (Tamminen 1998).

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

Hakkuutähteen korjuun happamoittava vaikutus perustuu puiden ravinteiden ottoon ja biomassaan sitoutuneiden ravinteiden poistumiseen kasvupaikalta. Ottamien- sa ravinnekationien (esim.  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ) kompensoimiseksi puiden juuret luovuttavat maahan vetyioneja ( $\text{H}^+$ ). Vastaavasti ravinneanioneja (esim.  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) ottaessaan juuret luovuttavat hydroksidi- ( $\text{OH}^-$ ) tai vetykarbonaatti-ioneja ( $\text{HCO}_3^-$ ). Koska kationit ovat vallitsevia ravinteiden otossa, puuston kasvaessa myös vetyionien määrä maassa kasvaa ja maa happamoituu. Luonnontilaisissa metsissä tämä puuston kasvusta aiheutuva maan happamoituminen palautuu ainakin osittain kasvinosien hajotessa. Talousmetsissä korjattavaan biomassaan sitoutuneet emäskationit ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) poistuvat kasvupaikalta, mikä vähitellen happamoittaa maata. Jos ainespuun lisäksi myös hakkuutähde otetaan talteen, emäskationien menetys kasvaa huomattavasti ainespuun korjuuseen verrattuna. Emäskationien menetyksestä aiheutuvat happamuuden muutokset ovat turvemaidella vähäisempiä kuin kangasmailla johtuen turpeen voimakkaasta puskuroitumisesta happamuuden muutok- sia vastaan (Pätilä 1990).

#### 4.1.4 Puuston ravinteiden käyttö

Hakkuutähteen korjuun seurannaisvaikutusten kannalta on olennaista se, miten paljon metsikkö tarvitsee ravinteita korjuun jälkeen. Puuston ravinnetarve on suurimmillaan pian ensiharvennuksen jälkeen eli noin 30 - 50 vuoden iällä kasvupaikan viljavuudesta riippuen. Myös eri puulajien ravinteiden käytössä on huomattavia eroja. Esimerkiksi ensiharvennusvaiheessa oleva männikkö ja koivikko käyttävät seuraavia määriä ravinteita (Mälkönen 1977):

	Typpi	Fosfori	Kalium	Kalsium
	kg ravinteita tuotettua biomassatonnia kohti			
Mänty	4,5	0,5	2,3	1,8
Koivu	9,7	0,7	3,8	4,9

Kuusi käyttää saman biomassamäärän tuottamiseen enemmän ravinteita kuin mänty.

Harvennusemetsikössä kasvatettavaksi jäävä puusto käyttää hakkuutähteestä vähitellen vapautuvat ravinteet tarkoin hyväkseen, mutta uudistusalalle syntyvän taimikon ravinnetarve on vuosikautia suhteellisen pieni. Tämän vuoksi ravinteiden huuhtoutumisriski on päätehakkuun jälkeen huomattavasti suurempi kuin harvennuksen jälkeen.

#### 4.2 Hakkuutähteen ravinnesisältö

Hakkuutähteellä tarkoitetaan tässä puutavarankorjuussa metsään tähteeksi jääviä rungonosia ja oksia, mutta siihen ei lueta kanto- ja juuripuuta. Hakkuutähteen suhteellinen osuus puuston biomassasta laskee nopeasti puuston järeytyessä.

Metsikkö harvennetaan ensimmäisen kerran 25 - 50 vuoden iällä kasvupaikasta riippuen. Suometsissä ensiharvennuksen ajankohta on sidoksissa puiden järeyden ja metsikön rakenteen kehitykseen uudisojituksen jälkeen. Suometsät harvennetaan yleensä 25 - 35 vuoden kuluttua ojituksesta.

Ensiharvennusemetsissä latvukset sisältävät noin kolmanneksen puiden maanpäällisen osan biomassasta, mutta noin kaksi kolmannesta puun sisältämistä ravinteista. Kuusen latvusmassa on noin kaksinkertainen läpimitaltaan ja pituudeltaan samankokoiseen mäntyyn verrattuna.

Päätehakkuuvaiheen kuusikoissa latvusmassaa on yleensä 150 - 200 kg rungon kuutiometriä kohti (Hakkila 1991). Mänyllä latvusmassaa on 80 - 160 kg rungon kuutiometriä kohti eli olennaisesti vähemmän kuin kuusella.

Arvio hakkuutähteen ravinnesisällöstä (taulukko 10a ja 10b) perustuu ensiharvennus- ja päätehakkuuleimikoiden latvusmassoihin (Hakkila 1991) ja hakkuutähteestä tehtyihin ravinnemäärityksiin. Taulukon avulla voidaan arvioida leimikon hakkuutähteen ravinnesisällön suuruusluokka, kun runkotilavuus tiedetään.

Taulukko 10a. Männyn ja kuusen latvusmassa (Hakkila 1991) ja sen ravinnesisältö ensiharvennusemetsiköissä (kilogrammina rungon kuorellista kuutiometriä kohti).

	Mänty		Kuusi
	Etelä	Pohjoinen	Etelä
<b>Biomassa, kg/m<sup>3</sup></b>			
Neulaset	37,8	41,6	74,9
Elävien oksien puu+kuori	73,8	61,2	104,6
Kuolleet oksat	29,5	20,5	13,8
<b>Koko latvus</b>	<b>141,1</b>	<b>123,3</b>	<b>193,3</b>
<b>Typpi, kg/m<sup>3</sup></b>			
Neulaset	0,458	0,504	0,790
Elävien oksien puu+kuori	0,304	0,252	0,430
Kuolleet oksat	0,088	0,061	0,057
<b>Koko latvus</b>	<b>0,849</b>	<b>0,817</b>	<b>1,277</b>
<b>Fosfori, kg/m<sup>3</sup></b>			
Neulaset	0,045	0,050	0,085
Elävien oksien puu+kuori	0,037	0,031	0,044
Kuolleet oksat	0,047	0,033	0,006
<b>Koko latvus</b>	<b>0,130</b>	<b>0,114</b>	<b>0,134</b>
<b>Kalium, kg/m<sup>3</sup></b>			
Neulaset	0,180	0,198	0,380
Elävien oksien puu+kuori	0,151	0,125	0,164
Kuolleet oksat	0,108	0,075	0,022
<b>Koko latvus</b>	<b>0,439</b>	<b>0,398</b>	<b>0,566</b>
<b>Kalsium, kg/m<sup>3</sup></b>			
Neulaset	0,136	0,150	0,455
Elävien oksien puu+kuori	0,206	0,171	0,487
Kuolleet oksat	0,059	0,041	0,064
<b>Koko latvus</b>	<b>0,402</b>	<b>0,362</b>	<b>1,006</b>
<b>Magnesium, kg/m<sup>3</sup></b>			
Neulaset	0,032	0,036	0,067
Elävien oksien puu+kuori	0,037	0,031	0,049
Kuolleet oksat	0,000	0,000	0,006
<b>Koko latvus</b>	<b>0,070</b>	<b>0,067</b>	<b>0,123</b>

Taulukko 10b. Männyn ja kuusen latvusmassa (Hakkila 1991) ja sen ravinnesisältö päätehakkuumetsikoissa (kilogrammina rungon kuorellista kuutiometriä kohti).

	Mänty		Kuusi	
	Etelä	Pohjoinen	Etelä	Pohjoinen
<b>Biomassa, kg/m<sup>3</sup></b>				
Neulaset	19,2	30	59,4	76,3
Elävien oksien puu+kuori	55,4	71	98,4	131,5
Kuolleet oksat	7,5	6,4	6,6	9,7
<b>Koko latvus</b>	<b>82,1</b>	<b>107,4</b>	<b>164,4</b>	<b>217,5</b>
<b>Typpi, kg/m<sup>3</sup></b>				
Neulaset	0,233	0,364	0,627	0,805
Elävien oksien puu+kuori	0,228	0,292	0,404	0,540
Kuolleet oksat	0,022	0,019	0,027	0,040
<b>Koko latvus</b>	<b>0,483</b>	<b>0,675</b>	<b>1,058</b>	<b>1,385</b>
<b>Fosfori, kg/m<sup>3</sup></b>				
Neulaset	0,023	0,036	0,067	0,086
Elävien oksien puu+kuori	0,028	0,036	0,041	0,055
Kuolleet oksat	0,012	0,010	0,003	0,004
<b>Koko latvus</b>	<b>0,063</b>	<b>0,082</b>	<b>0,111</b>	<b>0,146</b>
<b>Kalium, kg/m<sup>3</sup></b>				
Neulaset	0,091	0,143	0,302	0,388
Elävien oksien puu+kuori	0,113	0,145	0,154	0,206
Kuolleet oksat	0,028	0,023	0,010	0,015
<b>Koko latvus</b>	<b>0,232</b>	<b>0,311</b>	<b>0,467</b>	<b>0,609</b>
<b>Kalsium, kg/m<sup>3</sup></b>				
Neulaset	0,069	0,108	0,361	0,463
Elävien oksien puu+kuori	0,155	0,199	0,459	0,613
Kuolleet oksat	0,015	0,013	0,031	0,045
<b>Koko latvus</b>	<b>0,239</b>	<b>0,320</b>	<b>0,850</b>	<b>1,121</b>
<b>Magnesium, kg/m<sup>3</sup></b>				
Neulaset	0,020	0,032	0,053	0,069
Elävien oksien puu+kuori	0,038	0,049	0,046	0,062
Kuolleet oksat	0,001	0,001	0,003	0,005
<b>Koko latvus</b>	<b>0,059</b>	<b>0,082</b>	<b>0,103</b>	<b>0,135</b>

### 4.3 Ravinnemenetyksen vaikutus puuston kasvuun

#### 4.3.1 Kangasmetsien ensiharvennukset

Hakkuutähteen korjuun aiheuttamaa ravinnemenetystä ja sen merkitystä puuston kasvulle tarkastellaan koesarjan avulla, johon kuuluu 12 koetta (taulukko 11). Kokeet sijaitsevat Etelä-Ruotsista Rovaniemen korkeudelle ulottuvalla vyöhykkeellä; 5 koetta Ruotsissa ja 7 Suomessa (Jacobson & Kukkola 1999). Näiden koemänniköiden hakkuutähdemäärä on keskimäärin selvästi suurempi kuin Hakkilan (1991) ensiharvennusleimiköiden latvusmassa (taulukko 10a). Kuusikkoaineistot vastaavat sen sijaan erittäin hyvin toisiaan.

Hakkuutähteen korjuun aiheuttama pohjapinta-alan kasvun taantuma oli männiköissä keskimäärin 7 % ainespuun korjuun jälkeiseen kasvuun verrattuna (kuva 16). Se vastasi koemetsiköissä noin 5 m<sup>3</sup>/ha 10-vuotiskauden aikana. Kuusikoissa, joissa ravinnemenetykset hakkuutähteen korjuussa oli noin kaksinkertainen männiköihin verrattuna, pohjapinta-alan kasvun taantuma oli keskimäärin 12 %, mikä vastasi 17 m<sup>3</sup>/ha 10-vuotisen havaintokauden aikana (kuva 16). Kasvun taantuma vaihteli metsiköittäin suuresti, eikä siihen vaikuttavia tekijöitä vielä tarkemmin tunneta.

Pohjapinta-alan kasvun kehitys osoittaa, että puuston kasvu alkoi taantua 3 - 5 vuoden kuluttua harvennuksesta eli ajankohdittana, jolloin tyyppiä alkaa vapautua hakkuutähteestä. Kasvun elpymisestä ei ilmennyt merkkejä 10 vuoden kuluttua hakkuutähteen korjuusta, eikä kasvun taantumasta ole tarkkaa tietoa. Avohakkuualoilla arvioidaan pääosan hakkuutähteen ravinnesisällöstä mineralisoituvan 15 vuoden kuluessa hakkuusta (Olsson ym. 1996a, 1996b).

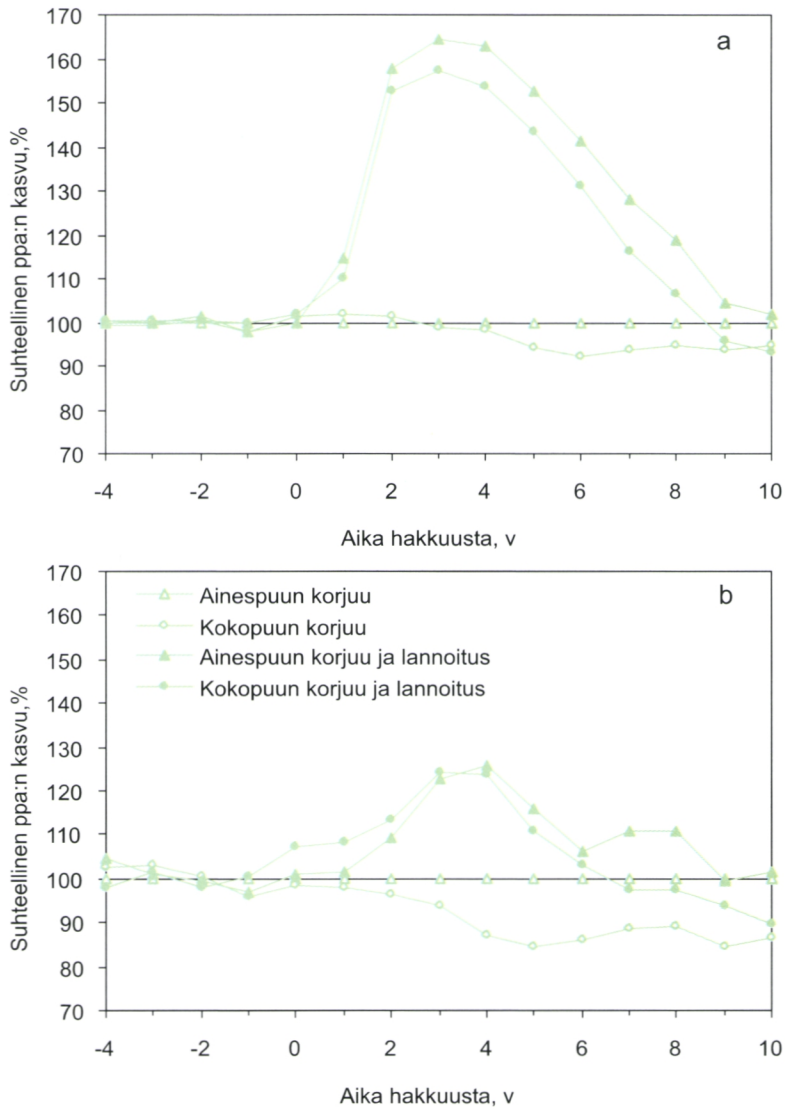
#### Toistettu hakkuutähteen korjuu

Hakkuutähteen määrän merkitystä puuston kehitykselle tarkastellaan myös kolmen kuusikokeen perusteella, joilla hakkuutähte on korjattu kahdessa peräkkäisessä harvennuksessa 10 vuoden välein (taulukko 12). Koemetsiköt ovat viljavuudeltaan käenkaali-mustikkatyyppejä (Kukkola & Mälkönen 1997).

Toistettu hakkuutähteen korjuu heikensi näiden viljavien kuusikoiden tilavuuskasvua noin 23 m<sup>3</sup>/ha 20 vuoden aikana (kuva 17). Hakkuutähteen korjuussa menetettyjen ravinteiden (N, P, K) korvaaminen helppoliukoisilla lannoitteilla nosti puuston kasvun ainespuun korjuuta vastaavalle tasolle. Normaalisti metsänlannoituksella hakkuutähteen korjuualoilla saatu kasvunlisäys jäi koejakson aikana noin 13 m<sup>3</sup>/ha heikommaksi kuin ainespuun korjuun aloilla.

Taulukko 11. Koemetsiköiden puusto- ja hakkuutähdetunnuksia (Jacobson & Kukkola 1999).

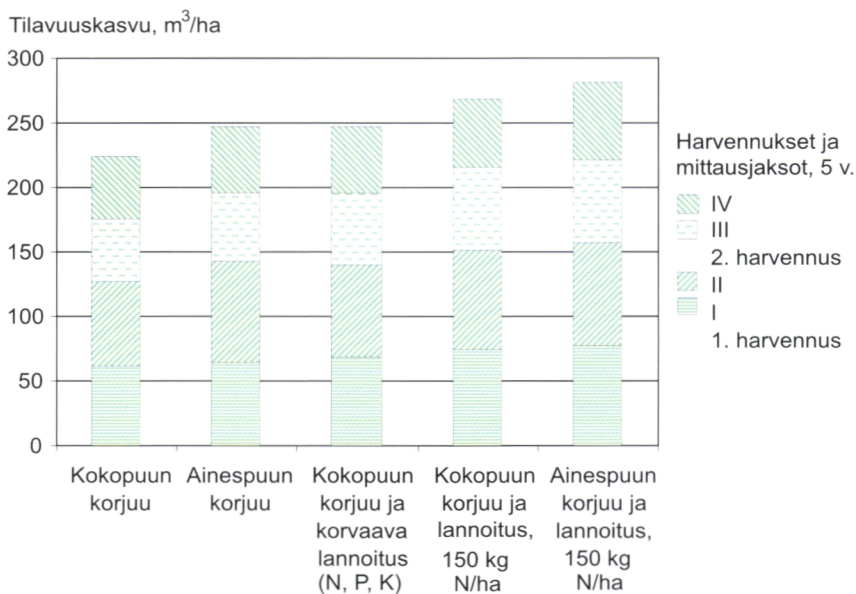
Metsikkö	Puuston ikä, v	Tilavuus ennen harvennusta, m <sup>3</sup> /ha	Harvennuspoistuma, m <sup>3</sup> /ha	Hakkuutähte					
				Bio-massa, t/ha	Ravinnesisältö				
					N	P	K	Ca	Mg
Männiköt, 8 kpl	44	163	49	8,4	41	4	15	21	4
Kuusikot, 4 kpl	40	259	81	15,5	94	11	33	81	10



Kuva 16. Männiköiden (a) ja kuusikoiden (b) suhteellinen pohjapinta-alan kasvu hakkuutähteen korjuuta seuranneella 10-vuotiskaudella (Jacobson ja Kukkola 1999). Lannoitus: Männiköt 150 kg N/ha, kuusikot 150 kg N/ha ja 30 kg P/ha.

Taulukko 12. Kuusikoiden puusto- ja hakkuutähdetunnuksia kahden peräkkäisen harvennuksen yhteydessä.

	Puuston ikä, v	Tilavuus ennen harvennusta, m <sup>3</sup> /ha	Harvennuspoistuma, m <sup>3</sup> /ha	Bio-massa, t/ha	Hakkuutähde				
					N	P	K	Ca	Mg
					kg/ha				
1. Harvennus	45	279	87	17,5	79	9	27	74	8
2. Harvennus	55	322	82	9,8	66	6	20	51	5



Kuva 17. Toistetun hakkuutähteen korjuun ja lannoituksen vaikutus kuusikoiden tilavuuskasvuun.

### Päätelmiä

- Ensiharvennusemetsissä hakkuutähteen korjuusta aiheutuva ravinnemenetys ajoittuu puuston suurimman ravintetarpeen ajanjaksolle. Sekä kuusen että männyn kasvu on taantunut voimakaimmin viljavilla kasvupaikoilla, joilla hakkuutähdettä on ollut eniten.
- Mänty ei ilmeisesti ole yhtä herkkä ravinteiden menetykselle kuin kuusi. Koska kangasmetsissä typen niukkuus on puuston kasvun minimitekijä, kasvun taantuminen johtunee ensisijaisesti typen puutteesta.
- Ainespuun korjuussa maanpinnalle tuleva hakkuutähdekerros lisää typen mineralisaatiota myös allejäävässä karikkeessa ja humuksessa. Orgaanisen aineen laadun lisäksi ravinteiden vapautumista säätelevät maaperän lämpö- ja vesiolot.

• Kasvatettavaksi jäävän puuston reagointi hakkuutähteen korjuuseen vaihtelee suuresti metsiköittäin. Tähän vaikuttavia tekijöitä ei vielä tunneta. Ilmeisesti orgaanisen aineen laadun lisäksi paikallisilla hajotusoloilla on suuri merkitys.

• Metsikön ravintetilän heikentäminen puuston parhaan kasvuvaiheen aikana ei ole mielekäästä. Metsämaan puuntuotoskyvyn ylläpitämistä ja puuston kasvua ajatellen hakkuutähteen korjuu kasvatusmetsistä ei ole perusteltua.

### 4.3.2 Kangasmetsien päteuhakuut

#### Hakkuutähteen ravinnesisältö

Päteuhakuumetsiköissä puustoon sitoutunut ravinnemäärä on huomattavasti suurempi kuin ensiharvennusemetsiköissä (taulukko 13). Ravinnemenetyksen osalta

on syytä painottaa, että kuusikoissa on noin kaksinkertainen määrä neulasia ainespuun kuutiometriä kohti männiköihin verrattuna.

Pohjoismaisten tulosten mukaan eri ravinteiden menetys päätehakkuuvaiheessa muodostuu hakkuutähteen korjuun seurauksena 1,5 - 4,5-kertaiseksi ainespuun korjuuseen verrattuna (Rosén 1991).

Hakkuutähteen korjuun vaikutusta männyn taimikon kehitykseen on selvitetty Rautavaaran metsänviljelykokeella. Ennen avohakkuuta koealueella kasvoi puolukka-tyypin mänty-kuusisekametsä, jonka puuston tilavuus oli 260 m<sup>3</sup>/ha. Kokeessa vertaillaan kahta korjuumenetelmää: ainespuun korjuuta ja kokopuujuontoa. Vuosikymmenen kuluttua päätehakkuusta humuskerroksen ravinnevaroissa ei ilmennyt merkittäviä eroja käytettyjen korjuumenetelmien välillä (taulukko 14).

Päätehakkuualoilla humuskerroksen pH on hakkuutähteen korjuun seurauksena jäänyt 0 - 0,4 pH-yksikköä alemmaksi kuin ainespuun korjuun jälkeen (Nykvist ja Rosén 1985). Hakkuutähteen korjuun aiheuttama humuskerroksen lievä happamoituminen on joillakin kohteilla ilmennyt jopa 20 vuotta. Hakkuutähteen korjuu on kuvastunut herkemmin vaihtuvien emäskationien pitoisuuden ja emäskyllästysasteen laskuna kuin pH:n muutoksena. Kivennäismaan happamuuteen hakkuutähteen korjuu ei ole vaikuttanut (Staaf & Olsson 1996), joten yhden korjuukerran happamoittava vaikutus jäänee suhteellisen vähäiseksi.

Taulukko 14. Humuskerroksen pH ja ravinnetunnuksia Rautavaaran hakkuutähdekoekelta 11 vuoden kuluttua puunkorjuusta.

Ravinne	Ainespuun korjuu		Kokopuun korjuu	
	g/kg	kg/ha	g/kg	kg/ha
N	7,35	537	6,45	527
P	0,63	46,1	0,55	45,3
K	0,50	36,4	0,50	40,7
Ca	2,63	191	2,11	173
Mg	0,37	26,7	0,39	31,1
pH	4,15		4,13	

### Taimikon alkukehitys

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

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

Taulukko 13. Biomassan ja ravinteiden jakautuma kahdessa päätehakkuuvaiheen metsikössä (Mälkönen 1975).

