

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Metsäteknologian tutkimusosasto

6/1976

METSÄHAKETUKSEN TUOTOSTUTKIMUKSISTA
Kriittinen tarkastelu

Markku Mäkelä

1976-12-15

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Metsäteknologian osasto

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
1. Haketustulosten esittäminen	3
2. Hakkeen puuaineen tiheyden määrittäminen	6
3. Kokopuuhakkeen tiheys	8
31. Mänty	8
32. Kuusi	10
33. Koivu	11
34. Harmaaleppä	12
4. Hakkuutähdehakkeen tiheys	12
5. Esimerkki hakkeen tiheyden käyttämisestä	15
6. Tulosten hyödyntäminen	16

KIRJALLISUUTTA

1. HAKETUSTULOSTEN ESITTÄMINEN

Suomessa ollaan vähitellen omaksumassa metsähakkeen käyttö metsäteollisuuden lisäraaka-aineena. Tämä on aiheuttanut metsätyötieteellisiin korjuututkimuksiin mittausongelman. Aikaisemmin korjuututkimuksissa käsitelty puutavara oli pölkkyyinä, joista tutkimustulosten perusteella tiedettiin tarkkaan irtotilavuuden ja kiintotilavuuden välinen suhde eri puutavaralajeilla. Hakkeena tapahtuvassa korjuussa ovat ainoat helposti mitattavat suuret irtotilavuus sekä tuorepaino, joista jälkimmäisen mittaus vaatii autovaa'an. Lisäksi on huomattava, että tuorepaino on käsitteenä epämääräinen. Jo kasvavan puun tuoretiheys saattaa muuttua lyhyen ajan kuluessa yli 100 kg/m^3 (12) sään ja muiden tekijöiden vaikutuksesta. Myös puutavaran tuoretiheys muuttuu jatkuvasti. Tuorepaino ei ole siis vakiona pysyvä suure käytännöllisessä puutavaran mittauksessa. Irtotilavuuden heikkoutena on kokopuilla ja hakkuutähteillä erilaisista raaka-aineista ja haketuslaitteista johtuva suuri vaihtelu irtotilavuusyksikön sisältämässä raaka-ainemäärässä.

Tähän mennessä suoritetuissa metsähakkeen korjuututkimuksissa tuotokset on esitetty pääosin irtotilavuusyksikkö kohti. Joissakin tutkimuksissa on tuotokset tämän lisäksi esitetty kiintotilavuudeksi ja/tai kuivamassaksi muunnettuna. Kiintotilavuudet on saatu irtotilavuudesta käyttämällä irtotilavuuden suhdelukuna 0,40, joka on tutkimusten mukaan sahanhakkeen vastaava suhdeluku. Sahanhakkeella voidaan käyttää samaa muuntosuhdetta eri tapauksissa, sillä sekä raaka-aine että haketuslaitteisto on varsin pitkälle samankaltaista.

Suomessa julkaistuja metsähakkeeseen liittyviä tutkimuksia selaillemalla voidaan havaita, että hakkeen kuivamassan määrä irtotilavuusyksikössä on vaihdellut $106...234 \text{ kg/m}^3$ (8, s. 16, 17, s. 4). Jos näin erilaiset hakkeet muunnetaan kiintotilavuusyksiköiksi samalla suhdeluvulla, on siitä aiheutuva virhe vertailuja suoritettaessa suhteellisen suuri, kuten seuraavasta esimerkistä selviää:

Kuvitellussa tutkimusjulkaisussa verrataan kahden haketusyksikön tuotosta, joista koneen A hakkeen kuivamassa irtotilavuutena mitattuna on kuutiometrinä 106 kg/m^3 ja koneen B 234 kg/m^3 . Oletetaan, että tietyssä menetelmässä molempien tuotos on irtotilavuutena mitattuna $20 \text{ m}^3/\text{h}$ ja toisessa menetelmässä vastaavasti $40 \text{ m}^3/\text{h}$. Kun nykyistä käytäntöä noudattaen (= kerroin 0,40) muunnetaan tuotokset kiintotilavuudeksi, saadaan kummankin koneyksikön tuotokseksi ensimmäisessä menetelmässä $8 \text{ m}^3/\text{h}$ ja toisessa vastaavasti $16 \text{ m}^3/\text{h}$. Mikäli hakkureiden hakkeesta ei määritetä (= hyvin yleistä) kuivamassan määrää irtotilavuusyksikössä, on edellä esitetty kaikki se tuotostieto, mikä tutkimusjulkaisussa tullaan esittämään. Tulos on siis, että koneiden tuotokset ovat yhtä suuret. Mikäli kuitenkin tutkimuksessa on mitattu hakkureiden tekemän hakkeen kuivamassa irtotilavuusyksikössä, voidaan tuloksena esittää myös aikayksikössä haketetun puumäärän kuiva massa. Tällöin ensimmäisessä menetelmässä koneen A tuotos on $2,1 \text{ t/h}$ ja koneen B tuotos $4,7 \text{ t/h}$. Vastaavat tuotokset toisessa menetelmässä ovat $4,2$ ja $9,4 \text{ t/h}$ eli kone B on tehnyt molemmissa menetelmissä haketta kuivana-massana mitattuna 220 % enemmän kuin kone A. Esimerkissä on käytetty tähän mennessä mitattujen painojen ääriarvoja, jotta tilanne tulisi esiin mahdollisimman räikeänä.

Seuraavassa on otettu vastaava vertailu eräästä tutkimusjulkaisusta (10, s. 14).

	Menetelmä	
	A	B
Kokonaiskustannus		
mk/i- m^3	14,54	16,22
mk/ m^3	36,35	40,55
mk/kuivattonni	112,71	104,62

Menetelmä A on edullisempi B:tä irtotilavuutena ja kiintotilavuutena hakkeen määrää mitattaessa, kun taas tilanne on päin vastoin kuivana massana mitaten, vaikka kiintotilavuuden ja kuivan massan yksiköiden tulisi olla vakioita. Tämä käytännöstä otettu esimerkki osoittaa, että nykyistä muuntomenetelmää käytettäessä eri hakkureihin perustuvien korjuuketjujen välinen edullisuus riippuu siitä, millä yksiköillä haluaa asiaa tarkastella.

Kolmantena esimerkkinä esitetään oletettu tilanne, jossa kolme eri hakkuria hakettaa samasta (mänty-)kokopuuraaka-aineesta haketta, jonka kuivamassan ja irtotilavuuden suhde on hakkurista johtuen jokaisella yksiköllä erilainen. Olkoon se koneella A 130 kg/m^3 , koneella B 150 kg/m^3 ja koneella C 170 kg/m^3 . Erot hakkeessa voivat johtua siitä, että hakkureiden syöttö-, leikkaus- ja puhalluslaitteet ovat erilaiset. Kokopuuhakkeen puuaineen (= puu + kuori + neulaset) kuiva-tuoretiheydeksi oletetaan 380 kg/m^3 . Seuraavan asetelman laadinnassa on lähdetty siitä, että pystysarakkeilla ovat hakkureiden aikayksikössä tekemän hakkeen kuivamassat yhtä suuret. Vastaavat tuotokset on esitetty asetelmassa aikayksikössä haketetun raaka-aineen irtotilavuutena.

	Haketustuotos, m^3/h						
Kone A	10	20	30	40	50	60	70
Kone B	9	17	26	35	43	52	61
Kone C	8	15	23	31	38	46	54

Asetelma osoittaa, että kun kuivamassana ilmaistut tuotokset ovat samat, poikkeavat irtotilavuutena esitetyt tuotokset varsin runsaasti toisistaan. Esimerkiksi kun koneen A irtotilavuutena laskettu tuotos on $50 \text{ m}^3/\text{ha}$, ovat vastaavat tuotokset koneella B $43 \text{ m}^3/\text{h}$ ja koneella C $38 \text{ m}^3/\text{h}$.

Vertailuongelma ei poistu sillä, että itse tutkimusjulkaisussa ei vertailla eri koneisiin perustuvia korjuuketjuja. Tuotostutkimusten suurin anti on koneen yleisesittelyn lisäksi nimenomaan antaa lukijalle hänen tarvitsemansa perustietous eri vaihtoehtojen vertailemiseksi.