	Biomassa, t/ha	N	P	K	Ca
Männikkö, VT (210 m <sup>3</sup> /ha)					
Ainespuu	82,9	58	5,6	38	74
Hakkuutähde	14,9	79	8,1	34	35
Kuusikko, MT (320 m <sup>3</sup> /ha)					
Ainespuu	121,5	95	8,4	47	184
Hakkuutähde	38,1	247	29,0	89	183

Hakkuutähteen korjuu päätehakkuaalalta on heikentänyt kuusen istutustaimien pituuskasvua, mutta ei ole vaikuttanut männyn pituuskasvuun (Rosén 1991). Ruotsalaisten kokeiden perusteella on päätelty, että kasvun taantuma, joka on ilmennyt noin 15 vuoden ajan, vastaa sitä ajanjaksoa, jolloin tyypeä vapautuu hakkuutähteestä hajotustoiminnan tuloksena kasvillisuuden käyttöön (Olsson ym. 1996b). Kasvun taantuma on vastannut keskimäärin kahden vuoden pituuskasvua.

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

### Päätelmiä

- Tuoreen hakkuutähteen korjuu päätehakkuaaloilta merkitsee huomattavan suuren ravinnemäärän poistumista kasvupaikalta.
- Maan ravinteisuuden ylläpitämiseksi neulasten pitäisi aina jäädä tasaisesti hakkuaalalle. Tällöin biomassan entistä tarkemmasta korjuusta aiheutuvat riskit ja ravinteiden kompensointitarve jäisivät ilmeisesti vähäisiksi.
- Pohjoismaisten tutkimusten mukaan kuusen taimikoiden kasvu on taantunut selvimmin viljavilla kasvupaikoilla, joilta hakkuutähteen korjuussa on poistunut eniten ravinteita. Hakkuutähteen yhdellä korjuukerralla ei näyttäisi olevan olennaista vaikutusta männyn taimikoiden alkukehitykseen. Eri-laisilta kasvupaikoilta ei kuitenkaan ole luotettavia tuloksia käytettävissä.

- Kuivat kankaat on vähäisten humus- ja ravinnevarojen vuoksi perusteltua jättää kokonaan hakkuutähteen korjuutoiminnan ulkopuolelle, vaikka ne eivät ole olleet muita kasvupaikkoja herkempiä hakkuutähteen korjuun suhteen.

- Hyvä uudistumistulos on ratkaisevan tärkeä uuden puusukupolven tuotokselle. Uudistusalan nopealla taimettumisella voi tietyissä tapauksissa olla suurempi merkitys metsikön kehitykselle kuin maan ravinteisuuden lyhytaikaisella heikkenemisellä.

- Hakkuutähteen korjuun seurauksena metsämaiden ravinteisuuden hoitoon joudutaan kiinnittämään kasvavaa huomiota puuntuotoskyvyn kestävyden turvaamiseksi.

### 4.3.3 Suometsät

Biomassan korjuuasteen vaikutuksista suo- puustojen kasvuun ei ole kokeellista tutkimustietoa. Sen sijaan ravinnetasetarkastelujen avulla on arvioitu puunkorjuun vaikutuksia turvemaiden puuntuotoskykyyn pitkällä aikavälillä. Suometsien päätehakkuit ovat vielä harvinaisia, mutta nuorten metsien kunnostus- ja harvennustarve on suuri.

Harvennuksissa ainespuun korjuussa poistuvat typpi- ja fosforimäärät ovat suhteellisen pieniä pintaturvekerroksen sisältämiin ravinnevarastoihin verrattuna, joten ainespuun korjuu ei vaaranna näiden ravinteiden saatavuutta (taulukko 15). Kaliumin ja boorin osalta tilanne on toinen. Kokopuun korjuussa kasvupaikalta poistuu jopa puolet näiden ravinteiden kokonaismäärästä. Sen vuoksi kaliumin ja boorin menetys saattaa jo lyhyellä aikavälillä heikentää puuntuotoskykyä, mikäli menetystä ei korvata lannoittamalla.

Päätehakkuumetsiköistä jo ainespuun korjuussa poistuvat kalium- ja boorimäärät

Taulukko 15. Suomännikön harvennushakkuussa (40 m<sup>3</sup>/ha) kasvupaikalta poistuvat ravinnemäärät eri korjuumenetelmiä käytettäessä sekä pintaturvekerroksen ravinnemäärät (Kaunisto 1988).

	N	P	K	B
	kg/ha			
Ainespuun korjuu	17	0,9	7,8	0,10
Kokopuun korjuu	58	5,5	20,8	0,16
Turve (0 - 20 cm)	1000 - 7000	80 - 110	30 - 110	0,20 - 0,60

ovat huomattavan suuria pintaturvekerroksen ravinnevaroihin verrattuna. Hakkuutähteen korjuu päätehakkuualoilta voi heikentää merkittävästi turvemaiden puuntuotokykyä. Hakkuutähteen korjuu turvemailta ei ole ravinne-ekologisista syistä lainkaan perusteltua.

#### 4.4 Ravinteiden huuhtoutuminen

Harvennushakkuun jälkeen ravinteiden huuhtoutuminen on hyvin vähäistä, sillä kasvatettavaksi jäävä puusto käyttää tehokkaasti hakkuutähteestä vapautuvat ravinteet.

Kun avohakkuun seurauksena puuston veden ja ravinteiden käyttö lakkaa ja maamikrobiston hajotustoiminta vilkastuu, maaveden ravinnepitoisuudet nousevat ja valunta kasvaa. Avohakkuu lisää ravinteiden huuhtoutumista muutaman vuoden ajaksi, kunnes kasvillisuus voimistuu.

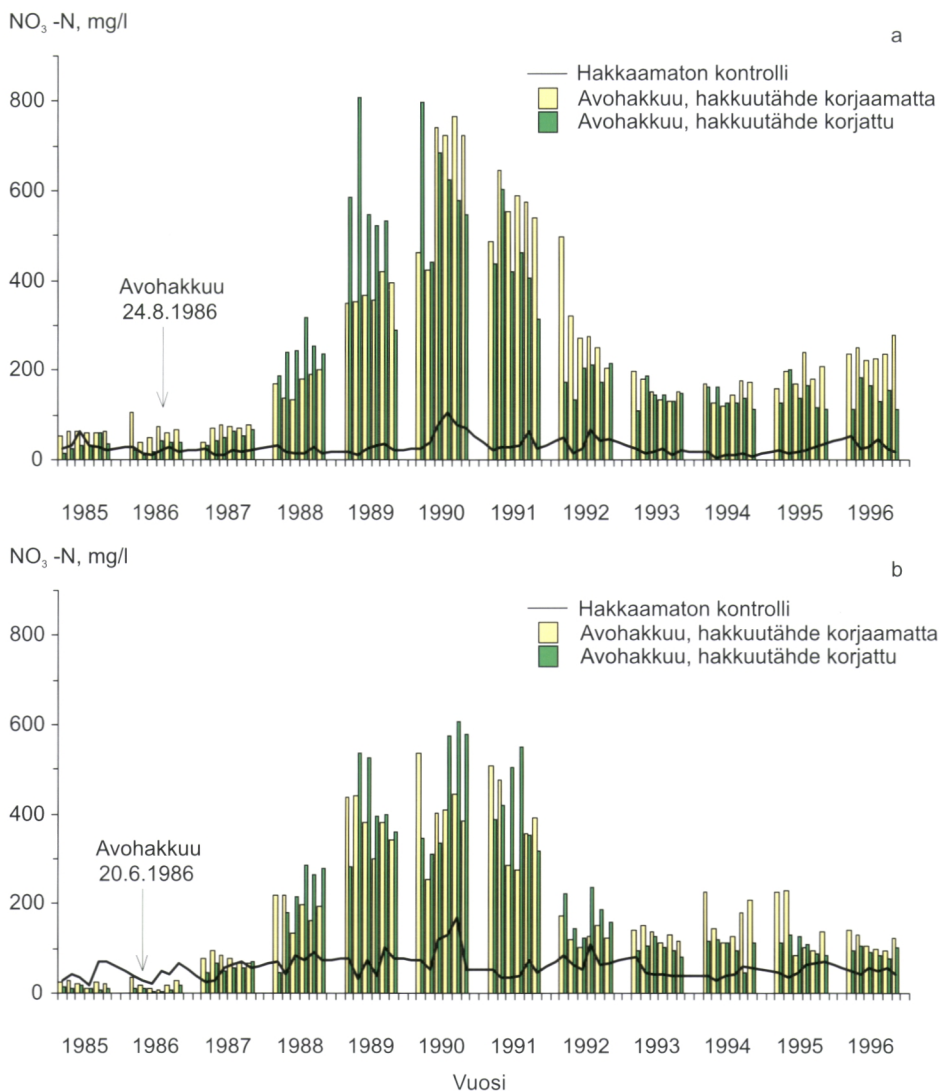
Nykyistä korjuutekniikkaa käytettäessä hakkuutähde kerääntyy ainespuun korjuussakin suuriin kasoihin, jolloin jälki pääosalla hakkuualaa vastaa kokopuun korjuuta. Hakkuutähdekasojen kohdalla ravinteiden huuhtoutuminen on voimakasta (Rosén & Lundmark-Thelin 1987). Jos ainespuun korjuussa pyrittäisiin maanhoidollisesti hyvään tulokseen, hakkuutähde pitäisi levittää tasaisesti hakkuualalle (Mann ym. 1988).

Paltamolla on seurattu kangasmetsän avohakkuun ja hakkuutähteen korjuun vaikutusta pohjaveden nitraattityypen pitoisuuksiin kahdella koealueella (Kubin 1998). Kasvupaikka vaihteli kummallakin

kokeella kuivahkosta tuoreeseen kankaaseen maalajin ollessa hietaista hiekkamoreenia. Avohakkuun seurauksena pohjaveden nitraattityypen pitoisuudet nousivat 4 - 5 vuoden ajan, minkä jälkeen ne alkoivat selvästi laskea (kuva 18). Avohakkuun nitrifikaatiota lisäävä vaikutus perustunee osaksi pH:n lievään kohoamiseen, osaksi typen mineralisaation nopeutumiseen.

Avohakkuuseen verrattuna hakkuutähteen korjuun vaikutus nitraattityypen huuhtoutumiseen jäi hyvin vähäiseksi. Hakkuutähteen korjuun seurauksena pohjaveden nitraattityypen pitoisuudet näyttävät huuhtoutumisen huippuvuosien jälkeen laskeneen hiukan alemmalle tasolle verrattuna ainespuun korjuualueisiin. Näillä kohteilla nitraattityypen pitoisuudet pohjavedessä olivat korkeimmillaankin melko alhaisia.

Paltamoä suotuisammassa oloissa ravinteiden mineralisaatio saattaa olla nopeampaa ja huuhtoutuminen voimakkaampaa. Useimmiten hakkuutähteen korjuu on typen ohella vähentänyt myös kaliumin huuhtoutumista avohakkuualoilta (Rosén 1984, Staaf & Olsson 1994). Ravinnemenetysten vähentämiseksi on tärkeää, että kasvipeite palautuu nopeasti hakkuualalle.



Kuva 18. Kangasmetsän avohakkuun ja hakkuutähteen korjuun vaikutus pohjaveden nitraattitypen pitoisuuksiin Paltamon Hautalan (a) ja Pahalouhen (b) kokeilla (Kubin 1998). Korjatun ainespuun määrä Hautalassa: 127 m<sup>3</sup>/ha, josta 11 % mäntyä, 88 % kuusta ja 1 % koivua, ja Pahalouheessa: 141 m<sup>3</sup>/ha, josta 51 % mäntyä, 46 % kuusta ja 3 % koivua.

## 4.5 Puuntuhkan koostumus ja käyttö maanparannusaineena

### 4.5.1 Kangasmetsät

Kangasmaiden viljavuus heikkenee vähitellen luontaisesta maannostumisesta aiheutuvan ravinteiden huuhtoutumisen, bio-

massan lisääntyvän korjuun aiheuttaman ravinnemenetyksen ja maaperää happamoittavan laskeuman seurauksena. Palauttamalla energiatuotannossa puusta syntyvä tuhka metsään (kuva 19) kompensoitaisiin puunkorjuun ja ravinteiden huuhtoutumisen aiheuttamaa ravinnemenetystä ja maan happamoitumista.



Kuva 19. Energiatuotannossa syntyneen tuhkan levitys metsään (Kuva: Metla / Pentti Hakkila).

Puuntuhka sisältää typpeä ja rikkiä lukuunottamatta muita ravinteita likimain samoissa suhteissa kuin niitä sitoutuu puuston biomassaan. Tuhkan heikkoutena kangasmaiden maanparannusaineena on se, ettei tuhka sisällä typpeä ja ettei olla täysin selvillä sen sisältämien raskasmetallien vaikutuksista maan pieneliöstöön ja metsän sivutuotteisiin.

### Maan happamuus

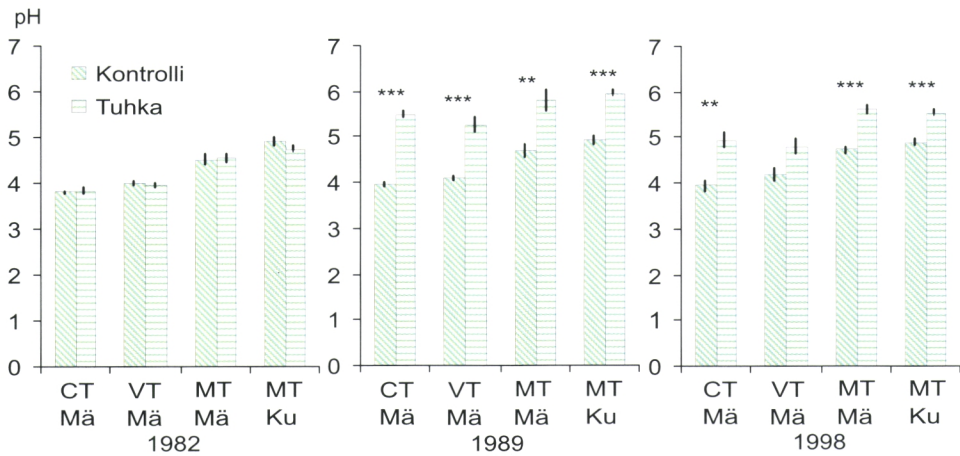
Kangasmailla puuntuhka vähentää tehokkaasti humuskerroksen happamuutta. Esimerkiksi puolukkatyyppin nuorena männikössä humuskerroksen pH-arvot olivat vielä 12 vuoden kuluttua tuhkan levityksestä huomattavan korkeita: 1 000 kg/ha tuhka-annoksella noin 0,5 pH-yksikköä, 2 500 kg/ha annoksella noin 1,0 pH-yksikköä ja 5 000 kg/ha annoksella noin 2,0 pH-yksikköä korkeampia kuin lannoittamattomassa maassa (Mälkönen 1996). Sen sijaan kivennäis-

maan pintakerroksessa pH:n nousu jäi suurimmallakin tuhka-annoksella vähäiseksi.

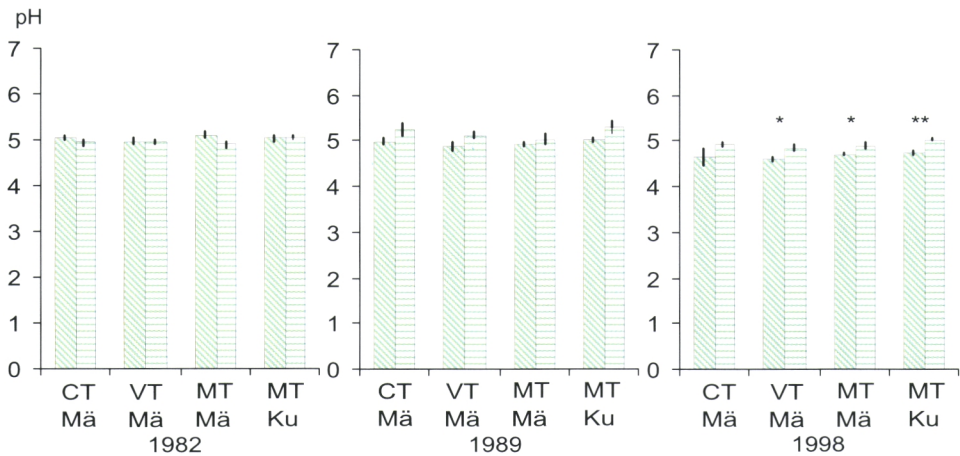
Tuhkalannoitus vähentää maan happamuutta pitkäksi aikaa. Kun kangasmetsien erilaisilla kasvupaikoilla (CT - MT) on käytetty 3 000 kg/ha puuntuhkaa, niin humuskerroksen pH on ollut 7 vuoden kuluttua lannoituksesta 1,1 - 1,5 pH-yksikköä ja 16 vuoden kuluttua 0,6 - 1,0 pH-yksikköä korkeampi kuin vertailuilla (kuva 20) (Saarsalmi ym. 2000). Kivennäismaassa tämä tuhka-annos ei nostanut merkittävästi pH-arvoja.

Äkilliset ja voimakkaat pH:n muutokset voivat olla haitallisia maan biologiselle toiminnalle. Jotta tuhkan levityksen jälkeisiltä shokkivaikutuksilta vältyttäisiin, irtotuhkan kerta-annos kangasmailla ei saisi ylittää 2 500 - 3 000 kg/ha. Rakeistettaessa tai pelletöitäessä tuhkan liukoisuus hidastuu, joten mahdolliset haittavaikutukset lievenevät kovettua tuhkaa käytettäessä.

## Humuskerros



## Kivennäismaa



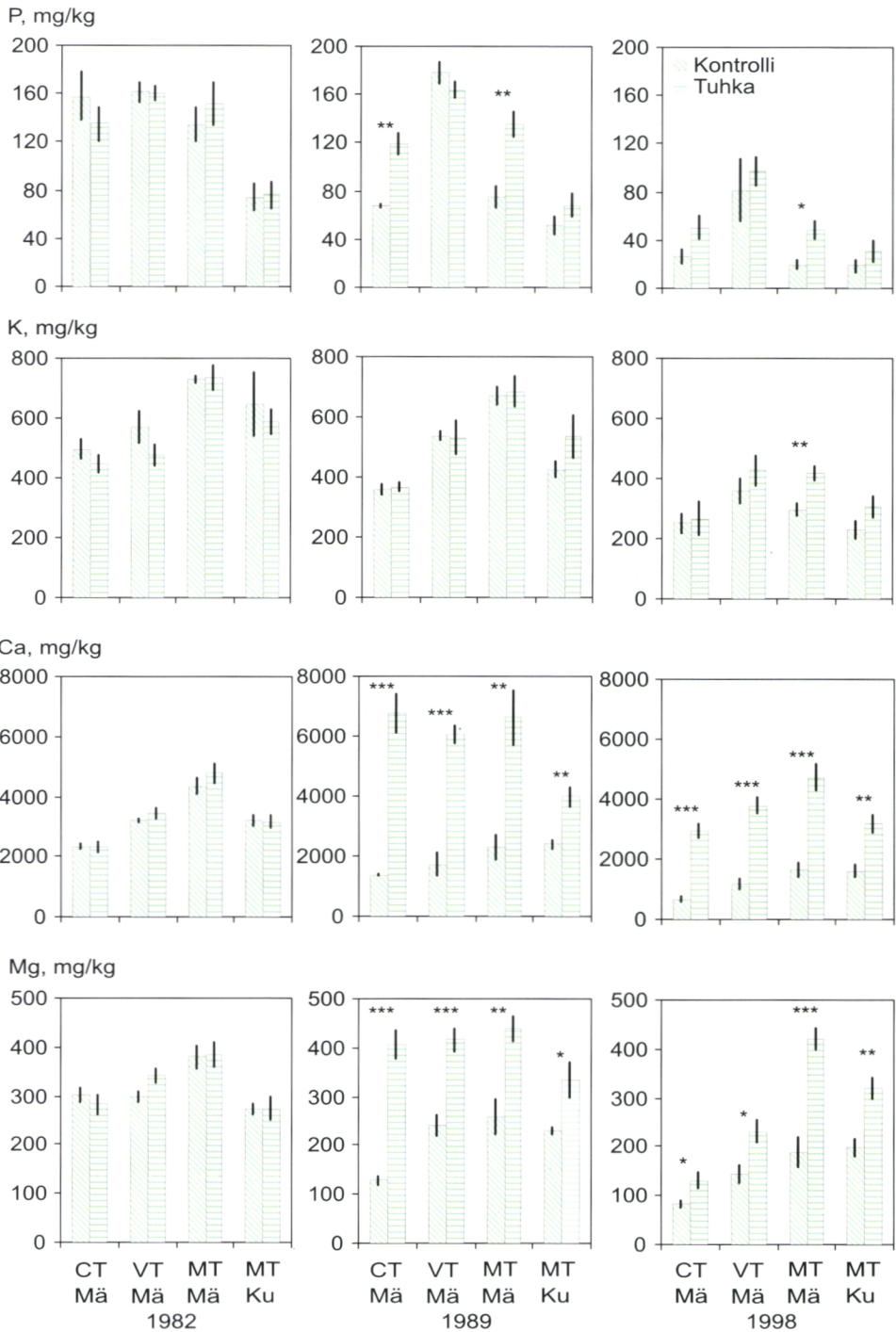
\* = erojen merkitsevyys, | = vaihteluväli

Kuva 20. Tuhkalannoituksen (3 000 kg/ha puuntuhaa) vaikutus humuskerroksen ja kivennäismaan pintakerroksen pH-arvoihin eri metsätyypeillä. Tilanne vuonna 1982 ennen lannoitusta ja 7 (1989) ja 16 (1998) vuotta lannoituksen jälkeen. Koemetsiköt olivat lannoitettaessa 5 - 6-vuotisia taimikoita (Saarsalmi ym. 2000).

## Lannoitusvaikutus

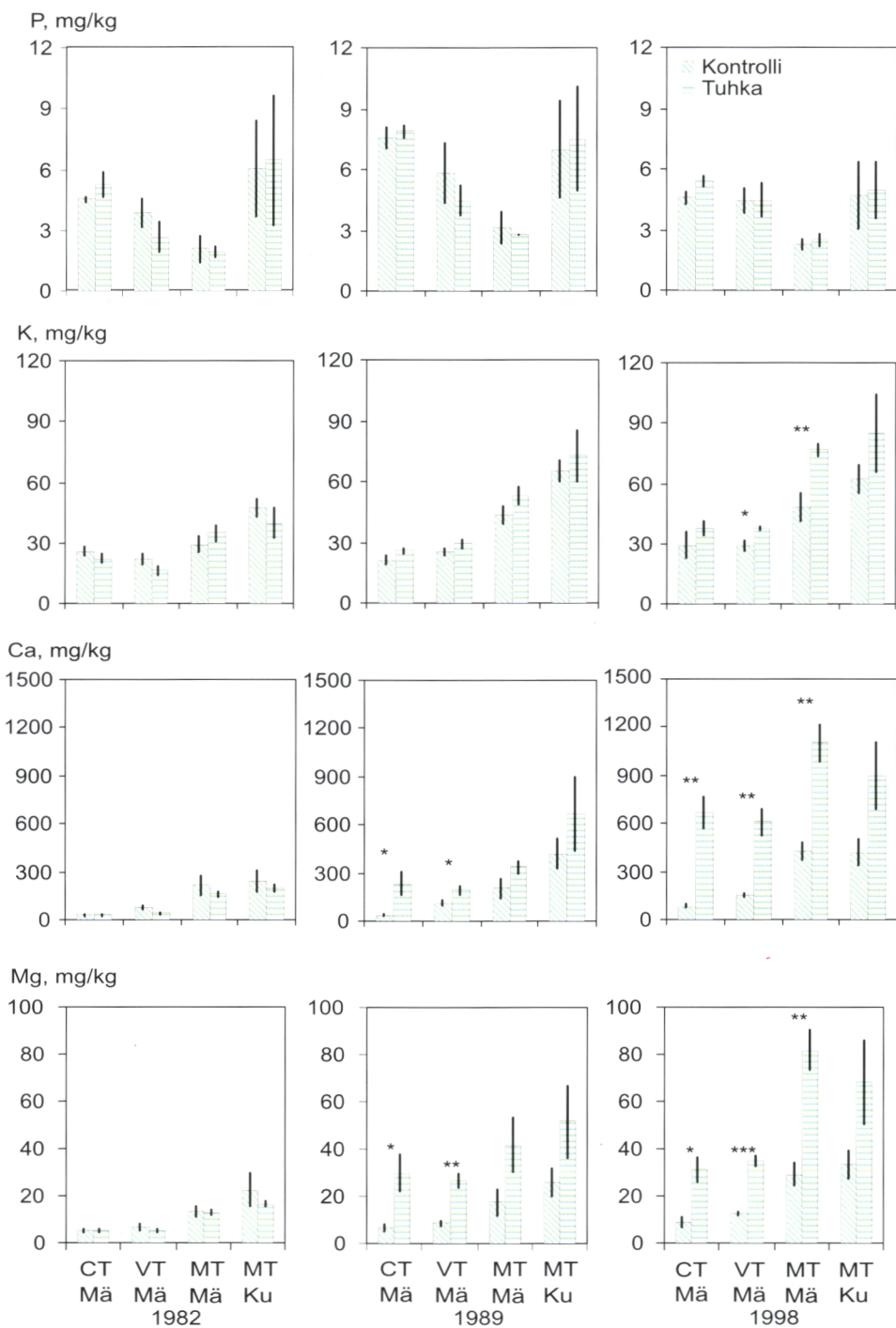
Tuhkalannoituksen (3 000 kg/ha puuntuhaa) seurauksena humuskerroksen ravinnepitoisuudet nousevat voimakkaasti. Selvimmin nousevat vaihtuvan kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet (kuva 21). Vuosien mittaan näitä ravinteita kulkeutuu kivennäismaahan (kuva 22).

Tuhkalannoituksen ansiosta maan emäskyllästysaste ja puskuriominaisuudet paranevat selvästi. Vaikka ravinteita huuhtoutuu vähitellen, tuhkalannoitus parantaa maan ravinnetilaa ns. emäsravinteiden osalta pitkäksi aikaa (Saarsalmi ym. 2000). Tarkasteltavissa metsiköissä tuhkalannoituksella ei ollut vaikutusta maan orgaanisen aineen määrään humuskerroksessa eikä ki-



\* = erojen merkitsevyys, | = vaihteluväli

Kuva 21. Tuhkalannoituksen (3 000 kg/ha puuntuhkaa) vaikutus humuskerroksen vaihtuvien ravinteiden pitoisuuksiin eri metsätyypeillä (Saarsalmi ym. 2000). Kohteet kuten kuvassa 20.



\* = erojen merkitsevyys, | = vaihteluväli

Kuva 22. Tuhkalannoituksen (3 000 kg/ha puuntuhkaa) vaikutus kivennäismaan pinta-kerroksen vaihtuvien ravinteiden pitoisuuksiin eri metsätyypeillä (Saarsalmi ym. 2000). Kohteet kuten kuvassa 20.

vennäismaassa. Tuhkalannoitus ei myöskään ole parantanut typen saatavuutta, mikä on avaintekijä puuston kasvunlisäyksen kannalta. Puiden ravinnetilassa tuhkalan-  
noitus on kuvastunut selvimmin neulasten booripitoisuuden nousuna ja mangaanipitoisuuden laskuna.

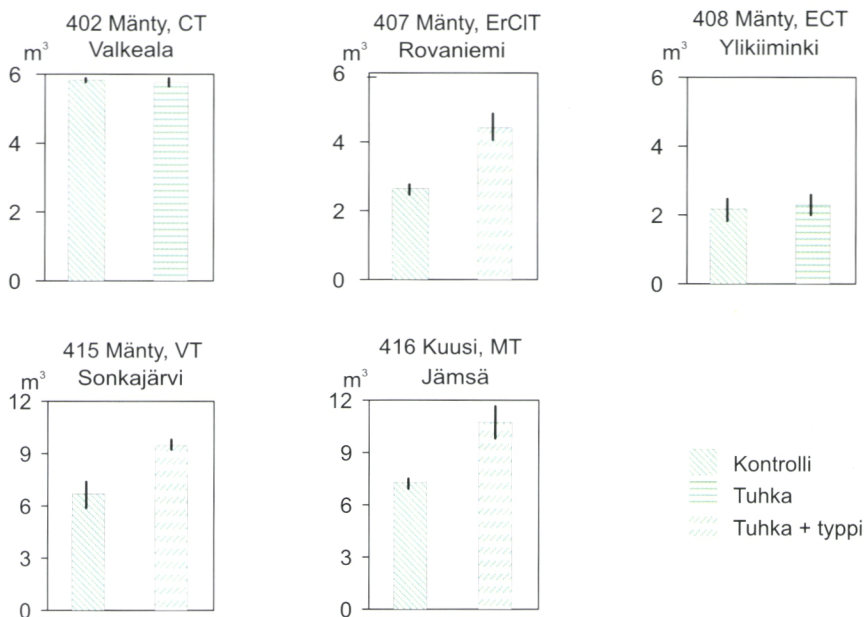
Pelkkä tuhkalannoitus ei ole lisännyt kangasmetsän kasvua ainakaan välittömästi (kuva 23). Koska yksittäiset kangasmetsien tuhkalannoituskokeet eivät ole pitemmältäkään mittausjaksolta lupaavia (Levula 1991, Moilanen & Issakainen 1999), välitön taloudellinen hyöty tuhkalannoituksesta jäänee vähäiseksi.

Vaikka hakkuutähteen aiheuttama ravinnemenetys päätehakuualoilta on huomattava, ei nuorten taimikoiden lannoittaminen ole mielekästä, koska taimikko käyttää suhteellisen vähän ravinteita. Ravin-  
menetys on perusteltua kompensoida siinä kehitysvaiheessa, jolloin puusto käyttää suurimman osan ravinnelisäyksestä ja jolloin saadaan suurin kasvunlisäys. Tällöin myös huuhtoutumisriski olisi vähäinen.

## Haittavaikutukset

Puuta poltettaessa sen sisältämät kivennäis-  
aineet ja raskasmetallit rikastuvat tuhkaan. Raskasmetalleista voisi olla haittaa ensisijaisesti maan orgaanisen aineen hajotukselle ja ravinnekierrolle sekä keräilytuotteiden, kuten marjojen ja sienien hyväksikäytölle. Puuntuhkan sisältämistä raskasmetalleista pidetään haitallisimpana kadmiumia, jonka pitoisuus tuhkassa vaihtelee yleensä 4 - 20 mg/kg. Se on tuhkassa pääosin oksidina (CdO) ja säilyy maassa kauan liukenemattomana tuhkan aiheuttaman pH:n nousun vuoksi.

Kokeissa normaalisti käytettyjen tuhka-annosten sisältämän kadmiumin ei ole havaittu aiheuttaneen haitallisia muutoksia metsämaan mikrobistoon (Fritze ym. 1994, Fritze & Perkiömäki 1999). Kadmiumin määrä tuhkassa ei korreloinut bakteeriyhteisön muutosten eikä mikrobiston hengitysaktiviteetin kanssa.



Kuva 23. Tuhkalannoituksen (3 000 kg/ha puuntuhkaa) vaikutus puuston vuotuisen tilavuuskasvuun eräillä kangasmetsien kokeilla lannoitusta seuranneen 5-vuotiskauden aikana. Typpilisäys on ollut 120 kg N/ha (koe 407) tai 150 kg N/ha (kokeet 415 ja 416).

## 4.5.2 Suometsät

Suometsien kasvua rajoittaa yleensä fosforin, kaliumin ja boorin niukkuus. Vain karuilla soilla myös kasveille käyttökelpoisen typen vähyys voi olla kasvua rajoittava tekijä. Tuhkalannoituksella voidaan korvata niitä ravinteita, joita puunkorjuussa menetetään tyypeä lukuunottamatta.

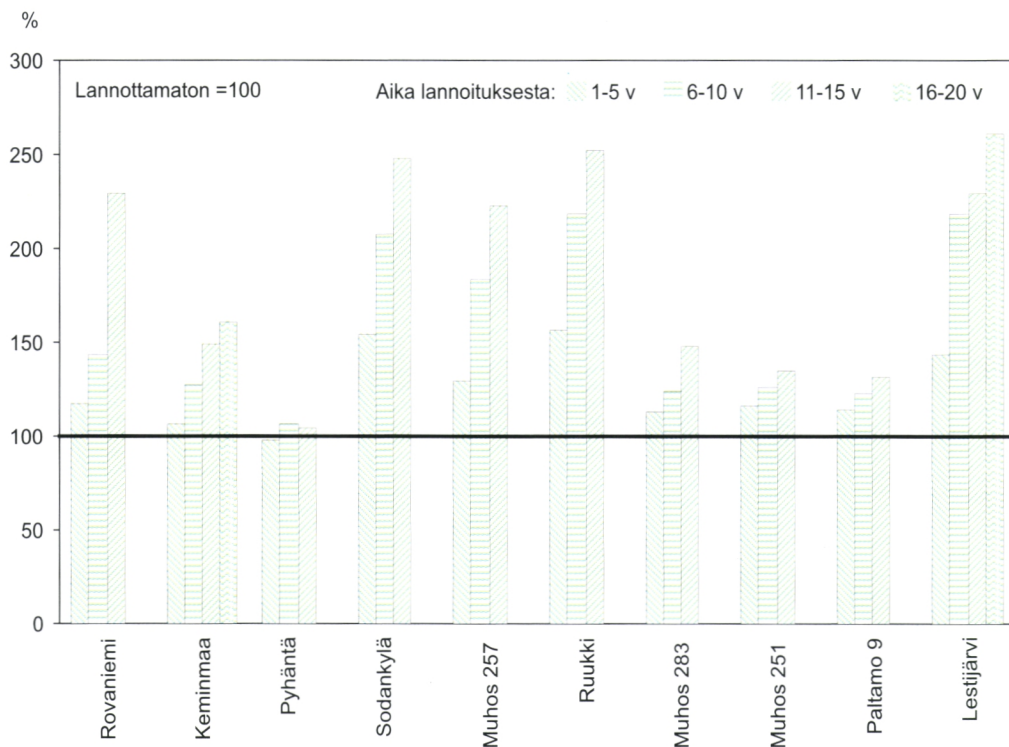
Tuhkalannoitus kohottaa pintaturpeen ravinnepitoisuuksia (fosfori, kalium, kalsium, magnesium, boori, mangaani) jopa vuosikymmeniksi lannoituksen jälkeen (Moilanen & Issakainen 2000). Helppoliukoisia ravinteita kuten kaliumia kulkeutuu myös pintaturvekerroksen alapuolelle. Tuhkalannoitus vähentää myös pintaturpeen happamuutta hyvin pitkäaikaisesti.

Tuhkalannoituksessa voidaan pyrkiä käyttämään lannoitussuosituksia vastaavia ravinneannoksia (35 - 40 kg P/ha ja 70 kg K/ha). Fosforin ja kaliumin lisäksi puun-

tuhka sisältää myös muita ravinteita kuten esimerkiksi booria, joka edistää puuston kasvua. Puuston ravinnetilassa tuhkalannoitus näkyy myös neulasten kohonneina kalium-, kalsium-, boori- ja joskus myös fosforipitoisuuksina (Moilanen & Issakainen 2000).

Tuhkalannoitus on lisännyt puuston kasvua runsastyyppisillä turvemaidella jopa vuosikymmeniä, kun käytetyt lannoiteannokset ovat olleet suuria ja vastanneet vähintään muiden lannoitteiden käyttösuosituksia (kuva 24).

Tuhkan mukana kasvupaikalle tulee myös raskasmetalleja ja muita alkuaineita joiden määrät voivat olla huomattavia. Joillakin kokeilla tuhkalannoitus on kohottanut pintaturpeen kupari-, nikkeli-, kromi-, alumiini-, kadmium- ja arseenipitoisuuksia 1 - 2 vuotta lannoituksen jälkeen, mutta vanhoilla tuhkalannoitusalueilla kohonneita pitoisuuksia ei ole havaittu. Sienien ja mar-



Kuva 24. Männyn suhteellinen tilavuuskasvu suokokeilla 5-vuotisjaksoittain tuhkalannoituksen jälkeen (Moilanen & Issakainen 2000).

jojen raskasmetallipitoisuuksia tuhkalannoitus ei ole merkittävästi muuttanut.

Lannoitteina annetut ravinteet sitoutuvat kasvupaikalle tehokkaimmin silloin, kun puuston kyky ottaa ravinteita maasta on suuri. Samalla vältetään ravinteiden huuhtoutumista ojiin ja vesistöihin. Turve maiden tuhkalannoituksen vesistövaikutuksista ei kuitenkaan ole vielä riittävästi tutkimustietoa.

### Päätelmiä

- Puuntuottamista ajatellen ravinteisuusdeltaan keskitasoiset ojitetut suometsät ovat ensisijaisia tuhkalannoituskohteita.
- Kangasmetsissä kasvunlisäyksen aikaansaaminen näyttäisi edellyttävän tuhkan ohella myös typpilisäystä.
- Suometsien tuhkalannoituksessa sopivana kerta-annoksena pidetään 4 000 - 8 000 kg/ha ja kangasmetsissä enintään 3 000 kg/ha.
- Tuhkalannoitus vähentää maan pinta-kerroksen happamuutta jopa muutaman vuosikymmenen ajaksi.
- Tuhkalannoitus ei ole merkittävästi muuttanut sienien ja marjojen raskasmetallipitoisuuksia eikä maan mikrobistoa.
- Puuntuhkan laajamittainen hyväksikäyttö maanparannusaineena edellyttää vielä monipuolista tutkimus- ja kehitystyötä.

### Kirjallisuutta

Ahtiainen, M. 1990. Avohakkuun ja metsäojituksen vaikutukset purovesien laatuun. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja Sarja A 45, 122 s.  
Egnell, G. & Lejon, B. 1997. Effects of different levels of biomass removal in thinning on short-

term production of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* stands. *Scand. J. For. Res.* 12: 17–26.  
Fritze, H. & Perkiömäki, J. 1999. Puuntuhkan vaikutus humuskerroksen mikrobistoon kangasmaalla. *Metsätehon raportti* 82. 17 s.  
Fritze, H., Smolander, A., Levula, T., Kitunen, V. & Mälkönen, E. 1994. Wood-ash fertilization and fire treatments in a Scots pine forest stand: Effects on the organic layer, microbial biomass, and microbial activity. *Biol. Fertil. Soils* 17: 57–63.  
Hakkila, P. 1991. Hakkuupoistuman latvusmassa. *Folia Forestalia* 773. 24 s.  
Helmisaari, H.-S. 1995. Nutrient cycling in *Pinus sylvestris* stands in eastern Finland. *Plant & Soil* 168-169: 327–336.  
Helmisaari, H.-S. 1998. Metsäekosysteemin toiminta ympäristömuutosten ilmentäjänä. *Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.). Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 691: 170–174.  
Jacobson, S. & Kukkola, M. 1999. Skogsbränsleuttag i gallring ger kännbara tillväxtförkluster. *Skogforsk. Resultat* 13. 4 s.  
Jacobson, S., Kukkola, M., Mälkönen, E. & Tveite, B. 1999. Impact of whole-tree harvesting and compensatory fertilization on growth of coniferous thinning stands. *For. Ecol. Manage.* 129: 41–51.  
Järvinen, O. 1986. Laskeuman laatu Suomessa 1971 - 1982. Vesihallituksen monistesarja. Vesihallitus. Helsinki. 142 s.  
Kardell, L. 1992. Vegetationsförändring, plantetablering samt bärproduktion efter stubb- och riståkt. *SLU, Inst. för skoglig landskapsvård, Uppsala. Rapport* 50.  
Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. *Seloste: Turpeen ravinnevarat vanhoilla ojitusalueilla ja puuston kasvu. Commun. Inst. For. Fenn.* 145. 39 s.  
Kortelainen, P., Ahtiainen, M., Finér, L., Mattsson, T., Sallantausta, T. & Saukkonen, S. 1999. Luonnonhuuhtouma metsävaluma-alueilta. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 745: 9–13.  
Kubin, E. 1998. Leaching of nitrate nitrogen into the groundwater after clear felling and site preparation. *Boreal Environment Research* 3: 3–8.  
Kukkola, M. & Mälkönen, E. 1997. The role of logging residues in site productivity after first

- thinning of Scots pine and Norway spruce stands. Finnish Forest Research Institute. Research Papers 640: 230–237.
- Laiho, R. & Laine, J. 1994. Nitrogen and phosphorus stores in peatlands drained for forestry in Finland. *Scand. J. For. Res.* 9: 251–260.
- 1995. Changes in mineral element concentrations in peat soils drained for forestry in Finland. *Scand. J. For. Res.* 10: 218–224.
- Levula, T. 1991. Tuhkalannoitus kangasmaalla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 394: 49–59.
- Lipas, E. 1985. Kasvupaikan puuntuotoskyvyn ja lannoitustarpeen arviointi maan ominaisuuksien avulla. *Folia Forestalia* 618. 16 s.
- Mann, L.K., Johnson, D.W., West, D.C., Cole, D.W., Hornbeck, J.W., Martin, C.W., Riekerk, H., Smith, C.T., Swank, W.T., Tritton, L.M. & Van Lear, D.H. 1988. Effects of whole-tree and stem-only clearcutting on postharvest hydrologic losses, nutrient capital, and regrowth. *For. Sci* 34: 412–428.
- Moilanen, M. & Issakainen, J. 2000. Tuhkalannoituksen metsävaikutukset. *Metsätehon raportti* 93. 38 s. + liitteet.
- Mälkönen, E. 1975. Hakkuutähteiden talteenoton seurannaisvaikutuksia. *Työtehoseura. Teho* 10: 12–13.
- Mälkönen, E. 1977. Annual primary production and nutrient cycle in a birch stand. *Seloste: Vuotuinen primäärituotos ja ravinteiden kierto-kulku eräissä koivikossa. Commun. Inst. For. Fenn.* 91.5. 35 s.
- Mälkönen, E. 1996. Tuhka kangasmetsien lannoitteena. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 599: 21–26.
- Nykvist, N. & Rosén, K. 1985. Effect of clear-felling and slash removal on the acidity of northern coniferous soils. *For. Ecol. Manage.* 11: 157–169.
- Olsson, B.A., Bengtsson, J. & Lundkvist, H. 1996a. Effects of different forest harvest intensities on the pools of exchangeable cations in coniferous forest soils. *For. Ecol. Manage.* 84: 135–147.
- Olsson, B.A., Staaf, H., Lundkvist, H., Bengtsson, J. & Rosén, K. 1996b. Carbon and nitrogen in coniferous forest soils after clear-felling and harvests of different intensity. *For. Ecol. Manage.* 82: 19–32.
- Paavilainen, E. & Päivänen, J. 1995. Peatland forestry. Ecology and principles. *Ecological Studies* 11. Springer-Verlag. Berlin – Heidelberg. 248 s.
- Pättilä, A. 1990. Buffering of peat and peaty soils: evaluation based on the artificial acidification of peat lysimeters. *Julkaisussa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.). Acidification in Finland. Springer-Verlag. Berlin – Heidelberg. s. 305-324.*
- Rosén, K. 1991. Skörd av skogsbränslen i slutavverkning och gallring – ekologiska effekter. *Utredning utförd på uppdrag av Skogsstyrelsen, Naturvårdsverket, Närings- och teknikutvecklingsverket och Vattenfall. Skogsstyrelsen meddelanden* 5. 59 s.
- Rosén, K. & Lundmark-Thelin, A. 1987. Increased nitrogen leaching under piles of slash - a consequence of modern forest harvesting techniques. *Scand. J. For. Res.* 2: 21–29.
- Saarsalmi, A., Mälkönen, E. & Piirainen, S. 2000. Effects of wood ash on forest soil chemical properties. *Käsikirjoitus.*
- Sinclair, E., Lejon, B. & Albrektson, A. 1992. Plantöverlevnad och tillväxt efter helträdsutnyttjande – sammanställning av fältförsök. *Vattenfall, Utvecling och Miljö, Bioenergi, Rapport* 7. Vällingby. 129 s.
- Staaf, H. & Olsson, B.A. 1991. Acidity in four coniferous forest soils after different harvesting regimes of logging slash. *Scand. J. For. Resch.* 6: 19–29.
- Staaf, H. & Olsson, B.A. 1994. Effects of slash removal and stump harvesting on soil water chemistry in a clearcutting in SW Sweden. *Scand. J. For. Res.* 9: 305–310.
- Tamminen, P. 1993. Pituusboniteetin ennustaminen kasvupaikan ominaisuuksien avulla Etelä-Suomen kangasmetsissä. *Folia Forestalia* 819. 26 s.
- Tamminen, P. 1998. Maaperätekijät. *Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.). Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 691: 64–75.
- Viro, P.J. 1951. Nutrient status and fertility of forest soil. I. *Selostus: Metsämaan ravinnesuhteet ja viljavuus. Pine stands. Commun. Inst. For. Fenn.* 39.4. 54 s.

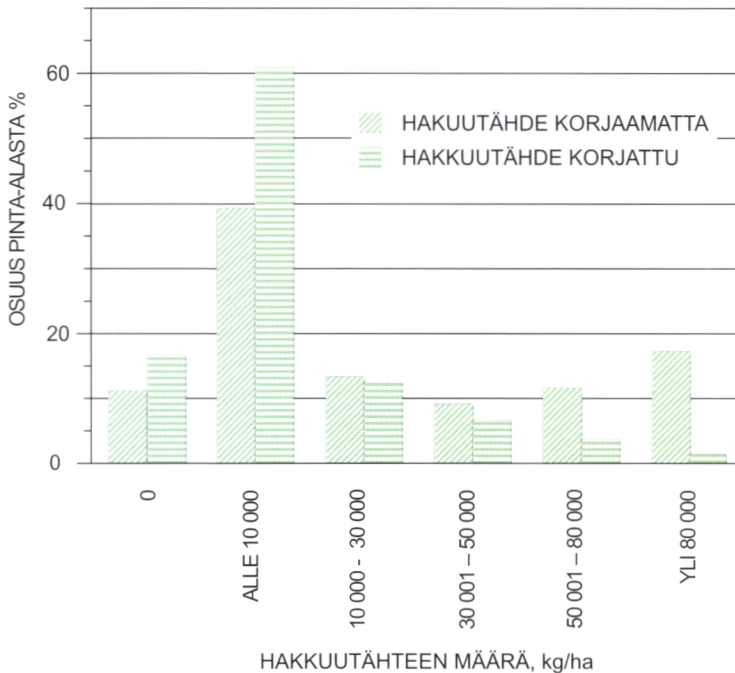
*Timo Saksa*  
*Metsäntutkimuslaitos*  
*Suonenjoen tutkimusasema*

## 5.1 Hakkuutähteet ja maan muokkaus

Etelä-Suomessa kuusikon päätehakuussa syntyy hakkuutähdettä 150 - 200 kg jokaista runkokuu kuutiometriä kohti (Hakkila ym. 1998). Keskimääräiselle avohakkuualalle jää hehtaaria kohti 40 000 - 70 000 kiloa hakkuutähdettä kuiva-aineena. Hakkuutähte ei ole uudistuslalla tasaisesti, vaan sen määrä vaihtelee suuresti. Paksum-

millaan maata peittää metrinen havumatto ja toisaalta 30 - 50 % pinta-alasta jää käytännöllisesti katsoen hakkuutähteestä vapaaksi. Latvuksista, oksista ja kaupallisesti kelpaamattomasta rungosta koostuva paksuhko ja epätasainen hakkuutähtepeite vaikuttaa monin eri tavoin metsänuudistajan työhön ja sen tuloksena syntyvään taimikkoon.