Edellä esitetty osoittanee, että asiantilan parantamiseksi tulisi tehdä jotain. Eräs mahdollisuus on esittää hakkeena korjuuta koskevissa tutkimuksissa aikayksikkötuotos hakkeen kuivana massana. Tämä lienee yksinkertaisin vaihtoehto, mutta sen haittapuolena on käytännön korjuutyötä suorittavien henkilöiden (= tutkimusten tärkein kohderyhmä) asenteet sellaista mittayksikköä kohtaan, jota he eivät itse pysty mittaamaan. Lisäksi kuivamassana tapahtuvaan mittaukseen vaikuttaa haketettavan

puun tiheys. Esimerkiksi leppäkokopuuta täytyy kiintomittana mitaten olla huomattavasti enemmän kuin mäntykokopuuta samaa kuivamassayksikköä kohti. Näin ollen aikayksikkö tuotos lienee parasta ilmoittaa hakkeen kiintotilavuutena. Jotta tuotostulokset voitaisiin esittää tällä yksiköllä, on tunnettava kyseisen hake-erän kuivanmassan ja irtotilavuuden suhde sekä hakkeen kuiva-tuoretiheys. Edellinen on mitattavissa työmaakohtaisesti kuorman punnituksen ja kosteusnäytteen avulla. Jälkimmäiseen voidaan määritellä eri tapauksiin sopivat arvot.

Jotta esitettyyn järjestelmään voitaisiin siirtyä, esitetään tässä julkaisussa kokopuu- ja hakkuutähdehakkeen tiheyden laskentamenetelmä sekä käytännön korjuutyössä kysymykseen tuleville hakelaaduille valmiiksi lasketut tiheysarvot.

2. HAKKEEN TIHEYDEN MÄÄRITTÄMINEN

Haketiheydellä tarkoitetaan vakiintuneessa kielenkäytössä yhden irtotilavuutena mitatun kuutiometrin sisältämää puumäärää V_k/V_i , jossa V_k = kiintotilavuus ja V_i = irtotilavuus. Tästä käsitteestä on erotettava hakkeen tiheys, jolla tässä tutkimuksessa tarkoitetaan kuivan puu-, kuori- ja neulasaineen määrää kiintotilavuusyksikössä. Hakkeen tiheys määritetään yleensä mittamalla ensin hakepalojen tilavuus tuoreena (yleensä veteen tms. upottamalla) ja sen jälkeen punnitsemalla samat palat absoluuttisen kuivina. Massan ja tilavuuden suhde on hakkeen puuaineen kuiva-tuoretiheys tai lyhyesti tiheys. Määrittämismenetelmää on käytetty menestyksellä mm. sahanhakkeen tiheyden määrittämisissä sekä kokeiltu myös kokopuuhakkeelle. Menetelmä on kokopuuhakkeelle teknisesti käyttökelpoinen, mutta se soveltuu huonosti hakkeen pienemmille jakeille (13), joiden osuus kokopuuhakkeesta voi olla varsin huomattava. Kun tämä sekä kokopuu- ja hakkuutähdehakkeen raaka-aineen monilaatuisuus on tiedossa, lähdettiin tässä selvityksessä määrittämään kokopuu- ja hakkuutähdehakkeen tiheys raaka-aineen eri aineosien tiheyksistä sekä niiden määristä yleisimmin korjuussa kysymykseen tulevilla hakelaaduilla.

Laskelmissa käytettiin seuraavia lähtötietoja:

- runkokuun puuaineen tiheys, kg/m^3
- + mänty = $333,8 + 1,759x_1 - 0,00806x_2$ (2, s. 50)
- + kuusi = $356,5 + 0,390x_1$ (2, s. 50)
- + hieskoivu = $425,3 + 1,565x_1 - 0,00850x_2$ (2, s. 50)
- + harmaaleppä = $338,4 + 0,99x$ (3, s. 18)

jossa x_1 = puun ikä, vuotta

x_2 = puun iän neliö

- latvuspuun tiheys, kg/m^3
- + mänty = 372 (4, s. 48)
- + kuusi = 393 (4, s. 48)