Kun hakkuutähdettä otetaan talteen päätehakuualoilta, kohdistuu korjuu kohtiin, joissa hakkuutähdettä on runsaiten (kuva 25). Uudistuslalle hakkuutähteen korjuun jälkeen jäävä hakkuutähte, 20 - 50 % hakkuutähteistä, jakaantuu aiempaa tasaisemmin uudistuslalle. Suuria hakkuu-



Kuva 25. Hakkuutähteen määrä ja sen vaihtelu hakkuutähteellisillä ja "hakkuutähteettömillä" koelohjoilla. Aineistona viisi koekenttää, joilta toiselta lohkolta hakkuutähte korjattiin (hakkuutähdettä jäi keskimäärin 13 670 kg/ha) ja toiselta ei (hakkuutähdettä keskimäärin 40 160 kg/ha) (Saksa 2000, julkaisematon aineisto). Hakkuutähteen korjuulohkolla oksat kasattiin kasoihin ajouran varteen ja hakkuutähteellisellä lohkolta normaalin rutiinin mukaisesti pääosin ajouralle.

tähdeksaamia, joissa hakkuutähdettä oli yli kaksikertaa keskiarvoa enemmän (yli 80 000 kg /ha) oli vain 1 %:lla pinta-alasta, kun vastaava tilanne ilman hakkuutähteen korjuuta oli 17 %:lla pinta-alasta (Saksa 2001, julkaisematon aineisto).

Vanhempien metsänviljelytutkimusten perusteella tiedämme runsaan hakkuutähdemäärän heikentävän maan muokkauksen tehokkuutta (esim. Hämäläinen & Kaila 1987, Tynkkynen 1974). Käytännön äestysaloilla tehtyjen havaintojen mukaan hakkuutähte rajoittaa oleellisesti äestysjälkeä (taulukko 16). Hakkuutähteen korjuun ansiosta normaalin äestysjäljen osuus nousi vajaasta 70 %:sta noin 90 %:iin (Saksa 2000). Samoin hakkuutähte aiheuttaa katkoja äestysjälkeen (Hakkila ym. 1998), mikä heikentää muokkausjäljen käyttökelpoisuutta metsänviljelyssä. Kanadalaisessa selvityksessä lähes joka viides istutuskohta äestysjäljessä oli istutuskelvoton hakkuutähteen takia (Cormier 1997).

Oijalan ym. (1999) mukaan hakkuutähteen korjuu nosti äestysjäljen peittävyyttä 20 %:sta lähes 30 %:iin uudistusalan pinta-alasta. Hyvien istutuskohtien määrää kuvaava muokkauksessa paljastuneen kivennäismaan osuus nousi hakkuutähteen talteenoton ansiosta 5 - 6 %:sta 10 %:iin pinta-alasta (Oijala ym. 1999). Kun muokkausjäljen peittävyys lisääntyy ja muokkausjäljen laatu muutoinkin paranee, johtaa se yleensä suurempaan istutustiheyteen (Saksa 1998).

Laikutuksen ja mätästyksen työpölyssä hakkuutähteen aiheuttama haitta ei yleensä näy yhtä selvästi kuin äestyksessä. Sekä laikutuksessa ja mätästyksessä hakkuutähte aiheuttaa ylimääräisiä työvaiheita, jotka alentavat muokkaustyön tehokkuutta. Erityisesti laikkumätästyksessä hakkuutähte pitää poistaa tulevan mättään alta (Metsäteho 2000). Jos hakkuutähte otetaan talteen uudistusosalta, voidaan sopivilla kohteilla mahdollisesti käyttää laikutuksen tai mätästyksen sijasta äestystä ja saavuttaa riittävän hyvä maanmuokkausjälki pienemmällä kustannuksella. Toisaalta hakkuutähteen vaikutuksia maanmuokkaukseen voidaan pienentää odottamalla hakkuutähteen lahoamista 1 - 2 vuotta päätehakkuun jälkeen.

## 5.2 Metsänviljely ja taimien alkukehitys

Metsänviljelytyössä hakkuutähteen on todettu haittaavan istutustyötä. Hakkuutähteen poisto nosti istutustyön tuottavuutta muokkaamattomalla alalla jopa lähes 70 % (Hakkila 1973). Muokatulla alalla hakkuutähteen korjuun ansiosta syntyvä parempi muokkausjälki nopeuttaa istutustyötä ja antaa mahdollisuuden hyvälle istutustyön laadulle ja edelleen hyvät edellytykset istutustaimien kehitykselle ja luontaiselle taimettumiselle.

Taulukko 16. Hakkuutähteen vaikutus äestysjälkeen käytännön uudistusaloilla. A. 50 käytännön uudistusala (Saksa 2000), B. 8 äestysalaa (Hakkila ym. 1998).

A.	Normaali muokkausjälki	Heikentänyt muokkausjäljen laatua	Rajoittanut muokkausjälkeä
Ei hakkuutähteen korjuuta	67,2 %	7,6 %	25,2 %
Hakkuutähdettä korjattu	88,7 %	4,4 %	6,8 %
B.	Muokkaamatonta vakouraa	Katkon keskipituus	
Ei hakkuutähteen korjuuta	18,4%	3,6 m	
Hakkuutähdettä korjattu	3,8 %	2,4 m	

Istutustaimien elossaolo on ollut hakkuutähteen talteenoton jälkeen hieman parempi kuin hakkuutähteellisillä kohteilla (Egnell ym. 1998, Egnell & Lejon 1999). Ruotsalaisten tukimusten mukaan istutustaimien elossaolo on ollut 5 - 10 %-yksikköä suurempi hakkuutähteettömällä koelohjalla (Egnell & Lejon 1996). Erot ovat olleet suuremmat männyllä kuin kuusella. Örlanderin ym. (1997) mukaan tukkimiehentäin aiheuttamat tuhot olivat kuusen taimissa vähäisempiä hakkuutähteen korjuualoilla, vaikka toisaalta hakkuutähteen läheisyys on pienentänyt männyn taimien kuolleisuutta tukkimiehentäin aiheuttamiin tuhoihin (Selander 1993). Istutustaimien parempi menestyminen hakkuutähteen korjuukohteilla saattaa vähäisempien tuhojen lisäksi johtua myös hakkuutähteen korjuun myötä syntyneistä paremmista kasvuolosuhteista.

Hakkuun jälkeisenä kasvukautena hakkuutähteettömän maan lämpötila nousee 1 - 2 °C korkeammaksi ja humuskerroksen kosteus jää 3 - 6 % pienemmäksi kuin hakkuutähteiteen alla (Jansson 1987). Lämpötilan nousun voidaan otaksua osaltaan nopeuttavan taimien juuriston kehitystä (Rikala 1996, Raivonen & Leikola 1980) mutta liiallisen korkea lämpötila ja kuivuus aiheuttavat ongelmia etenkin luontaiselle taimettumiselle (McInnis & Roberts 1995). Myöhemminä kasvukausia pintakasvillisuuden kehittyessä kosteus- ja lämpötilaerot

tasoittuvat hakkuutähteettömien ja hakkuutähteellisten alueiden välillä. 2 - 3 vuotta vanhoilla uudistusaloilla maan vesipotentiaali ei eronnut hakkuutähteellisillä ja hakkuutähteettömällä koelohjalla (Nilsson & Örlander 1995).

Pintakasvillisuuden biomassan määrään ei hakkuutähteen talteenotolla ole havaittu olevan merkitystä (Örlander ym. 1996, Berquist ym. 1999) mutta ruohojen, pensaiden ja puiden kasvu oli voimakkaampaa hakkuutähteellisillä aloilla. Erityisesti hakkuutähteikasaimien kohdalle kehittyi nopeasti runsas ja elinvoimainen kasvusto, joka heikentää istutustaimien kehitysedellytyksiä. Berquist ym. (1999) mukaan hakkuutähteettömällä aloilla on vähemmän kasvivilajeja ja hakkuutähteen talteenotto vaikuttaa myös yleisimpien kasvilajien esiintymissuhteisiin.

Istutustaimien paremman menestymisen lisäksi hakkuutähteen korjuu edesauttaa luontaista taimettumista (esim. McInnis & Roberts 1995, Berquist ym. 1999). Etenkin lehtipuiden taimettuminen on ollut hakkuutähteen korjuun jälkeen runsaampaa, mikä viittaa paremman maanmuokkausjäljen tuomaan hyötyyn. Käytännön äestysalolakin luontainen taimettuminen ja sen avulla koko uudistamistulos nousi hakkuutähteen korjuualoilla paremmaksi kuin hakkuutähteellisillä aloilla (taulukko 17). Erityisesti hakkuutähteen korjuu paransi kuusitaimikoiden laatua (Saksa 2000).

Taulukko 17. Metsänuudistamistulosten vertailu hakkuutähteen korjuun suhteen. Tavoitetiheyden täyttävien taimikoiden osuus männyn, kuusen ja rauduskoivun istutusaloilla. Aineistona käytännön äestysalat Mikkelin seudulta (Saksa 2000).

	Istutettupuulaji		
	Mänty	Kuusi	Rauduskoivu
Ei hakkuutähteen korjuuta	66,7 %	33,3 %	62,5 %
Hakkuutähdettä korjattu	50,0 %	72,7 %	70,0 %
Uudistamisen tavoitetiheys, kpl/ha	2 000	1 800	1 600

Hakkuutähteet voivat toimia myös mekaanisena suojana auringon paahdetta, tuulta ja hallaa vastaan (Raivonen & Leikola 1980). Erityisesti kuivilla kankailla (VT, CT) hakkuutähteen suojaava vaikutus on oleellinen itämistä ja sirkkataimien kehitystä turvaava tekijä (Laitakari 1933). 1900-luvun alkupuolella suositeltiin kuivilla kankailla hakkuutähteen levittämistä tasaisesti uudistusosalalle uudistamistuloksen parantamiseksi (esim. Heikinheimo 1931).

Paremman elossaolon ja tasaisemman maanmuokkausjäljen ansiosta hakkuutähteen korjuukohteelle syntyy tilajärjestykseltään tasainen taimikko. Tiheän ja tasaisen kasvatettavan puuston ansioista tulevan metsikön kehityksen voidaan olettaa olevan hyvän, vaikka hakkuutähteen talteenotossa poistuvien ravinteiden tiedetään hidastavan taimien pituuskehitystä jonkin verran (Egnell & Leijon 1996, 1999).

### 5.3 Vaikutukset koko uudistamisketjuun

Välillisesti uudistusaloilta tehtävän hakkuutähteen talteenoton on arvioitu vaikuttavan oleellisesti metsänuudistamisen ratkaisuihin ja tekniikkaan (Hakkila ym. 1998). Hakkuutähteen talteenoton ansiosta metsänuudistamisketjua voidaan nopeuttaa jopa kaksi vuotta. Parhaimmillaan päätehakkuu, maanmuokkaus ja metsänviljely voidaan tehdä saman kasvukauden aikana. Tällöin pintakasvillisuuden kilpailusta viljelytaimille aiheutuva haitta jää normaalia pienemmäksi. Ensimmäisenä kasvukautena hakkuun jälkeen pintakasvillisuus on yleensä vähäistä. Tämä antanee mahdollisuuksia kooltaan pienemmän taimimateriaalin käytölle tai jossain kohteissa kylvölle istutuksen sijasta alentaen näin metsänuudistamiskustannuksia. Hakkuutähteen talteenotto voisi edistää metsänviljelyn koneellistamista.

Hakkuutähteen talteenoton taloudellisia vaikutuksia ei ole tutkimuksin osoitettu. Kuitenkin hakkuutähteettömillä kohteilla maanmuokkauksen ja istutustyön tuo-

toksen voidaan olettaa jo aiempien aihetta sivuavien tutkimusten perusteella olevan parempi kuin hakkuutähteellisillä kohteilla. Ruotsalaisessa katsauksessa istutuskustannusten arvioitiin pienenevän 2 - 7 % ja taimikonhoidon kustannusten 0 - 5 % hakkuutähteen talteenoton ansiosta (Mattsson 1999). Kun metsänuudistamisketjua voidaan nopeuttaa jopa kahdella vuodella, merkitsee se metsikön kiertoajan lyhentämistä vastaavalla ajalla. Jos hakkuutähteen talteenoton ansiosta voidaan käyttää edullisempaa maanmuokkausmenetelmää, viljelymenetelmää tai viljelymateriaalia, koituu tästä välittömiä kustannussäästöjä metsänuudistajalle. Näiden hyötyjen on arvioitu olevan luokkaa 500 mk/ha (Saksa & Auvinen 1996). Aiempaa paremman uudistamistuloksen (tiheämpi ja tasaisempi taimikko) merkityksestä tulevan puuston kehitykseen ei ole esitetty edes ennusteita.

Jo 1970-luvun alussa eräissä yhteisöpohjoismaisessa projektissa kerättiin senhetkinen tietämys hakkuutähteen talteenoton seurannaisvaikutuksista (Hakkila 1974). Yleisluontoisessa katsauksessa todettiin tutkimustiedon hakkuutähteen talteenoton vaikutuksista tuolloin olleen riittämätöntä. Hakkuutähteen talteenotosta maanmuokkaukseen, pintakasvillisuuden kehitykseen, metsänviljelyyn, luontaiseen taimettumiseen ja uudistamistulokseen aiheutuvien vaikutusten selvittämiseksi ja uusien metsänuudistamisratkaisujen ja tekniikoiden kehittämisen perusteiksi tarvitaan lisää tutkimustietoa. Hakkuutähteen korjuun voidaan perustellusti arvioida lyhentävän uudistamisaikaa, pienentävän uudistamiskustannuksia ja edesauttavan metsänviljelyn koneellistamista. Kuitenkin hakkuutähteen korjuusta metsänuudistamiselle koituvien ekologisten, teknisten ja taloudellisten vaikutusten tunteminen nykyistä paremmin on mitä ilmeisemmin yhtenä edellytyksenä, jotta saavutettaisiin metsähakkeen käytölle viime aikoina asetetut tavoitteet.

## Kirjallisuus

- Berquist, J., Örlander, G. & Nilsson, U. 1999. Deer browsing and slash removal affect field vegetation on south Swedish clearcuts. *Forest Ecology & Management* 115(2-3): 171–82.
- Cormier, D. 1997. The effects of slash from delimiting at the stump on the quality of powered-disc scarification. *FERIC. Field Note Silviculture-96*. 2 s.
- Egnell, G. & Lejon, B. 1996. Kortsiktiga effekter på skogsproduktionen av helträdsuttag i gallring och slutavverkning. Julkaisussa: Ekologiska effekter av skogsbränsleuttag och askäterföring. Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift. 135/13: 73–82.
- 1999. Survival and growth of planted seedlings of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* after different levels of biomass removal in clear-fellings. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 303–311.
- Egnell, G., Nohrstedt, H.-Ö., Weslien, J., Westling, O. & Örlander, G. 1998. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen. Rapport 1/1998. 170 s.
- Hakkila, P. 1973. The effect of slash on work difficulty in manual planting. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 78.1. 60 s.
- Hakkila, P. (toim.). 1974. Hakkuutähteiden talteenoton seurannaisvaikutukset. *Folia Forestalia* 210. 24 s.
- Hakkila, P., Nurmi, J. & Kalaja, H. 1998. Metsänuudistusalojen hakkuutähde energialähteenä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 684. 68 s.
- Heikinheimo, O. 1931. Metsien luontainen uudistaminen. Keskusmetsäseura Tapion käsikirja 22. Helsinki.
- Hämäläinen, J. & Kaila, S. 1987. Maaston vaikutus maanmuokklauslaitteiden työljälkeen. *Metsätehon tiedotus* 399.
- Jansson, P.-E. 1987. Simulated soil temperature and moisture at a clear cutting in central Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 2: 127–140.
- Laitakari, E. 1933. Hakkaustähteet metsänhoidolliselta kannalta. *Acta Forestalia Fennica* 42. 1: 15–28.
- Mattsson, S. 1999. Ekonomiska kalkyler visar: Tillväxtförluster ger ”dolda kostnader” vid uttag av skogsbränsle – framförallt i gallring. *Skogforsk. Resultat 1999*: 14. 4s.
- Metsäteho 2000. Maanmuokkauksen koulutusaineisto. Helsinki 2000. 20 s.
- McInnis, B.G. & Roberts, M.R. 1995. Seedling microenvironment in full-tree and tree-length logging slash. *Canadian Journal of Forest Research* 25(1): 128–136.
- Nilsson, U. & Örlander, G. 1995 Effects of regeneration methods on drought damage to newly planted Norway spruce seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 25(2): 790–802.
- Oijala, T., Saksa, T. & Sauranen, T. 1999. Hakkuutähteen korjuumenetelmien vertailu ja vaikutus metsänuudistamiseen. *Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja* 27. 83 s.
- Raivonen, M. & Leikola, M. 1980. Hakkuutähteiden poistamisen vaikutus istutettujen kuusen taimien alkukehitykseen. *Folia Forestalia* 429. 13 s.
- Rikala, R. 1996. Koivun paakkutaimien juurten kasvupotentiaali ja istutusajankohta. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 1996(2): 91–99.
- Saksa, T. 1998. Männyn istutustaimien menestyminen äestetyllä uudistusosalalla. *Metsätieteen aikakauskirja - Folia Forestalia* 1/1998: 15–31.
- 2000. Hakkuutähteen korjuun vaikutukset metsän uudistamiseen – PUUT10. Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2000. VTT Symposium 205: 267–279. Espoo 2000.
- Saksa, T. & Auvinen, P. 1996. Puuhakkeen hankinta- ja tutkimusprojekti Mikkelin seudulla. Julkaisussa: Alakangas, E. (toim.). *Bioenergian tutkimusohjelma. Vuosikirja 1995, osa I. Puupolttoaineiden tuotantotekniikka*: 265–274.
- Selander, J. 1993. Survival model for *Pinus sylvestris* seedlings at risk from *Hylobius abietis*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8: 66–72.
- Tynkkynen, M. 1974. Työvaikeustekijöiden vaikutus lautasauraukseen. *Metsätehon tiedotus* 330.
- Örlander, G., Nilsson, U., Hallgren, J.E. & Griffith, J.A. 1996. Competition for water and nutrients between ground vegetation and planted *Picea abies*. *New-Zealand Journal of Forestry Science* 26(1-2): 99–117.

Örlander, G., Nilsson, U. ja Nordlander, G. 1997.  
Pine weevil abundance on clear-cuttings of different ages: A 6-year study using pitfall traps. *Scandinavian Journal of Forest Research* 12: 225–240.

*Maarit Kytö ja Kari Korhonen  
Metsäntutkimuslaitos  
Vantaan tutkimuskeskus*

## 6.1 Hyönteistuhot

### 6.1.1 Tuhohyönteisistä ja hyönteis-tuhoista

Energiapuun hankintaan suoranaisesti liittyviä hyönteistuhotutkimuksia on pohjoismaisissa olosuhteissa tehty varsin vähän, mutta muiden metsätuholaisia koskevien tutkimusten perusteella voidaan melko luotettavasti arvioida energiapuun hankintaan liittyviä hyönteistuhoriskejä. Toisin kuin sahapuussa, energiapuussa hyönteisvauriot (syömäkuviot ja toukkakäytävät kuoren alla sekä niistä leviävä sinistymä) sinänsä eivät haittaa, vaan tuhoriski koskee energiapuun korjuu- ja varastointipaikkoja ympäröiviä metsiköitä. On mahdollista, että energiapuussa lisääntyneet tuhohyönteiset iskeytyisivät varastopaikan ympärillä oleviin heikentyneisiin puihin tai erityisen runsaana esiintyessään jopa tappaisivat tai vaurioittaisivat tervettä, kasvatuskelpoista puus-toa.

Useimmat maassamme esiintyvät merkittävät tuhohyönteiset ovat erikoistuneet tiettyyn puulajiin, joten pääpuulajeilamme on kullakin omat tuholaisensa. Lehtipuilla ei ole odotettavissa merkittäviä energiapuun hankintaan liittyviä hyönteistuhoriskejä. Todennäköisimmät energiapuun hankinnan tuhoriskit liittyvät havupuilla elävien kaarnakuoriaisten runsaaseen esiintymiseen. Tuholaisena kyseeseen tulevia lajeja on vain muutamia.

Kaarnakuoriaisten runsauteen vaikuttaa ennen kaikkea sopivan lisääntymismateriaalin määrä, mutta tärkeitä tekijöitä ovat myös sääolosuhteet ja luontaisten vihollisten runsaus. Kaarnakuoriaiset kykenevät

lentämään pitkiäkin matkoja, ja löytävät sopivat lisääntymispaikat tuoreesta puutavarasta leviävien hajujen ja lajikumppanien erittämien tuoksuaineiden perusteella. Kaarnakuoriaisia esiintyy poikkeuksetta hyvin runsaasti alueilla, joilla tuoretta havupuutavaraa on vuodesta toiseen paljon tarjolla. Elävän puuston tuhoriski on sitä suurempi, mitä runsaammin kaarnakuoriaisia alueella esiintyy. Tuhojen määrään ja vakavuuteen vaikuttavat myös puiden puolustautumis- ja tuhonsietokyky, joka määrytyy osin ympäristötekijöiden kuten säiden, osin perimän perusteella.

Hakkuuajankohdalla on olennainen merkitys kaarnakuoriaisten iskeytymisen onnistumiselle. Kuoriaiset parveilevat loppukevällä tai alkukesällä, ja ne iskeytyvät vain puuhun, joka tällöin on vielä riittävän tuoretta, jotta nilaa syövät toukat kykenevät kehittymään kuoren alla. Edellisen talven ja kevään aikana ennen kuoriaisten parveilua kaadetut tai pystyynkuolevat puolustuskyyttömät puut ovat sopivaa lisääntymismateriaalia, kun taas kesällä parveilun jälkeen kaadettu puu ehtii kaarnakuoriaisten kannalta kuivua liikaa seuraavan kevään parveiluun mennessä. Kuivahtaneeseen puuhun ei iskeydy tuhohyönteisiä, jotka aiheuttaisivat merkittävää uhkaa ympäröivälle metsälle. Iskeytymisen onnistumiseen ei välttämättä aiheuta tuhoja, mikäli jälkeläiset eivät ehdi aikuistua ja levitä ympäristöön. Puutavaran kuljettaminen pois siirtää tuhoriskin hakkuupaikalta varastointipaikalle, joka pitäisi valita siten, että etäisyys samaa puulajia sisältäviin metsiköihin olisi mahdollisimman suuri.

Hyönteistuhoriski vaihtelee myös korjuukohteen ja -tavan mukaan. Energiapuun hankintaan liittyvät tuhoriskit ovat siis erilaiset esimerkiksi varttuneen kuusikon päätehakkuussa, missä energiapuu koostuu lähinnä hakkuutähteestä, ja nuoren männikön kasvatushakkuussa, missä korjataan rasiinkaadettua kokopuuta.

Hakkuutähteen korjuulla saattaisi olla myös vaikutusta tukkimiehintäin (*Hylobius abietis*) aiheuttamien taimituhojen määrään ja vakavuuteen. Huolellisella maanmuokkauksella voidaan vähentää tukkimiehintäituhoja, joten voidaan odottaa tuhojen lievenevän, mikäli hakkuutähteen poisto parantaisi maanmuokkausjälkeä. Koska hakkuualalle jäävistä kannoista erittyy runsaasti haihtuvia yhdisteitä, jotka loppukevällä houkuttelevat tukkimiehintäit lentämään paikalle, hakkuutähteen poistolla tuskin vähennetään merkittävästi hajuhoukutus- ja alueelle hakeutuvien tukkimiehintäiden määrää. Tukkimiehintäiden vaihtoehtoisena ravintona (taimien sijaan) hakkuutähteellä voi olla jonkin verran merkitystä aivan tuoreena, mutta nila- ja kuorikerroksen kuivuttua ne tuskin enää kelpaavat ravinnoksi. Ruotsalaistutkimuksessa hakkuutähteen poisto lisäsi tukkimiehintäiden määrää kuoppapyydyksissä, mutta koska tukkimiehintäituhojen määrissä ei ollut eroja, tämän tulkittiin johtuvan kuoriaisten aktiivisemmasta liikkumisesta hakkuutähteestä vapaalla alueella (Örlander ym. 1997).

### 6.1.2 Kuusen tuhohyönteiset

Kuusen tärkeimpiä runkotuholaisia ovat kaarnakuoriaiset, erityisesti kirjanpainaja (*Ips typographus*) ja kuusentähtikirjaaja (*Pityogenes chalcographus*), jotka molemmat ovat yleisiä lähes koko maassa. Näiden kahden, pystypuiden kannalta vaarallisimman lajin ohella hakkuutähteessä lisäänty useita muita kaarnakuoriaislajeja, jotka eivät kuitenkaan yleensä aiheuta tuhoja elävissä puissa.

Kirjanpainaja lisääntyy rungon alaosan paksumman kaarnan alla ja tähtikirjaaja ohuen kaarnan alla rungon yläosissa ja oksissa. Samassa puussa esiintyessään, puun ja kasvupaikan ominaisuuksista riippuen, raja näiden lajien välillä kulkee siinä, missä rungon paksuus on noin 8 - 12 cm (Saalas 1949). Kumpikin laji parveilee alkukesällä, säistä riippuen yleensä toukuun lopun ja heinäkuun alun välillä (An-

nila 1977). Yleensä kaarnakuoriaiset iskeytyvät tuoreisiin kuolleisiin tai kuolemaisillaan oleviin runkoihin, esimerkiksi tuulentaotoihin. Kun kuoriaisia on runsaasti, ne voivat kuitenkin joukkovoimalla tappaa eläviäkin puita, varsinkin jos puut ovat esimerkiksi kuivuuden heikentämiä. Hyväkuntoiset puut pystyvät runsaalla pihkanerityksellä estämään iskeytymisen onnistumisen, jolloin kuoren läpi porautuneet kuoriaiset joutuvat perääntymään ja lisääntyminen epäonnistuu. Jos pihkaneritys ei ole runsasta, kuoriaiset kovertavat kuoren alle kullekin lajille tyypilliset syömäkuvionsa, joiden emokäytävien reunoille naaraat munivat munansa. Munista kuoriutuvat toukat etenevät nilaa syöden kukin omaa toukkakäytävänsä pitkin emokäytävästä poispäin. Kotelovaiheen jälkeen uuden hyönteissukupolven yksilöitä aikuistuu ja poistuu kuoren alta heinäkuun lopulta lähtien. Aikuiset kuoriaiset talvehtivat maassa.

Kirjanpainajat ovat varttuneemman puuston ja puutavaran tuholaisia, eivätkä juurikaan lisäänty ohutkuorisissa, pieniläpimittaisissa rungoissa tai hakkuutähteessä. Läheinen laji kiiltokirjanpainaja (*Ips amitinus*) tosin esiintyy hakkuutähdelatvuksissa, mutta se ei kykene iskeytymään eläviin puihin samaan tapaan kuin kirjanpainaja. Tuhoriskin aiheuttavat kuusentähtikirjaajat sen sijaan ovat erittäin yleisiä kuusen hakkuutähteessä ja nuorten metsien raivaus- ja ensiharvennuspuiissa, jotka jätetään korjaamatta pois metsästä. Ruotsalaisarvion mukaan kuusentähtikirjaajien jälkeläistuotto hakkuutähteessä voi päätehakuilla nousta 2 - 3 miljoonaan yksilöön hehtaaria kohti (Pettersson 1974). Nuorten metsikköiden kasvatushakkuissa kaadettujen puiden jättäminen metsikköön kuivumaan lisää pystypuiden tuhoriskiä, mikäli puut on kaadettu talvella tai kevätkesällä, ja ne ovat vielä tuoreita kuusentähtikirjaajien parveilun käynnistyessä. Alkukesällä munituista munista kuoriutuvat toukat ehtivät aikuistua vielä saman kesän aikana ja levitä ympäristöön. Parveilun loppuvaiheessa heinäkuussa munituista munista kuoriutuvat toukat eivät yleensä enää ehdi koteloitua ja ai-

kuistua ennen talvea, vaan ne talvehtivat käytävissään kuoren alla ja aikuistuvat vasta seuraavana vuonna (Harding ym. 1986). Korkeakaan tähtikirjaajakanta ei välttämättä johda tuhoihin kasvavissa puissa. Esimerkiksi Tanskassa on yleisenä käytäntönä jättää nuoren metsän kasvatushakkuissa kaadetut puut metsikköön kuivumaan ennen haketusta, ja tällaisessa metsikössä tehdyssä selvityksessä ei todettu merkittäviä vaurioita pystypuissa tähtikirjaajien massasiintymän aikana (Bejer & Ravn 1984).

### 6.1.3 Männyn tuhohyönteiset

Männyn tuholaisista ytimennävertäjät, pystynävertäjä (*Tomiscus piniperda*) ja vaakanävertäjä (*T. minor*), ovat tärkeimmät energiapuun hankintaan liittyvät riskitekijät. Kuusen kaarnakuoriaisten tavoin myös ne lisääntyvät tuoreen puun kuoren alla, pystynävertäjä männyn paksukaarnaisessa alaosassa, vaakanävertäjä männyn ylemmissä, ohutkuorisissa osissa. Myös ytimennävertäjät saattavat joukkoiskeytyksillä poikkeustapauksissa tappaa eläviä, heikentyneitä mäntyjä. Suurimmat tuhot lisääntymispaikkoja ympäröivissä männiköissä kuitenkin aiheutuvat aikuisten kuoriaisten ravintosityönnistä. Nimensä mukaisesti kuoriaiset kaivautuvat latvuksen uusimpien versojen sisään ja nävertävät ne ontoksi, jolloin versot yleensä katkeavat ja putoavat maahan. Karkeasti voidaan arvioida jokaisen aikuistuvan ytimennävertäjän tuhoavan keskimäärin yhden vuosikasvaimen (Långström 1979). Ruotsalaisarvion mukaan männyn hakkuutähteestä aikuistuu hehtaaria kohti noin 350 000 vaakanävertäjäyksilöä (Jacobaeus ja Lindahl 1973), jotka voivat aiheuttaa huomattavia versotuhoja ja kasvutappioita. Varsinkin nuoret puut sietävät lieviä versomenetyksiä, mutta kasvutappiot alkavat näkyä, kun yksittäinen puu menettää enemmän kuin sata vuosikasvainta (Långström & Hellqvist 1991). Vauriot ovat erityisen voimakkaita pysyvien varastopaikkojen ympärillä, missä ytimennävertäjiä aikuistuu runsaasti vuodesta toiseen. Näillä

paikoilla männyt menettävät suuren osan sivuoksiansa kasvaimista, ja latvukset kehittyvät piikkimäisiksi.

Nuoren männikön kasvatushakkuiden yhteydessä kaadetut puut jätetään yleensä metsään, mikäli ne eivät täytä ainespuun mittoja. Syys – toukokuun välisenä aikana kaadettuihin runkoihin iskeytyy huhti- tai toukokuussa ytimennävertäjiä, joiden jälkeläiset aiheuttavat loppukesällä versotuhoja metsikön pystypuille. Mikäli kaadetut puut korjataan energiakäyttöön, säästyy jäävä puusto näiltä latvustuhoilta. Tuhojen välttäminen edellyttää kuitenkin, että puut korjataan pois metsiköstä ennen nävertäjien aikuistumista (ennen kesäkuun loppua). Tuhoriski on vähäinen kesä – elokuussa kaadetuissa puissa, koska ytimennävertäjien parveilu on ohi, ja puut ehtivät kuivua ennen seuraavan kevään parveilua, jolloin ne eivät enää kelpaa lisääntymispaikaksi.

## 6.2 Sienituhot

### 6.2.1 Taudinaiheuttajien esiintymisen hakkuutähteessä

Useimmat puiden tautien aiheuttajista ovat sienitä. Sienet ovat orgaanisen aineen hajottajia, ja talousmetsään jäävällä hakkuutähteellä sekä muulla korjaamattomalla kuolleella puulla on suuri merkitys monipuolisen sienilajiston säilymiselle (Albrecht 1991, Siitonen 1998). Metsien terveydentilan kannalta oleellista on se kuinka paljon hakkuutähteessä olevien sienten joukossa on taudinaiheuttajia, jotka voivat levitä ympäröiviin metsiin. Toisaalta hakkuutähteessä kasvaa myös taudinaiheuttajien kilpailijoita ja vastavaikuttajia (antagonisteja). Näiden keskinäisistä runsaussuhteista riippuen hakkuutähteellä voi olla myönteisiä tai kielteisiä vaikutuksia metsien terveydentilaan.

Kirjallisuudesta on löydettävissä varsin vähän hakkuutähteen sienilajistoa koskevia tutkimuksia. Stepanova (1973, 1975) tunnisti kuusisekametsässä Leningradin lä-

hellä 322 sienilajia kuusen, koivun ja haavan eri-ikäisestä hakkuutähteestä kannot mukaanlukien. Vielä vähemmän on tutkimuksia, jotka käsittelevät hakkuutähteen ja puiden tautien välisiä suhteita. Tämä on osoitus siitä, että hakkuutähteellä – oksilla, latvuksilla ym. pieniläpimittaisella puulla – ei katsota olevan suurta merkitystä tautien esiintymisen kannalta. Hakkuutähteeseen ei silloin kuitenkaan lueta metsään jääviä havupuiden kantoja, jotka voivat toimia tärkeänä juurilahon tartuntalähteenä.

## Oksat ja latvukset

Oksissa ja latvuksissa elävien sienten joukossa on verrattain vähän taudinaiheuttajia (Childs 1939, Stepanova 1973, 1975). Varsinkin lehtipuiden hakkuutähteellä ei näytä olevan merkitystä tautien tartuntalähteenä.

Havupuiden hakkuutähteessä, oksissa, latvuksissa ja kannoissa esiintyy yleisenä verinahakka-sieni (*Stereum sanguinolentum*), joka kuuluu elävien havupuiden ja erityisesti kuusen tärkeimpiin lahottajiin (Aho 1974, Stepanova 1975). Se ei kuitenkaan ole vaarallinen hyväkuntoiselle puustolle, koska se tunkeutuu puuhun vain vaurioista eikä leviä kasvullisesti puusta toiseen. Joka tapauksessa hakkuutähteessä runsaana kasvavan verinahakan itiötuotanto todennäköisesti lisää lahovikoja vaurioituneissa kuusikoissa, joskaan tätä asiaa koskevia tutkimuksia ei ole tiedossamme.

Männyn hakkuutähteessä tavataan syyshaavakkaa (*Phacidium coniferarum*), joka aiheuttaa koroja syksyllä karsituissa männnyissä. Suositeltuja karsinta-aikoja noudatettaessa vaaraa ei kuitenkaan ole (Uotila 1990). Hakuutähteen vaikutusta versosurman (*Gremmeniella abietina*) aiheuttamiin tuhoihin ei ole osoitettu, joskin sairaan hakkuutähteen pikainen poisto saattaa vähentää sienien itiötuotantoa (Dorworth 1972)

Kasvavalle puustolle vaarattomia lahottajia hakkuutähteessä on runsaasti, ja monilla niistä on merkitystä taudinaiheuttajien kilpailijoina ja antagonisteina. Pak-

suhkoissa, läpimitaltaan yli 10 cm olevissa männyn ja kuusen oksissa ja latvuksissa esiintyy tärkeä juurikäävän vastavaikuttaja, harmaaorvakka (*Phlebiopsis gigantea*) (Boyce 1966, Aho 1974, Stepanova 1975). Tämä juurikäävän biologisessa torjunnassa käytetty sieni kilpailee juurikäävän kanssa tuoreiden havupuun kantojen valtauksessa, ja runsaana esiintyessään toimii luontaisena juurikäävän torjuntakeinona. Hakkuutähteen merkitystä sienien runsauteen ei kuitenkaan ole selvitetty.

## Runkopuu

Kuusen lahot tyveykset ovat Etelä-Suomesa useimmiten juurikäävän (*Heterobasidion annosum*) lahottamia. Jos tällaiset tyveykset jäävät kosketukseen kostean maaperän kanssa, niihin kehittyä usein kääpiä, ja sienien itiötuotanto voi moninkertaistua kuviolla, johon lahoja tyveykiä on jätetty (Korhonen, julkaisematon aineisto). Tartuntavaara lähimetsissä suurenee.

Muulla maahan jäävällä runkopuulla – oli se sitten lahoa tai tervettä, havu- tai lehtipuuta – ei liene olennaista merkitystä sienitautien kannalta.

## Kannot

Kuusen ja männyn kannoissa elää muutamia tärkeitä elävien puiden lahottajia, jotka voivat levitä kasvaviin puihin joko kasvullisesti tai itiöiden välityksellä. Näistä sienistä vaarallisim on juurikäpä (Mälkönen ym. 1985). Muita yleisiä kantoihin pesiytyviä elävien puiden lahottajia ovat mesisieni (*Armillaria*-lajit) ja verinahakka, mutta juurikäpään verrattuna niiden aiheuttama vaara hyväkuntoiselle puustolle on suhteellisen vähäinen.

## 6.2.2 Tuhoriskit erityyppisillä korjuukohteilla

### Päätihakkuut

Jos asiaa tarkastellaan lyhyellä tähtämellä, noin yhden puusukupolven aikana, oksien, latvusten ja pieniläpimittaisen runkopuun korjuu ei näytä merkittävästi vaikuttavan tautien esiintymiseen.

Pitkäaikaiseen seurantaan perustuvia tutkimuksia hakkuutähteen korjuun vaikutuksesta puiden tauteihin ei ole. Jos oksat ja latvukset jatkuvasti poistetaan metsistä, sienilajisto kaikesta päätellen köyhtyy (Wästerlund & Ingelög 1981), jolloin jotkut taudinaiheuttajat voivat runsastua sen seurauksena, että kilpailijoina ja vastavaikuttajina toimivat sienet vähenevät. Ainakin juurilahoa aiheuttavien sienien tuhot luultavasti lisääntyvät, koska tuoreisiin kantoihin leviää vähemmän eläville puille vaarattomia lahottajia. Tämän ohella hakkuutähteen poiston aiheuttama humuksen väheneminen sekä mahdollinen maaperän ravinteiden epätasapaino (Mälkönen 1976, Jurgensen ym. 1997) – ellei sitä korvata sopivalla lannoituksella – ilmenee todennäköisesti puiden alentuneena vastustuskyknä tauteja vastaan.

Juurikäypälahoa sisältävien tyveysten poisto parantaa kuusikoiden terveydentilaa, koska se vähentää juurikäävän itiötuotantoa ja tartuntaa lähimetsissä (Schütt & Schuck 1979). Useiden tutkimusten mukaan havupuiden kantojen poisto vähentää juurikäävän ja mesisien tartuntaa seuraavassa havupuusukupolvessa (esim. Stenlid 1987).

### Harvennushakkuut

Harvennushakkuisiin pätee pääpiirteissään sama kuin päätihakkuisiin. Lyhyellä tähtämellä hakkuutähteen poistolla ei liene vaikutusta metsän sienitauteihin.

## 6.2.3 Hakkuutähteen korjuun vaikutus mykoritsasieniin

Äskettäin Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa on todettu, että toistuva hakkuutähteen poisto vähentää merkittävästi kuusikon humuskerroksen paksuutta ja kuusen mykoritsajuurten määrää humuskerroksessa. Sen sijaan mykoritsasienten lajikoostumukseen hakkuutähteen poisto ei vaikuttanut (Mahmood ja ym. 1999). Samansuuntaisia tuloksia on saatu Pohjois-Amerikan havusekametsissä, ja tutkijat korostavatkin kohtuullisen paksun humuskerroksen merkisyttä metsän kasvulle (Jurgensen ym. 1997).

## 6.3 Metsätuhojen torjuntaa koskevat säädökset ja energiapuun hankinta

Metsätuhojen torjumiseksi on säädetty laki metsän hyönteis- ja sienituhojen torjunnasta (N:o 263/1991) ja sitä täydentävä maa- ja metsätalousministeriön päätös metsän hyönteis- ja sienituhojen torjunnasta (N:o 1397/1991). Kyseiset säädökset koskevat pääasiassa kuorellista ainespuumitat täyttävää runkopuuta, ja niiden tarkoituksena on rajoittaa havupuutavarassa lisääntyvien kaarnakuoriaisten aiheuttamia tuhoja esimerkiksi hakkuu- ja varastointipaikkoja ja myrskytuhoalueita ympäröivissä metsissä. Niiltä osin kuin energiapuu täyttää ainespuun mitat, säädöksiä tulee noudattaa myös energiapuun hankinnassa.

Syyskuun alun ja toukokuun lopun (mänty) tai kesäkuun lopun (kuusi) välisenä aikana kaadettua kuorellista runkopuuta, tyveykset mukaanlukien, ei tuhojen välttämiseksi saa säilyttää samaa puulajia olevan metsikön läheisyydessä loppukesällä. Rungot on käsiteltävä tai kuljetettava pois ennen kuin kuoren alla kehittyvät kaarnakuoriaistoukat aikuistuvat ja leviävät ympäristöön. Tuoreelle puutavaralle säädetty viimeinen poiskuljetus- tai käsittelyajankohta on männylle Etelä-Suomessa 1.7. ja Pohjois-Suomessa 15.7. Kuusipuutavara on kuljetettava pois tai käsiteltävä Etelä-Suo-

nessä. Määräykset eivät koske keski- ja loppukesällä kaadettua puutavaraa, koska kaarnakuoriaisten parveilu on tällöin ohi, ja puutavara ehtii kuivua riittävästi ennen kaarnakuoriaisten seuraavaa parveilua eikä siten aiheuta merkittävää tuhoriskiä.

Ainespuutavaran poiskuljetuksen sijaan voidaan tuhoriskiä pienentää tietyillä, maa- ja metsätalousministeriön päätöksessä määritellyillä toimenpiteillä. Kuoriaisten lisääntyminen ja leviäminen voidaan estää tuhoamalla toukat ennen niiden aikuistumista. Energiapuun hankinnassa tämä voidaan tehdä hakettamalla, jolloin suurin osa toukista tuhoutuu haketuksessa ja sitä seuraavan käsittelyn yhteydessä. Ytimenävertäjät aikuistuvat kesä-heinäkuun vaihteesta alkaen, kirjanpainajat ja kuusentähikirjaajat heinäkuun loppupuolelta alkaen. Mänty pitäisi siis hakettaa viimeistään kesäkuussa ja kuusi heinäkuussa. Muina tuhoriskiä alentavina toimenpiteinä tulee kyseeseen lähinnä varaston sijaintipaikan huolellinen valinta tai varaston peittäminen. Havupuuvarasto tulee sijoittaa riittävän kauas saman puulajin metsiköistä, esimerkiksi peltojen tai koivikoiden keskelle. Maa- ja metsätalousministeriön päätöksessä vaadittu minimietäisyys saman puulajin metsikköön on 100 - 400 m varaston koosta ja metsikön laadusta riippuen. Myös puutavarapinon peittäminen ennen tuohyönteisten parveilua vähentää tuhoriskiä. Kaarnakuoriaisten iskeytymisen estämiseksi mäntypino täytyy peittää kokonaan. Kuusipino peitetään päältä sekä sivut ja päädyt vähintään metrin matkalta yläreunasta alaspäin. Energiapuun hankinnassa kokeilemisen arvoisena peittämisvaihtoehtona saattaisi tulla kysymykseen mahdollisen ainespuumittaisen puutavaran varastointi runsaan hakkuutähdekerroksen alle (Egnell ym. 1998). Siitä, riittäisikö tällainen hakkuutähdekate estämään runkotuholaisten iskeytymisen ei kuitenkaan toistaiseksi ole tutkittua näyttöä.

Oksista ja latvuksista koostuvaa hakkuutähdettä nykyiset säädökset eivät ilmeisesti koske. Ainakaan toistaiseksi ei ole

myöskään näyttöä siitä, että hakkuutähteen varastoinnista aiheutuisi lähipuustolle merkittäviä tuhoriskejä. Mikäli energiapuun hankinnan lisääntyessä havaitaan siihen liittyviä hyönteistuhoja, voi maa- ja metsätalousministeriö lain mukaan antaa määräyksiä myös muun kuin ainespuumittaisen havupuutavaran käsittelystä. Hakkuutähteen kokoaminen suuriksi kasoiksi ennen kaarnakuoriaisten parveilua vähentää iskeytymien määrää ja tuholaisten lisääntymistä. Tällöin kuoriaiset iskeytyvät vain pintakerroksien hakkuutähteeseen, joten suuriin kasoihin tulee suhteellisesti vähemmän iskeytymiä kuin pieniin (Egnell ym. 1998). Mikäli hakkuutähte kasataan vasta iskeytymisten jälkeen, ei samanlaista torjuntavaikutusta todennäköisesti saada. Siitä, onnistuuko hyönteisten kehitys aikuistumiseen asti pinon sisään ja pohjalle jääneessä hakkuutähteessä ei kuitenkaan ole tutkittua tietoa.

### **Päätelmiä**

Hakkuutähteen poistolla metsästä ei näytä olevan huomattavaa vaikutusta metsän hyönteistuhoihin tai tauteihin, jos asiaa tarkastellaan lyhyellä tähtäimellä. Jos hakkuutähte jatkuvasti ja yleisesti poistetaan useamman puusukupolven aikana, metsän sienilajisto yksipuolistuu. Sen seurauksena tautien esiintymisriski luultavasti lisääntyy. Oheneva humuskerros näyttää vähentävän mykoritsajuurten määrää ja siten todennäköisesti vähentää puiden kasvua ja vastustuskykyä. Lisäksi hakkuutähteen poiston seurauksena mahdollisesti syntyvät ravinteiden puutostilat alentavat puiden vastustuskykyä sienitaudeille ja tuohyönteisille. Energiapuun korjuun ja varastoinnin aiheuttamia hyönteistuhoriskejä voidaan alentaa ajoittamalla hakkuut tai hakuutähteen korjuu ja poiskuljetus metsätuhojen torjuntaa koskevien säännösten mukaisesti.

## Kirjallisuus

- Aho, P.E. 1974. Environmental effects of forest residues management in the Pacific Northwest. USDA Forest Service General Technical Re-port PNW-24, 17 s.
- Albrecht, L. 1991. Die Bedeutung des toten Holzes im Wald. Forstw. Cbl. 110: 106–113.
- Annala, E. 1977. Seasonal flight patterns of spruce bark beetles. Ann. Ent. Fenn. 43: 31–35.
- Bejer, B. ja Ravn, H.P. 1984. Flisproduktion og barkbillerisiko. Skoven 11 1984.
- Boyce, J.S. Jr 1966. Sporulation by *Peniophora gigantea* with reference to control of annosus root rot. Forest Sci. 12: 2–7.
- Childs, T.W. 1939. Decay of slash on clear-cut areas in the Douglas-fir region. J. For. 37: 955–959.
- Dorworth, C.E. 1972. Longevity of *Scleroderris lagerbergii* Gremmen in pine slash. Bi-monthly Research Notes 28 (1): 5.
- Egnell, G., Nohrstedt, H.-Ö., Weslien, J., Westling, O. ja Örlander, G. 1998. Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Skogsstyrelsen, Rapport 1998: 1.
- Harding, S., Lapis, E.B. ja Bejer, B. 1986. Observations on the activity and development of *Pityogenes chalcographus* L. (Col. Scolytidae) in stands of Norway spruce in Denmark. J. Appl. Ent. 102: 237–244.
- Iacobaeus, H. ja Lindahl, P. 1973. Produktion av mindre mörghorre i hyggesavfall. Statens Skogsmästarskola, Rapport nr. 9/1973.
- Jurgensen, M.F., Harvey, A.E., Graham, R.T., Page-Dumroese, D.S., Tonn, J.R., Larsen, M.J. ja Jain, T.B. 1997. Impacts of timber harvesting on soil organic matter, nitrogen, productivity, and health of Inland Northwest forests. Forest Science. 43: 234–251.
- Långström, B. 1979. Mörghorrens förökning i röjningsavfall av tall och kronskadegörelse på kvarstående träd. SLU, Skogsentomologiska rapporter nr. 1.
- Långström, B. ja Hellqvist, C. 1991. Shoot damage and growth losses following three years of *Tomiscus* attacks in Scots pine stands close to a timber storage site. Silva Fennica 25(3): 133–145.
- Mahmood, S., Finlay, R.D. ja Erland, S. 1999. Effects of repeated harvesting of forest residues on the ectomycorrhizal community in a Swedish spruce forest. New Phytologist. 142: 577–585.
- Mälkönen, E. 1976. Effect of whole-tree harvesting on soil fertility. Silva Fennica 10: 157–164.
- Mälkönen, E., Annala, E. ja Kallio, T. 1985. Energiapuun talteenotto metsäekosysteemin kannalta. Julkaisussa: Hakkila P. (toim.): Metsäenergian mahdollisuudet Suomessa. PERA-projektin väliraportti. Folia Forestalia 624: 23–28.
- Pettersson, T. 1974. Insektsproduktion i hyggesavfall. Statens Skogsmästarskola, Rapport nr 4/1974.
- Saalas, U. 1949. Suomen Metsähyönteiset. WSOY. Helsinki.
- Schütt, P. ja Schuck, H.J. 1979. *Fomes annosus* sporocarps - their abundance on decayed logs left in the forest. Eur. J. For. Path. 9: 57–61.
- Siitonen, J. 1998. Lahopuun merkitys metsäluonnon monimuotoisuudelle - kirjallisuuskatsaus. Julkaisussa: Annala E. (toim.): Monimuotoinen metsä. Metsäluonnon monimuotoisuuden tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 705: 131–161.
- Stenlid, J. 1987. Controlling and predicting the spread of *Heterobasidion annosum* from infected stumps and trees of *Picea abies*. Scand. J. For. Res. 2: 187–198.
- Stepanova, O.A. 1973. Fungi on logging residues in spruce forests of the Leningrad region. I. Mikologiya i Fitopalogiya 7: 386–391.
- 1975. Fungi on logging residues in spruce forests of the Leningrad region. II. Mikologiya i Fitopalogiya 9: 15–20.
- Uotila, A. 1990. Infection of pruning wounds in Scots pine by *Phacidium coniferarum* and selection of pruning season. Acta Forestalia Fennica. 215. 36 s.
- Örlander, G., Nilsson, U. ja Nordlander, G. 1997. Pine weevil abundance on clear-cuttings of different ages: A 6-year study using pitfall traps. Scand. J. For. Res. 12: 225–240.

# 7 Energiapuun hankinta ja metsälajiston monimuotoisuus

---

**Juha Siitonen**

*Metsäntutkimuslaitos, Vantaan  
tutkimuskeskus*

## 7.1 Taustaa

Suomesta tunnetaan noin 42 000 eliölajia, mutta todellisen lajilukumäärän arvioidaan olevan vähintään 50 000. Erityisesti loispistiäisissä (*Hymenoptera*) sekä kaksisiipisissä (*Diptera*) tiedetään olevan runsaasti lajeja, joita ei tutkimuksen puutteen takia ole toistaiseksi maastamme löydetty. Puuteellisesti tunnettuja eliöryhmiä, joiden lajimäärä saattaa olla paljon tunnettua suurempi, ovat lisäksi monet sieniryhmät, jotka eivät tuota makroskooppisia itiöemiä, sekä ylipäätään mikrobit (Müller 2001). Karkeasti arvioiden noin puolet lajistostamme elää erilaisissa metsissä, joten metsälajeja on noin 20 000 - 25 000.

Uuden uhanalaismietinnön (Rassi ym. 2000) mukaan 1505 lajia on luokiteltu maassamme uhanalaisiksi. Näistä 564 lajia (37,5 %) on pääasiassa metsäympäristöjen lajeja. Kun tarkastellaan uhanalaisten lajien jakautumista uhkatekijöiden mukaan, metsien uudistamis- ja hoitotoimet ovat ensisijainen uhkatekijä 6,8 %:lle kaikista lajeista, eli mietinnön mukaan noin 102 metsälajia (18 %) on uhanalaistunut lähinnä metsänhoitotoimien takia. Harvennus- ja päätehakkuun vaikutuksia ei ole arvioitu erikseen, ja energiapuun korjuun mahdollisia vaikutuksia uhanalaiseen lajistoon ei ole arvioitu lainkaan. Uhanalaisten lajien lisäksi energiapuun korjuu voi vaikuttaa muihin harvinaisiin tai taantuneisiin, ei-uhanalaisiin lajeihin, yleisten lajien runsaussuhteisiin sekä maaperäeliöstön ravintoverkkojen rakenteeseen ja toimintaan – nk. funktionaaliseen diversiteettiin.

Tässä katsauksessa tarkastellaan energiapuun hankinnan vaikutuksia metsälajiston monimuotoisuuteen lähinnä pohjoismaisten tutkimustulosten valossa. Lajisto on tarkastelussa jaettu kolmeen laajaan ryhmään: kasvillisuus ja suursienet (joilla tarkoitetaan tässä yhteydessä maassa kasavia, makroskooppisia itiöemiä muodostavia mykorritsa- ja lahottajasienilajeja), lahoppuusta riippuvaiset eliöt sekä maaperäeliöt.

## 7.2 Kasvillisuus ja suursienet

Hakkuutähteen poiston vaikutuksia kasvilajistoon on selvitetty Ruotsissa useissa tutkimuksissa. Kasvilajiston muutoksia avohakkuun, hakkuutähteen korjuun, kantojen korjuun sekä yhdistetyn hakkuutähteen ja kantojen korjuun jälkeen seurattiin laajassa kenttäkokeessa yhdeksällä tutkimusalueella eri osissa Ruotsia (Smålandista Norrbotteniin) kuuden vuoden jakso (Kardell 1992). Putkilokasvien lajimäärä ennen hakkuuta vanhassa metsässä oli keskimäärin 19 - 22 lajia eri käsittelyissä (mutta yksittäisten koealojen välillä vaihtelu oli huomattavasti suurempaa: 9 - 49 lajia per koeala). Lajimäärä lisääntyi kuudessa vuodessa keskimäärin 27 lajiin tavanomaisen avohakkuun jälkeen, 28 lajiin hakkuutähteen poiston jälkeen, 28 lajiin kantojen poiston jälkeen ja 30 lajiin sekä hakkuutähteet että kantojen poiston jälkeen. Ennen hakkuuta esiintyneistä lajeista hävisi keskimäärin 3 lajia avohakkuun jälkeen, 4 hakkuutähteen poiston jälkeen, 6 kantojen poiston jälkeen sekä 5 hakkuutähteen ja kantojen poiston jälkeen. Toisaalta havaittu uusien lajien määrä koko kuuden vuoden seurantajakson aikana oli keskimäärin 18 avohakkuun jälkeen, 19 hakkuutähteen poiston jälkeen, 24 kantojen poiston jälkeen sekä 25 kantojen ja hakkuutähteen poiston jälkeen. Uusia

lajeja ilmestyi siis sitä enemmän, mitä enemmän käsittelyssä aiheutettiin maaperähäiriöitä. Uudet lajit olivat valtaosin joko kilpailuvapaata kasvutilaa nopeasti kolonisoivia nk. ruderaattilajeja tai maanpinnan rikkomisesta aktivoituvia siemenpankilajeja. Minkään yksittäisen lajin ei voitu osoittaa hävinneen koealoilta pelkän hakkuutähteen poiston takia. Edellä kuvatun koesarjan eteläisimmältä ja pohjoisimmalta tutkimusalueelta julkaistiin tulokset kasvilajiston muutoksista 11 vuoden seurantajakson jälkeen (Kardell 1993, 1996). Eteläisimmässä kokeessa (Kardell 1993) lajimäärä ennen hakkuuta vanhassa metsässä oli vain 13 - 16. Tavanomaisella avohakkuulla käsitellyiltä aloilta hävisi hakkuun jälkeen keskimäärin 3 lajia ja ilmestyi 18 uutta lajia. Vastaavasti aloilta, joilta hakkuutähte oli poistettu, hävisi 4 lajia ja ilmestyi 19 uutta lajia – käsittelyjen välillä ei siis ollut eroa. Tavanomaisen avohakkuun aloilta löydettiin ennen käsittelyä yhteensä 83 lajia. Hakkuun jälkeen näistä oli 65 jäljellä, 18 oli hävinnyt, ja lisäksi aloille oli ilmestynyt ainakin jonain vuonna 65 uutta lajia (yhteensä siis seurantajaksoilla havaittiin 148 lajia). Edellisten tutkimusten mukaan avohakkuulla sinänsä on suuri vaikutus kasvilajistoon, johon verrattuna hakkuutähteen poiston lisävaikutus on marginaalinen.

Berquist ym. (1999) selvittivät hakkuutähteen poiston ja hirvieläinten laidunnuksen vaikutuksia kasvilajistoon viiden vuoden jakson aikana Etelä-Ruotsissa. Tulosten mukaan hakkuutähteen poisto vähensi hiukan keskimääräistä kasvilajien määrää koealoilla (39 lajia hakkuutähteen poiston jälkeen ja 44 tavanomaisen avohakkuun jälkeen) ja vaikutti huomattavasti vallitsevien lajien runsaussuhteisiin. Hirvieläinten laidunnus ei puolestaan vaikuttanut lajimääriin, mutta muutti myös selvästi vallitsevien lajien runsaussuhteita. Olsson ja Staaf (1995) selvittivät hakkuutähteen poiston vaikutusmekanismeja kasvilajistoon ja pyrkivät erottamaan toisaalta neulasten mukana poistuvien ravinteiden vaikutukset, toisaalta hakkuutähteen peiton si-

nänsä aiheuttamat vaikutukset. Kokeessa oli kolme käsittelyä: (i) tavanomainen avohakkuu, (ii) kokopuukorjuu (poistettiin myös oksat ja neulas) sekä (iii) rungon ja oksien korjuu (neulaset jäivät paikalle). Kokeet sijaitsivat Etelä- ja Keski-Ruotsissa, ja seurantajakso oli 8 - 16 vuotta. Useimpien putkilokasvilajien peittävyudet olivat alhaisempia, kun taas jäkälien ja mustikan peittävyudet olivat korkeampia kokopuukorjuualoilla. Yleisimpien metsäsammallajien peittävyuksiin hakkuutähte ei juuri vaikuttanut. Hakkuutähteen pääasiallinen vaikutus kasvilajistoon liittyi neulasten mukana tulevaan ravinnelisäykseen. Käsittelyjen väliset erot olivat pieniä ja muistuttivat luontaisen kasvupaikkavaihtelun aikaansaamia eroja kasvipeitteessä. Lisäksi vaikutukset vähenivät ajan myötä, ja pitkällä aikavälillä käsittelyjen välisten erojen arveltiin häviävän.

Hakkuutähteen poisto yleensä vähentää tiettyjen kasvilajien runsauksia, mutta toisaalta lisää toisten lajien runsauksia (Ingelög 1978, Kardell & Wärne 1991, Kardell 1983, 1992, 1993, 1996, Olsson ja Staaf 1995, Berqvist ym. 1999). Eri tutkimusten tulokset eivät kuitenkaan kaikkien lajien osalta ole yhdenmukaisia. Väheneviä lajeja ovat erityisesti tyypeä suosivat lajit, kuten maitohorsma ja vadelma, runsastuvia lajeja puolestaan yleensä mm. poronjäkälät, karhunsammalet, puolukka ja kanerva.

On syytä korostaa, että kaikki edellä referoidut tutkimustulokset koskevat lähinnä yleisiä ja runsaita metsäkasvilajeja. Tarkasteltiinpa sitten paikallista monimuotoisuutta (yksittäisen hakkuualan lajistoa) tai alueellista monimuotoisuutta, yleisten lajien vähäisillä runsauseroilla pelkän avohakkuun tai avohakkuun ja hakkuutähteen talteenoton jälkeen ei liene merkitystä. Hakkuutähteen poiston vaikutuksista harvinaisten kasvilajien säilymiseen ei ole tutkimustietoa. Suurin osa harvinaisista metsäkasvilajeista esiintyy kuitenkin ympäristöstään poikkeavissa, yleensä selvärajaisissa ja pienialaisissa biotoopeissa. Näitä ovat ensinnäkin metsälaisissa määritellyt seitsemän erityisen tärkeää elinympäristötyyppiä

sekä luonnonsuojelulaissa määritellyt yhdeksän luontotyyppiä, joista neljä on puustoisia (taulukko 18). Täyttääkseen lakikohteen kriteerit biotooppien tulee lisäksi olla ympäristöstään selvästi erottuvia ja luonnontilaisia tai lähes luonnontilaisia. Tällaisen elinympäristöjen käsitteleminen niin, että niiden ominaispiirteet vaarantuvat, on ko. lakien mukaan kiellettyä. Suojeltujen lakikohteiden lisäksi sekä Tapio (Meriluoto ja Soininen 1998) että valtion mailla Metsähallitus (esim. Rissanen 1999) ovat määritelleet laajemman joukon säästettäviä luontotyyppiä eli avainbiotooppeja (taulukko 18), jotka joko eivät aivan täytä lakikohteen kriteerejä tai ovat tyyppiltään muunlaisia arvokkaita kohteita. Avainbiotooppien säästäminen ei sinänsä ole lakisääteistä vaan riippuu metsänomistajan omasta päätöksestä, mutta avainbiotooppien kartoittaminen ja rajaaminen metsäsuunnittelun yhteydessä sekä säästäminen hakkuissa ovat nykyään käytännön metsänhoidossa laajalti toteutettavia toimenpiteitä (Niemi & Kostamo 1995, Niemelä & Arnkil 1997, Arnkil & Niemelä 1998, Rissanen 1999).

Luonnonarvokohteet, jotka joko jäävät hakuiden ulkopuolelle tai joita käsitellään varovasti, tulisi yleensä jättää myös energia-puun korjuun ulkopuolelle. Poikkeuksena ovat sukkession myötä kuusettuvat, avoimet biotoopit sekä maiseman tai ulkoilun kannalta tärkeät kohteet, joilla harvennukset ja harvennustähteen poisto voi päinvastoin olla suositeltava hoitotoimenpide. Tällaisia kohteita ovat jalopuuvaltaiset ja muutkin lehtipuuvaltaiset lehdot, kulttuuri- ja perinnebiotoopit, kuten hakamaat ja lehdesniityt, harjujen paisterinteet sekä usein rantametsät.

Wästerlund ja Ingelög (1981) tutkivat suursienten itiöemätuotantoa Etelä-Ruotsissa 15 vuotta vanhoilla avohakkuualoilla, joille hakkuutähde oli joko jätetty tai se oli poistettu. Käsittelet eivät eronneet merkittävästi toisistaan itiöemien määrän, biomassan tai mykorritsasienten ja lahottajasienten osuuden suhteen. Samoin kuin putkilokasveissa tietyt lajit suosivat aloja, joille hakkuutähteet oli jätetty, kun taas toiset lajit suosivat aloja, joilta hakkuutähde oli poistettu.

Taulukko 18. Metsälaissa määritellyt seitsemän erityisen tärkeää elinympäristöä sekä luonnonsuojelulaissa määritellyistä yhdeksästä suojeltavasta luontotyyppistä ne neljä, jotka ovat puustoisia. Näiden lisäksi Tapio yksityismailla ja Metsähallitus valtion mailla ovat määritelleet joukon muita tärkeitä elinympäristöjä eli avainbiotooppeja, joiden luonnonarvot pyritään säilyttämään hakkuissa.

---

#### **Metsälakikohteet**

Pienvesien eli lähteiden, purojen ja lampien lähiympäristöt  
 Rehevät korvet sekä letot Lapin läänin eteläpuolella  
 Rehevät lehtolaikut  
 Pienet kangasmetsäsaarekkeet ojitamattomilla soilla  
 Rotkot ja kurut  
 Jyrkänteet alusmetsineen  
 Kitumaan hietikot, kalliot, kivikot, louhikot, vähäpuustoiset suot sekä rantaluhdat

#### **Puustoiset luonnonsuojelulakikohteet**

Luontaisesti syntyneet jalopuuvaltaiset metsiköt  
 Pähkinäpensaslehdot  
 Tervaleppäkorvet  
 Lehdesniityt

#### **Muita metsäluonnon arvokkaita elinympäristöjä**

Vanhat havumetsiköt, aarniometsiköt  
 Vanhat lehtimetsiköt, kaskimetsiköt  
 Harjujen paisterinteet ja supat  
 Hakamaat ja metsäniityt  
 Rantametsät

Suon ja kankaan vaihtumisvyöhykkeet

---

### 7.3 Lahopuusta riippuvaiset eliöt

Lahopuusta riippuvaisia lajeja eli saproksyylejä on eri eliöryhmissä yhteensä noin 4 000 - 5 000 (Siitonen 1998, 2001). Lajimäärältään suurimpia ryhmiä ovat lahottajasienet ja kovakuoriaiset; huonosti tunnetuissa ryhmissä saproksyylejä lajeja on todennäköisesti paljon myös kaksisiipissä ja loispistiäisissä. Tämä tarkoittaa sitä, että vähintään noin viidennes kaikista metsälajeista on lahopuusta riippuvaisia. Järeä lahoppuu on saproksyyllilajiston monimuotoisuuden kannalta tärkeämpi elinympäristö kuin pieniläpimittainen lahoppuu. Järeillä lahoppuilla ensinnäkin lajimäärä per runko on keskimäärin selvästi suurempi kuin ohuilla rungoilla, ja lisäksi useimmat harvinaiset, taantuneet tai uhanalaiset saproksyyllit elävät järeällä lahoppuulla (Andersson & Hytteborn 1991, Bader ym. 1995, Renvall 1995, Kruys ym. 1999). Tämä johtuu useista eri tekijöistä, mm. siitä, että isoissa rungoissa lahoaste, läpimitta ja muut olosuhteet vaihtelevat rungon eri osissa, jolloin vaatimuksiltaan erilaiset lajit voivat esiintyä samassakin rungossa. Järeissä rungoissa kosteusvaihtelut ovat pienempiä ja ne säilyttävät kosteutensa kuivienkin jaksojen aikana, mikä on tärkeää monien lahottajasienien kannalta. Lisäksi järeiden runkojen lahoaminen kestää pitempään, jolloin lajeilla on enemmän aikaa kolonisoida ja lisääntyä sopivassa lahoamisen vaiheessa olevalla rungolla.

Lahoppuun määrän väheneminen on keskeisin niistä metsätalouden seurannaisvaikutuksista, jotka ovat johtaneet lukuisien metsälajien taantumiseen tai uhanalaistumiseen (esim. Anon. 2000, Rassi ym. 2000, Siitonen 2001). Valtakunnan metsien yhdeksänteen inventointiin, joka alkoi 1994, sisällytettiin joukko uusia monimuotoisuutta kuvaavia tunnuksia, mukaanlukien lahoppuu (minimiläpimitta 10 cm, minimipituus 1,3 m). Toistaiseksi valmistuneet tulokset kattavat lähes koko Etelä-Suomen (Tomppo ym. 1998, 1999a, 1999b, 1999c, 1999d, 2000, Korhonen ym. 2000) Tulosten perusteella tiedetään, että Etelä-Suomen talousmetsissä minimimitat täyttävää laho-

puuta on keskimäärin noin 2,5 m<sup>3</sup>/ha, ja määrät vaihtelevat välillä 1,2 - 4,2 m<sup>3</sup>/ha metsäkeskuksesta riippuen. Luonnontilaisissa vanhoissa metsissä lahoppuuta on Etelä-Suomessa noin 60 - 120 m<sup>3</sup>/ha kasvu- paikkatyypistä ja metsikön historiasta riippuen (Siitonen 1998, 2001). Luonnontilaisessa metsässä lahoppuun määrä on kuitenkin suurimmillaan sukcession alussa heti metsikön uudistumiseen johtavan häiriön, kuten metsäpalon jälkeen, jolloin kuollutta puuta voi olla jopa satoja kuutiometrejä hehtaarilla. Määrä riippuu lähinnä elävän puuston tilavuudesta ennen häiriötä sekä puuston kuolleisuudesta häiriössä (Siitonen 1998). Toisin sanoen suurin ero lahoppuun määrässä talousmetsän ja luonnonmetsän välillä on juuri nuorissa sukcessiovaiheissa. Maisematasolla lahoppuun määrä on todennäköisesti vähentynyt talousmetsissä noin 90 - 98 % verrattuna luonnontilaiseen metsämaisemaan (Siitonen 2001).

Säännöllisesti hoidetuissa talousmetsissä lahoppuuta muodostuu lähinnä yksittäisistä kuolleista puista, jotka jäävät korjaamatta, sekä harvennusten ja hakkuiden yhteydessä syntyvistä rungonosista. Erityisesti päätehakuussa voi jäädä korjaamatta myös järeitä, lahovikaisia tai muuten vaurioituneita tyvekyisiä ja muita rungonosia. Pieniläpimittaisen (< 10 cm) lahoppuun määrä ei todennäköisesti ole vähentynyt metsätalouden seurauksena. Talousmetsissä toistuvat harvennus- ja päätehakuut tuottavat pieniläpimittaista kuollutta puuta todennäköisesti vähintään yhtä paljon, kuin mitä luontaisten häiriöiden kautta voi syntyä luonnontilaisessa metsässä. Pieniläpimittaisen tai hakkuukannoissa olevan lahoppuun keskimääräisiä tilavuuksia eri ikäisissä talousmetsissä ei ole kuitenkaan selvitetty. Päätehakuussa tai harvennushakuussa kantoihin ja latvuksiin jäävän runkopuun biomassa ja tilavuus voidaan laskea korjattavan puuston tunnusten avulla. Suuruusluokka esim. tuoreen kankaan vanhan kuusikon avohakuussa on noin 10 - 20 m<sup>3</sup>/ha kantojen maanpäällisissä osissa sekä lähes saman verran latvakappaleissa. Nykyisessä tilanteessa, missä järeän lahoppuun

tilavuus talousmetsissä on keskimäärin hyvin pieni, hakkuutähdelatvuksilla ja kannoilla, joiden tilavuus on keskimäärin suurempi kuin kuolleen  $\geq 10$  cm:n runkopuun tilavuus, on epäilemättä merkitystä monien yleisten saproksyyililajien säilymiselle.

Pieniläpimittaisissa hakkuutähteessä elävää saproksyyililajistoa ei ole kuitenkaan systemaattisesti tutkittu. Olemassaolevat julkaisut käsittelevät aivan tuoreissa hakkuutähteissä lisääntyvää kaarnakuoriaislajistoa (Nuorteva 1967, 1968). Kruys ym. (1999) sekä Kruys ja Jonsson (1999) selvittivät Keski-Ruotsissa kasvupaikkatyypiltään ja iältään vaihtelevissa talousmetsissä kuusi- maapuilla esiintyvää lajistoa. Tutkittujen maapuiden minimiläpimitta oli 5 cm. Tulosten mukaan ensinnäkin lähes kaikki tavatut harvinaiset tai uhanalaiset lajit esiintyivät järeillä lahoppuilla. Toisaalta yleiset lajit käyttivät pieniläpimittaisia maapuita lähes yhtä usein kuin suuriläpimittaisia maapuita. Ohuilla (5 - 9 cm) rungoilla on lajiston kannalta merkitystä varsinkin silloin, kun lahoppuun määrä on pieni. Kun tarkasteltiin keskimääräistä lajimäärää erikseen ohuilla ja järeillä rungoilla tiettyä lahoppuun hehtaarikohtaista tilavuutta kohti, oli ohuilla maapuilla (kaikilla rungoilla yhteensä per hehtaari) keskimäärin enemmän lajeja silloin, kun lahoppuun määrä oli pieni,  $< 5$  m<sup>3</sup>/ha (Kruys ja Jonsson 1999). Tämä johtui siitä, että tietty lahoppuun tilavuus sisälsi useampia ja keskenään vaihtelevampia pieniläpimittaisia runkoja koostuessaan pieniläpimittaisista rungoista kuin sama tilavuus koostuessaan järeistä rungoista. Lahoppuun määrän kasvaessa suuremmaksi, noin 10 m<sup>3</sup>/ha, suuriläpimittaisien runkojen määrä muodostui kuitenkin tärkeämmäksi kokonaislajimäärän kannalta siksi, että suuriläpimittaisien lahoppuiden myötä harvinaisten ja vaatelaiden lajien määrä kasvoi.

Hakkuutähteillä voi kuitenkin olla merkitystä myös harvinaiselle lahottajasienilajistolle. Sippola ja Renvall (1999) selvittivät lahottajasienilajistoa eri ikäisillä siemenpuuhakkuualoilla Lapissa. 40-vuotiailla siemenpuuhakkuualoilla laholla hakkuutähteellä esiintyi 40 - 50 % niistä la-

jeista, mitkä tavattiin vanhoista mäntymetsistä (yhteensä 24 lajia). Hakkuutähteestä tavattiin yleisten lajien lisäksi myös neljä uhanalaista kääpälajia (*Antrodia albobrunnea*, *Postia hibernica*, *P. lateritia*, *Skeletocutis stelleri*).

Useimpien metsäalan organisaatioiden metsänhoitosuositukset uusittiin 1990-luvulla vastaamaan paremmin metsälain sekä metsätalouden ympäristöohjelman tavoitteita. Keskeinen monimuotoisuuden ylläpitämiseen tähtäävä toimenpide on lahoppuun määrän lisääminen päätehakkuualoilta jätettävien elävien ja kuolleiden säästöpuuiden avulla. Tapion (Niemelä & Kostamo 1995, Niemelä & Arnkil 1997, Arnkil & Niemelä 1998) ja Metsähallituksen (Rissanen 1999) seurantojen mukaan elävää säästöpuustoa on jätetty uudistusaloille keskimäärin noin 3 - 4 m<sup>3</sup>/ha yksityismailla ja 5 - 6 m<sup>3</sup>/ha valtionmailla, ja tämän lisäksi kuollutta puuta 0,8 m<sup>3</sup>/ha yksityismailla ja 1,8 m<sup>3</sup>/ha valtionmailla. Useat uudet tutkimukset ovat osoittaneet, että säästöpuustolla on suuri merkitys saproksyylien elinympäristönä (Ahnlund & Lindhe 1992, Kaila ym. 1997, Martikainen 2000, Sverdrup-Thygeson 2000). Energipuun talteenotto ei saisi johtaa siihen, että uudistusalojen järeä kuollut puusto otettaisiin entistä tarkemmin talteen vastoin luonnonhoitotavoitteita. Sen sijaan pieniläpimittaisien hakkuutähteen korjuulla tuskin on ainakaan lyhyellä aikavälillä saproksyyililajien alueellisen säilymisen kannalta merkitystä. Pelkästään korjuuteknisistä syistä hakkuutähteestä jää joka tapauksessa 25 - 35 % korjaamatta.

## 7.4 Maaperäeliöstö

Maaperäeliöstö on metsämaan moottori, joka vastaa maaperän hajotusprosesseista ja vaikuttaa siten oleellisesti metsän ravinnekiertoihin. Maaperäeliöstö vaikuttaa sekä kasvupaikan lyhyen aikavälin tuottokykyyn orgaanisen aineen hajotusnopeuden ja ravinteiden vapautumisen kautta että kasvupaikan pitkän aikavälin tuottokykyyn metsämaan rakenteen ja uuden metsämaan

muodostamisen kautta. Avohakkuu ja hakkuutähteen poisto vaikuttavat puolestaan maaperäeliöiden fysikaaliseen ympäristöön ja saatavilla olevaan ravintovarastoon.

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

Avohakkuun vaikutuksista maaperäeliöstöön on Pohjoismaissa julkaistu melko paljon tutkimuksia, ja myös hakkuutähteen poiston vaikutuksia on selvitetty. Keski-Ruotsissa (Jädraås, Gästrikland) perustettiin 1976 kenttäkoe, jossa 120-vuotiaassa mäntymetsässä verrattiin (i) avohakkuuta ja hakkuutähteen lisäystä (kaksinkertainen määrä verrattuna tilanteeseen tavanomaisen avohakkuun jälkeen) sekä (ii) kokopuukorjuuta (iii) käsittelemättömään kontrollimetsään. Bakteerien, ankeroiden ja änkyrimatojen määrät kaksin–viisinkertaistuivat heti avohakkuun jälkeen kummassakin käsittelyssä mutta vähemmän aloilla, joilta hakkuutähteet oli poistettu (Lundgren 1982, Sohlenius 1982). Sienirihmastojen kokonaisuus ei muuttunut kahden ensimmäisenä vuonna hakkuun jälkeen kummassakaan käsittelyssä (Bååth & Söderström 1982). Käsittelyt eivät myöskään eronneet sienibiomassaltaan heti hakkuun jälkeen (Bååth 1980), joskin mikrosienten lajikoostumuksessa havaittiin eroja (Bååth 1981). Suurin muutos tapahtui änkyrimatoissa, joiden määrä kaksi vuotta hakkuun jälkeen oli käsittelemättömään metsään ver-

rattuna viisinkertainen hakkuutähteen poistoaloilla ja seitsenkertainen lisäysaloilla (Lundkvist 1983). Toisaalta tiedetään, että änkyrimatojen määrän vuosien välinen vaihtelu voi olla tätä suuruusluokkaa käsittelemättömässäkin metsässä. Kolme vuotta hakkuun jälkeen kaikkien em. ryhmien runsaudet olivat hyvin lähellä kontrollimetsää molemmissa käsittelyissä (Lundkvist 1996).

Kokeen seuranta jatkettiin 1990 - 1993 eli 15 - 18 vuotta käsittelyjen jälkeen (Bengtsson ym. 1997). Kokopuukorjuu oli vähentänyt hyppyhäntäisten, eräiden punkkien (Gamasida), hämähäkkien, petohönteisten sekä kaksisiipistoukkien määriä noin 30 - 55 % hakkuutähteen lisäykseen nähden, mutta ei ollut vaikuttanut änkyrimatojen ja kaksosjalkaisten määriin. Ankeroiden määrä oli vähentynyt vain kanervaa kasvavissa kohdissa (Sohlenius 1996). Toisessa kenttäkokeessa selvitettiin maaperäeliöstön rakennetta Etelä-Ruotsissa rehevässä kuusimetsässä, joka vuonna 1961 tehdyn avohakkuun jälkeen oli harvennettu neljä kertaa joko ainespuun korjuuta tai kokopuukorjuuta käyttäen (Bengtsson ym. 1998). Hakkuutähteen poiston vaikutukset maaperän ravintoverkon rakenteeseen ja lajiston funktionaalisten ryhmien koostumukseen olivat kummassakin tapauksessa lähinnä määrällisiä, eivät niinkään laadullisia, ts. mikään yksittäinen laji tai funktionaalinen ryhmä ei ollut hävinnyt. Kirjoittajien (Bengtsson ym. 1997) mukaan tulosten osoittama useiden funktionaalisten ryhmien väheneminen voi kuitenkin tarkoittaa sitä, että muutokset maaperäeliöstössä saattaisivat osaltaan vaikuttaa kasvupaikan pitkän aikavälin tuottokykyä alentavasti. Vaikutukset puuston kasvuun olisivat siis saman suuntaisia kuin hakkuutähteen poiston aiheuttama maaperän ravinnevaraston väheneminen; maaperäeliöstö saattaisi positiivisten takaisinkytkentöjen kautta vahvistaa tätä vaikutusta. Maaperäeliöstön vähenemisen vaikutukset kasvupaikan pitkän aikavälin tuottokykyyn saattaisivat ilmetä lähinnä kasvupaikoilla, joilla metsikön sisäisen tyypen kierto on ulkoista typpilaskeumaa selvästi tärkeämpi.

## Päätelmiä

Avohakkuu sinänsä muuttaa ratkaisevasti metsikön olosuhteita. Vanhan sulkeutuneen metsän lajisto häviää osaksi, ja tilalle tulee useissa lajiryhmissä suurempi määrä sukkession alkuvaiheen avoimeen ympäristöön sopeutuneita lajeja. Melko suuri osa lajistosta (mm. putkilokasveista) myös säilyy avohakkuun yli, mutta lajiston runsaussuhteissa tapahtuu suuria muutoksia. Näihin muutoksiin verrattuna hakkuutähteen korjuun lisävaikutus lajistoon on useimmissa tapauksissa marginaalinen. Talousmetsissä esiintyvistä harvinaisista kasvilajistosta, mahdollisesti myös muusta lajistosta, suuri osa on todennäköisesti keskittynyt ympäristöstään poikkeaviin avainbiotoopeihin, jotka useimmissa tapauksissa tulee jättää energiapuun korjuun ulkopuolelle.

Lahopuun väheneminen on keskeisin yksittäinen talousmetsien monimuotoisuutta vähentävä tekijä. Tästä syystä uusituissa metsänhoitosuosituksissa ja käytännön metsätaloudessa on kiinnitetty erityistä huomiota järeäläpimittaisen lahopuun lisäämiseen jättämällä eläviä säästöpuita ja säästämällä mahdollisuuksien mukaan olemassa oleva järeä lahopuu hakkuissa. Suositusten toteutumisen seuranta varten on luotu seurantajärjestelmä sekä valtionmaille että yksityismaille. Energiapuun korjuu ei saisi johtaa siihen, että luonnonhoitotavoitteiden vastaisesti järeä kuollut puusto otettaisiin metsistä yhä tarkemmin talteen. Järeäläpimittainen lahopuu on lajiston monimuotoisuuden kannalta tärkeämpää kuin pieniläpimittainen latvus- ja oksapuu. Pelkästään korjuuteknologisista syistä 25 – 35 % hakkuutähteestä jäänee joka tapauksessa uudistusaloille korjaamatta, joten pieniläpimittaisten hakkuutähteiden korjuulla ei todennäköisesti ole saproksyytilajien alueellisen säilymisen kannalta merkitystä.

Orgaanisen aineen poistamisen vaikutuksista maaperäeliöstöön, metsämaan rakenteeseen ja toimintaan (mm. vedenpidätyskyky, kationinvaihtokapasiteetti, happamoitumisen puskurointikyky) sekä uuden metsämaan muodostumiseen tiedetään edelleenkin suhteellisen vähän. Kaikki nämä tekijät yhdessä vaikuttavat kasvupaikan pitkän aikavälin tuotoskykyyn. Pohjoisissa havumetsissä metsämaa lienee kuitenkin varsin hyvin puskuroitunut kestämään ajoittaisia häiriöitä, kuten metsäpaloja. Ainakaan kertaluonteinen hakkuutähteen korjuu päätehakkuun tai harvennusten yhteydessä tuskin aiheuttaa pysyviä vaikutuksia kasvupaikan metsämaahan. Tutkimuksella on siis runsaasti lisäaikaa pitkän aikavälin (useiden korjuukertojen, koko kiertoajan tai useiden puusukupolvien) mahdollisten vaikutusten selvittämiseen.

## Kirjallisuus

- Ahnlund, H. & Lindhe, A. 1992. Hotade vedinsektorer i barrskogslandskapet – några synpunkter utifrån studier av sömländska brandfält, hållmarker och hygen. *Entomologisk Tidskrift* 113: 13–23.
- Andersson, L. & Hytteborn, H. 1991. Bryophytes and decaying wood – a comparison between managed and natural forest. *Holarctic Ecology* 14: 121–130.
- Anon. 2000. Metsien suojelun tarve Etelä-Suomessa ja Pohjanmaalla. Etelä-Suomen ja Pohjanmaan metsien suojelun tarve -työryhmän mietintö. Suomen ympäristö 437. 284 s.
- Arnkil, R. & Niemelä, H. 1998. Metsäluonnon hoito hakkuissa ja metsänuudistamisessa 1997. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, Helsinki. 21 s.
- Bader, P., Janson, S. & Jonsson, B. G. 1995. Wood-inhabiting fungi and substratum decline in selectively logged boreal spruce forests. *Biological Conservation* 72: 355–362.
- Bengtsson, J., Persson, T. & Lundkvist, H. 1997. Long-term effects of logging residue addition and removal on macroarthropods and encytra-

- cheids. *Journal of Applied Ecology* 34: 1014–1022.
- Bengtsson, J., Lundkvist, H., Sohlenius, B. & Solbreck, B. 1998. Effects of organic matter removal on the soil food web: Forestry practices meet ecological theory. *Applied Soil Ecology* 9: 137–143.
- Berquist, J., Örlander, G. & Nilsson, U. 1999. Deer browsing and slash removal affect field vegetation on south Swedish clearcuts. *Forest Ecology and Management* 115: 171–182.
- Bååth, E. 1980. Soil fungal biomass after clear-felling of a pine forest in central Sweden. *Soil Biology and Biochemistry* 12: 495–500.
- 1981. Microfungi in a clear-cut pine forest in central Sweden. *Canadian Journal of Botany* 59: 1331–1337.
- Bååth, E. & Söderström, B. 1982. Seasonal and spatial variation in biomass in a forest soil. *Soil Biology and Biochemistry* 14: 353–358.
- Ingelög, T. 1974. Biotiska förändringar vid förnyelseingrepp. *Sveriges Skosvårdsförbunds Tidskrift* 1: 91–103.
- Kaila, L., Martikainen, P. & Punttila, P. 1997. Dead trees left in clear-cuts benefit saproxylic Coleoptera adapted to natural disturbances in boreal forest. *Biodiversity and Conservation* 6: 1–18.
- Kardell, L. 1983. Hyggesavfallens inverkan på flora, folk och få. *Sveriges Lantbruksuniversitet, Skogsfakta supplement 1/1983: 37–40.*
- 1992. Vegetationsförändringar, plantetablering samt bärproduktion efter stubb- och riståkt. *Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig landskapsvård, Uppsala. Rapport 50, 79 s.*
- 1993. Stubbrytningsförsöket på Tagel 1978–1989 – vegetation och skogstillstånd. *Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig landskapsvård, Uppsala. Rapport 52. 74 s.*
- 1996. Stubbrytningsförsöket i Piteåtrakten 1979–1990. *Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig landskapsvård, Uppsala. Rapport 63. 72 s.*
- Kardell, L. & Wärne, C. 1981. Stubbar och ris – Blåbär och lingon. Utläggning av skogsenergiförsök 1978–1980. *Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig landskapsvård, Uppsala. Rapport 21. 96 s.*
- Korhonen, K. T., Tomppo, E., Henttonen, H., Ihalainen, A., & Tonteri, T. 2000. Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1964–98. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/2000: 337–411.
- Kruys, N. & Jonsson, B. G. 1999. Fine woody debris is important for species richness on logs in managed boreal spruce forests of northern Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 1295–1299.
- Kruys, N., Fries, C., Jonsson, B. G., Lämås, T. & Ståhl, G. 1999. Wood-inhabiting cryptogames on dead Norway spruce (*Picea abies*) trees in managed Swedish boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 178–186.
- Lundgren, B. 1982. Bacteria in a pine forest soil as affected by clear-cutting. *Soil Biology and Biochemistry* 14: 537–542.
- Lundkvist, H. 1983. Effects of clear-cutting on the encytracheids in a Scots pine forest soil of central Sweden. *Journal of Applied Ecology* 20: 873–885.
- 1996. Ekologiska effekter av skogsbränsleuttag och askåterföring. Konferens på Kungliga Skogs och Lantbruksakademien den 5 juni 1996. *Kungliga Skogs- och Lantbruks-akademins Tidskrift* 13: 61–68.
- Lundkvist, H., Olsson, B. A., Bengtsson, J., Rolff, C. & Ågren, G. 1991. Effekter av ökat biomassauttag på markens långsiktiga produktionsförmåga. STEV-projekt 146.313-1. *Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Ekologi och Miljövård, Uppsala. 72 s.*
- Lundmark, J.-E. 1983. Produktionsekologiska effekter på olika ståndortstyper vid helträdsutnyttjande – prognos baserad på ”biologisk grundsyn”. *Skogsfakta, Supplement 1/1983: 24–31.*
- Martikainen, P. 2000. Conservation of threatened saproxylic beetles: significance of retained aspen *Populus tremula* on clearcut areas. *Julkaisussa: Martikainen, P. Effects of forest management on beetle diversity, with implications for species conservation and forest protection. Joensuu yliopistopaino, Joensuu.*
- Meriluoto, M. & Soinen, T. 1998. *Metsäluonnon arvokkaat elinympäristöt. Metsälehti kustannus, Helsinki. 191 s.*
- Müller, M. 2001. Metsän mikrobiodiversiteetti. *Met-säntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 812: 173–210.
- Niemelä, H. & Kostamo, J. 1995. *Metsäluonnon hoi-*

- to hakkuissa ja metsänuudistamisessa. Metsätalouden kehittämisskeskus Tapio, Helsinki. 10 s.
- Niemelä, H. & Arnkil, R. 1997. Metsäluonnon hoito hakkuissa ja metsänuudistamisessa. Metsätalouden kehittämisskeskus Tapio, Helsinki. 23 s.
- Nuorteva, M. 1967. Hakkuutahteissa elävien hyönteisten käyttömahdollisuuksista hakkuun ajankohdan määrittämisessä. *Silva Fennica* 1: 7–29.
- Nuorteva, M. 1968. Über Mengenveränderungen der Borkenkäferfauna in einem südfinnischen Waldgebiet in der Zeit von 1953 bis 1964. *Acta Entomologica Fennica* 24: 1–50.
- Olsson, B.A. 1996. Näringsekologiska effekter av helträdsutnyttjande. *Kunglika Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift* 135(13): 45–51.
- Olsson, B.A. & Staaf, H. 1995. Influence of harvesting intensity of logging residues on ground vegetation in coniferous forest. *Journal of Applied Ecology* 32: 640–654.
- Rassi, P., Kanerva, T. & Mannerkoski, I. (toim.) 2000. Suomen lajien uhanalaisuus 2000. Ympäristöministeriö, Helsinki. 432 s. Uhanalaisten lajien II seurantatyöryhmä, työryhmän mietinnön esipainos.
- Renvall, P. 1995. Community structure and dynamics of wood-rotting fungi on decomposing conifer trunks in northern Finland. *Karstenia* 35: 1–51.
- Rissanen, K. 1999. Luonnonhoidon seuranta Metsähallituksessa 1994–1998. Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja 23/1999. 43 s.
- Siitonen, J. 1998. Lahopuun merkitys metsäluonnon monimuotoisuudelle – kirjallisuuskatsaus. Julkaisussa: Annala, E. (toim.). Monimuotoinen metsä. Metsäluonnon monimuotoisuuden tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantaja 705: 131–161.
- 2001. Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: Fennoscandian boreal forests as an example. *Ecological Bulletins* 49: 11–41.
- Sippola, A.-L. & Renvall, P. Wood-decomposing fungi and seed-tree cutting: A 40-year perspective. *Forest Ecology and Management* 115: 183–201.
- Sohlenius, B. 1982. Short-term influence of clear-cutting on abundance of soil microfauna (Nematoda, Rotatoria, Tardigrada) in Swedish pine forest soil. *Journal of Applied Ecology* 21: 327–342.
- Sohlenius, B. 1996. Structure and composition of the nematode fauna in pine forest soil under the influence of clear-cutting. – Effects of slash removal and field layer vegetation. *European Journal of Soil Biology* 32: 1–14.
- Sverdrup-Thygeson, A. & Ims, R. A. 2000. The effect of forest clearcutting on the community of saproxylic beetles on aspen. Julkaisussa: Sverdrup-Thygeson, A. Forest management and conservation. Woodland key habitats, indicator species and tree retention. Series of dissertations submitted to the Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Oslo, No. 56.
- Tomppo, E., Henttonen, H., Korhonen, K. T., Aarnio, A., Ahola, A., Heikkinen, J., Ihalainen, A., Mikkilä, H., Tonteri, T. & Tuomainen, T. 1998. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1967–96. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/1998: 293–374.
- Tomppo, E., Henttonen, H., Korhonen, K. T., Aarnio, A., Ahola, A., Ihalainen, A., Heikkinen, J. & Tuomainen, T. 1999a. Keski-Suomen metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1967–96. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/1999: 309–387.
- Tomppo, E., Henttonen, H., Korhonen, K. T., Aarnio, A., Ahola, A., Heikkinen, J. & Tuomainen, T. 1999b. Pohjois-Savon metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1967–96. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/1999: 389–462.
- Tomppo, E., Korhonen, K. T., Henttonen, H., Ihalainen, A., Tonteri, T. & Heikkinen, J. 1999c. Kymen metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1966–98. *Metsätieteen aikakauskirja* 3B/1999: 603–681.
- Tomppo, E., Korhonen, K. T., Henttonen, H., Ihalainen, A., Tonteri, T. & Heikkinen, J. 1999d. Ålands skogar och deras utveckling 1963–1997. *Metsätieteen aikakauskirja* 4B/1999: 785–849.
- Tomppo, E., Korhonen, K. T., Ihalainen, A., Tonteri, T., Heikkinen, J. & Henttonen, H. 2000. Skogstillgångarna inom Kustens skogscentral och deras utveckling 1965–98. *Metsätieteen aikakauskirja* 1B/1999: 83–232.
- Wästerlund, I. & Ingelög, T. 1981. Fruit body production of larger fungi in some young Swedish forests with special reference to logging waste. *Forest Ecology and Management* 3: 269–294.

## 8 Energiapuun korjuun vaikutus maisemaan ja metsän virkistyskäyttöön

*Eeva Karjalainen*  
*Suomen Akatemia*

*Tuija Sievänen*  
*Metsäntutkimuslaitos*  
*Vantaan tutkimuskeskuksen Helsingin*  
*toimipiste*

### 8.1 Johdanto

#### 8.1.1 Talousmetsien virkistyskäytön laajuus

Taloustmetsillä on keskeinen merkitys virkistyskäytössä. Kolme neljästä suomalaisesta virkistäytyy luonnossa käyttäen jokamiehenoikeuksia vuoden aikana, ja noin 40 % kaikista ulkoilukerroista kohdistuu taloustmetsäalueille. Suurin virkistyspaine kohdistuu luonnollisesti taajamien läheisille metsäalueille. Runsaat puolet koko väes-

töstä ja kaksi kolmesta kaupunkilaisesta viettää vuosittain aikaa, keskimäärin noin kuukauden (keskiarvo 31 päivää), maaseudulla omalla tai vuoratulla mökillä. Mökkeilyn ohessa suomalaiset harrastavat marjastusta, sienestystä, uintia, kalastusta sekä puiden ja risujen keräilyä. Suomalaisista 56 % marjastaa, ja heille kertyy keskimäärin 7 marjastuskertaa vuodessa. Noin joka kolmas on sienestäjä. Luonnontarkkailu on yksi suosituimmista vapaa-ajan harrastuksista, joka kohdistuu metsäluontoon (taulukko 19). Kesämökkien lähimetsät ja rantametsät ovat erityisen tärkeitä virkistysympäristöjä.

Tyypillisimmillään suomalaiset kohtaavat metsätalouden jälkiä luonnossa, kun he liikkuvat jokamiehenoikeudella marjastamassa tai sienestämässä, tai retkeilevät ulkoilureiteillä, jotka usein kulkevat ainakin osittain tavallisissa taloustmetsissä. Suomalaiset harrastavat paljon kävelyä ja pitempien reittien patikointia. Useimmat käyttävät rakennettuja polkuja tai teitä, mutta

Taulukko 19. Suomalaisten osallistuminen eräisiin ulkoiluharrastuksiin (Pouta & Sievänen 2001).

Ulkoilu metsissä ja puistoissa	Osallistumisosuus (% *)
Kävelylenkkeily	68
Uinti luonnon vesissä	68
Kesämökkeily	57
Marjastus	56
Luonnon tarkkailu	48
Kalastus	46
Maastohiihto	40
Sienestys	38
Puiden, risujen keräily	30
Patikointi (väh. 10 km)	23
Lintujen tarkkailu	14
Moottorikelkkailu	10
Telttailu maastossa	8
Vaellus (sis. yöpymisen)	8
Metsästys	8
Maastopyöräily	5

\*) Prosenttiosuus laskettuna aikuisväestöstä (15 - 74), N = 10 651; Sama henkilö on voinut osallistua useampaan harrastukseen. Siksi prosentit eivät summaudu sataan.

varsin monet (60 %) poikkeavat myös poluttomaan maastoon joskus retken aikana (Sievänen 1995). Puolet kävelyn harrastajista kävelee useimmiten 2 - 4 km pituisen lenkin, mutta joka kolmas tekee tavallisesti 5 - 9 km pituisen lenkin. Pyöräilijöiden ja hiihtäjien tyypillinen reitti on 5 - 9 km pituinen. Näiden lukujen valossa on mahdollista arvioida, millä alueilla ja miten kaukana asutustaajaamista ulkoilijat liikkuvat, ja ovat siten tarkkailemassa metsätalouden jälkiä luonnossa.

### 8.1.2 Hakkuutähten vaikutus maisemaan ja virkistyskäyttöön

Keskeinen osa metsässä kulkijan virkistyskokemuksta on ympäröivä maisema. Mikä tahansa metsä ei välttämättä tuota myönteisiä elämyksiä. Hakkuutähde on tyypillinen esimerkki tekijästä, joka vähentää metsän maisemallista laatua ja siten heikentää virkistyselämystä. Jo 1970-luvulla ulkoilumetsissä tehdyistä metsänhoitotoimista eniten valitettiin hakkuutähteestä (Heino 1974).

Yhdysvalloissa hakkuutähteen on todettu olevan keskeinen metsän maisemallista kauneutta vähentävä tekijä. Hakkuutähde vähensi maisemallista laatua sitä enemmän mitä enemmän se oli kasoissa. Hakkuutähde myös rumensi maisemaa enemmän kuin luonnollinen maapuu (Arthur 1997, Schroeder & Daniel 1981). Myös suomalaisen tutkimuksen mukaan (Karjalainen 2000) hakkuutähteen korjuu ja puiden karsinta lisäsi nuorten mäntymetsien arvostusta ja ulkoiluun sopivuutta. Ruotsalaiset pitivät metsiä, joissa oli hakkuutähdettä tai kaatuneita puita vähiten sopivina ulkoiluun (Lindhagen & Hörnsten 1998). Hakkuutähde rumentaa maisemaa myös avohakkuualoilla (Karjalainen 1995).

Yksi keskeinen syy siihen miksi hakkuutähteistä ei pidetä on se, että ne vaikeuttavat metsässä kulkemista. Kaplanin ja Kaplanin (1989) mukaan maisemasta pitämiseen vaikuttaa erityisesti se, millaisia toimintamahdollisuuksia ja -rajoituksia ympäristössä on havaittavissa. Pidetyssä mai-

semassa maanpinta on tasainen ja kulkukelpoinen (Ulrich 1986). Hakkuutähteet haittaavat paitsi metsässä kävelyä ja juoksua, myös muita ulkoiluharrastuksia, kuten marjastusta ja sienestystä. Hakkuutähte saatetaan kokea häiritseväksi myös siksi, että hakkuutähteen jättöä metsään pidetään tuhlauksena. Monille suomalaisille puiden ja risujen keräily, useimmiten siis hakkuutähteen, on mieluinen vapaa-ajan harrastus (Pouta & Sievänen 2001).

Hakkuutähteeseen negatiivisesti suhtautumiseen voi vaikuttaa myös se, että ne saattavat vähentää ympäristön ymmärrettävyyttä. Maisema-arvostuksiin vaikuttavat ennen kaikkea kaksi ihmisen tarvetta: tutkimisen tarve ja ymmärtämisen tarve. Tutkimisen tarve edellyttää, että ympäristössä on visuaalista monimuotoisuutta ja salaperäisyyttä. Ymmärrettävä ympäristö puolestaan on yhtenäinen ja selkeä. Se tarkoittaa, että ympäristössä on järjestystä, maiseman eri osaset sopivat yhteen ja että maisemaa pystyy hahmottamaan ja jäsentämään. Hakkuutähde todennäköisesti estää maiseman ymmärtämistä; maisemaa on vaikeampi hahmottaa ja jäsentää.

Hakkuutähteen kritisointi voi osaltaan johtua siitä, että se on selvä osoitus ihmisen toiminnasta metsässä. Ulkoilijat haluavat usein kokea metsän luonnontilaisena, jonka takia on tärkeää, että ihmisen toiminnan jäljet olisivat niin huomaamattomia kuin suinkin (Savolainen & Kellomäki 1981). Luonnomukaiset maisemat ovat yleensä pidettyjä, esim. ympäristöestetiikan mukaan jokainen koskematon luonnonkolikka on kauris (Kinnunen 1981).

Hakkuutähteen aiheuttama maisemahaitta ei kuitenkaan kestä ajallisesti kauan verrattuna esimerkiksi metsänuudistamisen vuosikymmeniä jatkuvaan maisemavaikutukseen. Hakkuutähde peittyi muutamassa vuodessa kasvillisuuden, kuten heinien ja vesaikon alle. Sen sijaan hakkuutähteen maatumisen kestää kauemmin, jolloin ne haittavat kulkua kauemmin kuin visuaalista maisemaa.

Pidetyssä maisemassa ei ole mitään uhkaavaa (Ulrich 1986). Jossain määrin

hakkuutähde voidaan kokea myös uhkana turvallisuudelle, voihan niihin kompastua, tai hakkuutähteen seassa voi vaania pelottavia eläimiä.

Yleisesti hakkuutähde haittaa marjastusta ja sienestystä, sillä puolukka ja mustikkavarvusto sekä sienet jäävät hakkuutähteen alle. Hakkuun seurauksena monet sienet vähenevät muutenkin, mutta myös niiden hakeminen hakkuutähteen seasta on työlästä. Hakkuun seurauksena puolukkavarvusto yleensä aluksi elpyy ja marjasato paranee, kun taas mustikan kasvu kärsii. Runsas määrä hakkuutähdettä sekä ehkäisee marjasadon paranemista että sadon poimintaa.

Hakkuutähteen korjuu ei sinänsä näytä vaikuttavan ruokasienten määrään ellei kantoja poisteta (Wästerlund & Ingelög 1981, Wästerlund 1989). Kannoissa elää muutamia tärkeitä ruokasieniä (mesisieni, kuusilahokka, koivunkantosieni). Toisaalta kantojen poisto rikkoo maaperää, mikä edesauttaa korvasienten kehittymistä, ja siten kompensoi kantosientien menetystä (Hintikka 1974).

## **8.2 Hakkuutähteen korjuun vaikutus maisemaan ja metsien virkistyskäyttöön**

Hakkuutähde koetaan virkistyskäytön ja maiseman viihtyisyyden kannalta haitallisina. Siksi hakkuutähteen korjuu edistää virkistyskäyttöä parantamalla kulkukelpoisuutta ja maiseman laatua. Kuitenkin monet energiapuun korjuun työvaiheet metsässä häiritsevät virkistyskäyttöä. Hakkuutähteen talteenoton vaikutus virkistyskäyttöön ja maisemaan riippuukin paljon korjuutavasta.

### **8.2.1 Kokopuujärjestelmä maiseman ja virkistyskäytön kannalta paras**

Maiseman ja virkistyskäytön suhteen paras hakkuutähteen keruujärjestelmä on kokopuu- tai kokorunkojärjestelmä. Tämä edellyttää että talteen otettava karsimaton koko-

pu katkotaan tavaralajeiksi palsttien varressa ja tähteen hakettaminen tapahtuu terminaalissa tai käyttöpaikalla. Kokopuujuonnossa karsimattomat kokopuut tai karsitut rungot kuljetetaan tien varteen laahujuontotraktorilla vetäen (Hakkila ym. 1998).

Kokopuujuonto vähentäisi merkittävästi sekä puunkorjuusta että energiapuun tuotannosta virkistyskäytölle aiheutuvia haittoja, jos puut karsitaan ja katkotaan ja tähde haketetaan terminaalissa tai käyttöpaikalla. Toimenpiteet ovat vähemmän aikaa näkyvissä ja kuuluvissa, kun yksi hakkuualalla käynti riittää eikä metsässä tapahdu hakkuutähteen kasausta, varastointia, kuljetusta ja haketusta. Tällöin esimerkiksi meluhaitat sekä koneiden ja hakkuutähteen aiheuttamat haitat ulkoilulle, marjastukselle ja sienestykselle vähenevät. Maisemavauriot pienenevät, kun hakkuualalla eikä tienvarressa ole missään vaiheessa hakkuutähdettä tai hakkuutähdekasoja. On myös oletettavissa, että kun hakkuualalla käydään koneen kanssa vain kerran, maanpinta vaurioituu vähemmän, ja virkistyskäyttäjät välttyvät ajourien ja maanpinnan rikkoutumisen aiheuttamilta maisema- ja kulkuhaitoilta sekä marjojen varvustot säilyvät paremmin.

Puunkorjuun ajankohta vaikuttaa häiritsevyyteen. Meluhaitta on vähäistä, kun työt ajoitetaan sellaiseen vuodenaikaan, jolloin ulkoilijoita on vähän liikkeellä. Virkistyskäytön kannalta hiljaisimpia vuodenaikoja ovat myöhäissyksy ja useimmissa paikoissa myös talvikuukaudet. Samoin korjuuajankohdan valinta vaikuttaa ajouran painumien määrään ja laatuun.

### **8.2.2 Haketus mieluiten terminaalissa tai käyttöpaikalla**

Haketusta palstalla tai tienvarressa tulisi välttää, sillä se aiheuttaa ulkoilijoille meluhaittoja, ja koneet ovat metsässä kauemmin kuin jos haketus tapahtuu välivarastossa tai käyttöpaikalla. Ruotsissa jo runsas kolmannes haketuksesta on siirtynyt met-

säpästä terminaaleihin ja käyttöpaikoille (Hakkila ym. 1998), ja tämä olisi suositeltavaa metsän virkistyskäytön kannalta myös Suomessa. Kuitenkin hake menee pienempään tilaan kuin hakkuutähde. Jos haketus tapahtuu metsässä, hakkuutähteen kuljetuksesta aiheutuva liikenne vähenee, mikä on toisaalta myönteistä virkistyskäytön kannalta.

### 8.2.3 Hakkuutähdekasat nopeasti pois näkyvistä

Maiseman kannalta hakkuutähdekasojen varastointia hakkuuaukolla tai tienvarressa tulisi välttää; ne tulisi korjata pois mahdollisimman pian, ja varastoida terminaalissa tai käyttöpaikalla. Hakkuuaukolla olevat kasat tekevät hakuutähteen vielä näkyvämmäksi ja maisemallisesti häiritsevämmäksi kuin jos se olisi tasaisesti levitettyä aukolle. Samoin suuret hakkuutähdekasat tienvarsivarastolla ovat häiritseviä.

Jos hakkuutähdettä varastoidaan pitkään aukolla tai tienvarressa, ne kuivuesaana ja neulasia pudottaessaan muuttuvat ruskeammiksi ja siten maisemallisesti vielä silmiinpistävämmiksi. Hakkuutähteen pikainen korjuu olisi myös kustannustehokasta; ainespuu ja hakuutähde voidaan kuljettaa tien varteen samalla traktorilla, jos hakkuutähde korjataan palstalta heti pois eikä jätetä kesän yli (Hakkila ym. 1998).

### 8.2.4 Korjuujälkien välttäminen

Puuaineksen ja hakkuutähteen korjuussa käytettävien koneiden tulisi olla mahdollisimman kevyitä ja siten mahdollisimman vähän vaurioita maanpinnalle aiheuttavia. Hakkuutähteen keruu saattaa lisätä puun korjuun aiheuttamia maastovaurioita, sillä silloin kun hakkuutähdettä ei hyödynnetä, hakkuukoneen kuljettaja levittää tähteen ajouralle maan ja pintajuuriin suojaksi hakkuukoneen ja kuormatratktoirin aiheuttamalta painaumilta. Kun hakuutähde sen sijaan otetaan talteen, kuljettaja pyrkii jättämään

hakuutähteen kasoisiin ja välttää ajamasta kasojen päällä. Tästä voi etenkin pehmeillä mailla aiheutua, että ajopainauksia tulee enemmän (Hakkila ym. 1998). Lisäksi, silloin kun hakkuutähde otetaan talteen, palstalla saatetaan joutua käymään koneen kanssa useammin kuin jos hakkuutähdettä ei kerätä.

Syvät painaumamat ja maastovauriot ovat maisemallinen haitta, ja ajourat tulevat näkyvimmiiksi, kun ne eivät ole hakkuutähteen peitossa. Syvät painaumamat ovat myös haitta kulkemisen kannalta. Hakkuutähteen korjuun hyödyllisyys etenkin pehmeillä tai muutoin helposti vaurioituvilla mailla tulee siten kyseenalaiseksi virkistyskäytön kannalta.

Kuljetuskalustonvalinnalla voidaan torjua maisemallisia haittoja. Hakkuutähteen kuljetuskalusto pyritään yleensä kustannusten minimoimiseksi valitsemaan siten, että kuorman koko saadaan mahdollisimman suureksi, esim. käyttämällä suuria traktoreita tähteen kuljetukseen tienvarteen (Hakkila ym. 1998). Tämä on hyvä asia virkistyskäytön kannalta, jos suuremmat koneet eivät aiheuta suurempia vaurioita maastoon. Palstalla myöskin tarvitsee käydä harvemmin, jos kuormaan mahtuu enemmän tähdettä, ja tällöin sekä meluhaitat että vauriot maanpinnalle osaltaan vähentyvät.

#### Päätelmiä

Pääsääntöisesti hakkuutähteen poistaminen hakuualueelta parantaa maiseman visuaalista laatua ja maaston kulkukelpoisuutta. Myönteiset vaikutukset toteutuvat parhaiten silloin kun korjuutoimenpiteet eivät aiheuta pysyviä maisemahaittoja tai korjuun jäljet eivät vaikeuta maastossa liikkumista. Toteuttamalla hakkuutähteen korjuu virkistyskäytön kannalta hiljaisena ajankohtana, välttytään tilapäiseltä meluhaitalta tai pettymykseltä, jonka virkistäytyjä helposti kokee, jos hän kohtaa metsätyömaan virkistysympäristössään.

Virkistäytyjä odottaa löytävänsä metsästä ehyen, kauniin maiseman ja luonnon rauhan. Kaikki odotusten vastaiset kokemukset aiheuttavat pettymystä ja tyytymättömyyttä. Virkistävä kokemus ja sen myötä virkistyshyödyt jäävät ehkä saamatta. Siksi paras virkistysympäristö on sellainen, jossa on mahdollisimman vähän havaittavissa ihmisen taloustoiminnan jälkiä, jossa on helppo liikkua, ja maisema on mahdollisimman luonnonmukaisen näköinen. Jos hakkuutähteen poistolla nopeutetaan hakkuualan muuttumista nopeasti luonnonmukaiseen maisematilaan, on toiminta virkistyskäytön kannalta myönteistä.

## Kirjallisuus

- Hakkila, P., Nurmi, J. & Kalaja, H. 1998. Metsänuudistusalojen hakkuutähteen energialähteenä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 684. 68 s.
- Heino, J. 1974. Finlands stadsägda skogar betraktade speciellt ur friluftssynvinkel. Seloste: Suomen kaupunkimetsät ja ulkoilu. *Folia Forestalia* 223:1-47.
- Hintikka, V. 1974. Hakkuutähteen talteenoton vaikutus metsäpatogeenisten ja ruokasienten esiintymiseen. Julkaisussa: Hakkila P. (toim.): Hakkuutähteen talteenoton seurannaisvaihtokutukset. *Folia Forestalia* 210: 12-13.
- Kaplan, R. & Kaplan, S. 1989. *The Experience of Nature. A Psychological Perspective.* Cambridge University Press.
- Karjalainen, E. 1995. Avohakkuumaiseman visuaalinen laatu. *Folia Forestalia - Metsätieteen aikakauskirja* 3: 211-232.
- Karjalainen, E. 2000. Metsänhoitovaihtoehtojen arvostus ulkoilualueilla. Julkaisussa: Saarinen, J. ja Raivo, P.J. (toim.). *Metsä, harju ja järvi: näkökulmia suomalaisen maisematutkimukseen ja -suunnitteluun.* Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 776: 123-136.
- Kinnunen, A. 1981. Luonnonestetiikka. Julkaisussa: Kinnunen, A. ja Sepänmaa, Y. (toim.). *Ympäristöestetiikka.* Suomen estetiikan seuran vuosikirja. *Gaudeamus, Mänttä.* s. 35-56.
- Lindhagen, A. & Hörnsten, L. 1998. Changes in Forest Recreation between 1977 and 1997 - A Study of Public Preferences and Behavior in Sweden. Julkaisussa: *Proceedings of AISF-EFI International Conference on Forest Management in Designated Conservation & Recreation Areas, 7-11 October 1998, Florence, Italy.* s. 105-114. University of Padua Press.
- Pouta, E. & Sievänen, T. 2001. Virkistyskäytön kysyntä. Julkaisussa: Sievänen, T. (toim.). *Luonnon virkistyskäyttö 2000. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 802. s. 32-76.
- Savolainen, R. & Kellomäki, S. 1981. Metsän maisemallinen arvostus. *Acta Forestalia Fennica* 170.
- Sievänen, T. 1995. Reittiharrastaminen Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 577. 75 s. + liitteet.
- Ulrich, R.S. 1986. Human Responses to Vegetation and Landscapes. *Landscape and Urban Planning* 13: 29-44.
- Wästerlund, I. 1989. Hur påverkar skogens skötsel förekomsten av storsvamparnas fruktkroppar. *Svensk Bot. Tidskr.* 83: 103-112.
- Wästerlund, I. & Ingelög, T. 1981. Fruit body production of larger fungi in some young Swedish forests with special reference to logging waste. *Forest Ecology and Management.* 3: 269-294

## Kirjoittajien yhteystiedot

### **Finér Leena**

Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimus-  
keskus  
PL 68, 80101 JOENSUU  
e-mail: leena.finer@metla.fi  
puh. 013 - 251 4040

### **Hynynen Jari**

Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimus-  
keskus  
PL 18, 01301 VANTAA  
e-mail: jari.hynynen@metla.fi  
puh. 09 - 857 051

### **Karjalainen Eeva**

Suomen Akatemia  
PL 99, 00501 HELSINKI  
e-mail: eeva.karjalainen@aka.fi  
puh. 09 - 774 488 442

### **Korhonen Kari**

Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimus-  
keskus  
PL 18, 01301 VANTAA  
e-mail: k.korhonen@metla.fi  
puh. 09 - 857 051

### **Kukkola Mikko**

Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimus-  
keskus  
PL 18, 01301 VANTAA  
e-mail: mikko.kukkola@metla.fi  
puh. 09 - 857 051

### **Kytö Maarit**

Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimus-  
keskus  
PL 18, 01301 VANTAA  
e-mail: maarit.kyto@metla.fi  
puh. 09 - 857 051

### **Mälkönen Eino**

Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimus-  
keskus  
PL 18, 01301 VANTAA  
e-mail: eino.malkonen@metla.fi  
puh. 09 - 857 051

### **Nurmi Juha**

Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen tutki-  
musasema  
PL 44, 69101 KANNUS  
e-mail: juha.nurmi@metla.fi  
puh. 06 - 874 3211

### **Palosuo Taru**

Euroopan Metsäinstituutti  
c/o Suitian opetus- ja tutkimustila  
02570 SIUNTIO  
e-mail: taru.palosuo@efi.fi  
puh. 09 - 819 08515

### **Saksa Timo**

Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutki-  
musasema  
77600 SUONENJOKI  
e-mail: timo.saksa@metla.fi  
puh. 017 - 513 811

### **Siitonen Juha**

Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimus-  
keskus  
PL 18, 01301 VANTAA  
e-mail: juha.siitonen@metla.fi  
puh. 09 - 857 051

### **Sievänen Risto**

Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimus-  
keskus  
PL 18, 01301 VANTAA  
email: risto.sievanen@metla.fi  
puh. 09 - 857 051

### **Sievänen Tuija**

Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimus-  
keskus Helsingin toimipiste  
Unioninkatu 40 A, 00170 HELSINKI  
email: tuija.sievanen@metla.fi  
puh. 09 - 857 051

### **Wihersaari Margareta**

VTT Energia  
PL 1606, 02044 VTT  
e-mail: margareta.wihersaari@vtt.fi  
puh. 050 - 505 6649







Kannus 2001  
ISBN 951-40-1793-5  
ISSN 0358-4283