- oksapuun puuaineen tiheys, kg/m^3
- + mänty = 436 (4, s. 48)
- + kuusi = 590 (4, s. 48)
- + koivu = 514 (14, s.235)
- + leppä = 426 (1, s. 51)

- kuoren tiheys, kg/m^3
- + mänty 311 (14, s.235)
- + kuusi 348 (14, s.235)
- + koivu 493 (14, s.235)
- + leppä 430 (1, s. 41, s. 51)

- neulasten tiheys, kg/m^3
- + mänty 373 (1, s. 52)
- + kuusi 353 (1, s. 52)

- eri aineosien määrät

- + kokopuuhakkeen raaka-ainesisältö: julkaisut 6, 8, 9, 10,
16, 20, 21, 22, 23

- + hakkuutähdehakkeen raaka-ainesisältö:
toistaiseksi julkaisematon aineisto, METLA

3. KOKOPUUHAKKEEN TIHEYS

Kokopuuhakkeen tiheyden laskeminen selitetään mäntykokopuun kohdalla. Muilla puulajeilla on käytetty periaatteessa samaa menetelmää. Mahdolliset pienet erot johtuvat saatavissa olleiden tietojen erilaisuudesta.

31. Mänty

Ensimmäinen vaihe hakkeen raaka-aineen tiheyden määrittämisessä oli eri osasten tiheyden etsiminen alan kirjallisuudesta (kohta 2). Kuitupuukokoisen runkopuun tiheyden paras yksittäinen selittäjä on kaikilla kokopuuhaketuksessa kyseeseen tulevilla puulajeilla puun ikä (2, s. 49, 3, s. 18). Niinpä männyn runkopuun tiheys on laskettu kaavalla (4, s. 50).

$$y = 333,8 + 1,759x_1 - 0,00806x_2 \quad , \quad \text{jossa}$$

$$y = \text{tiheys, kg/m}^3$$

$$x_1 = \text{puun ikä, vuotta}$$

$$x_2 = \text{puun iän neliö}$$

Tiheydeksi saadaan kaavasta 20 vuoden ikäisellä puulla 366 kg/m^3 ja vastaavasti 30-vuotiaalla 379 kg/m^3 , 40-vuotiaalla 391 kg/m^3 ja 50-vuotiaalla 402 kg/m^3 . Männyn oksapuun keskimääräinen tiheys on 436 kg/m^3 (4, s. 48), kuoren 311 kg/m^3 (14, s. 235) ja neulasten 373 kg/m^3 (1, s. 51). Kuoren tiheytenä on käytetty havupuilla ja koivulla oksien kuoren tiheyttä. Runkopuun ja oksien kuoren tiheyksien erot (12) ovat varsin pienet, joten tämä ei vaikuta lopulliseen tiheyden arvoon.

Mäntykokopuuhakkeen raaka-aineen jakautumisesta eri komponentteihin on saatavissa jonkinlainen käsitys tutkimusjulkaisuja selaillemalla (6, 10, 20, 21, 23). Niistä voidaan havaita, että tyypillisin mäntykokopuuhakkeen raaka-ainejakauma on puuta 75 %, kuorta 15 % ja neulasia 10 %. Lähinnä kysymykseen tulevat vaihtoehdot ovat suhteet 80 % - 15 % - 5 % ja 70 % - 20 % - 10 %. Haketettavan puuston ikä saattaa vaikuttaa hakkeen raaka-ainejakaumaan. Asiasta ei ole kuitenkaan tehty selvityksiä. Seuraa-

vissa tarkasteluissa on lähdetty siitä, että raaka-ainejakauma on puuston iästä riippumaton annettu vakio. Jokaiselle edellä esitetylle raaka-ainejakaumalle on laskettu omat hakkeen tiheydet.

Raaka-ainejakaumasta saadaan tietää suoraan kuoren ja neulasten määrä sekä puuaineen kokonaismäärä. Puuaineen jakautuminen runko- ja oksapuun kesken saatiin selville seuraavasti: Julkaisun 4 sivulla 39 on taulukko männyn maanpäällisen osan kuiva-aineen jakautumisesta puuaineen, kuoren ja neulasten kesken. Kohdasta "Etelä-Suomi, latvussuhde 41...60 %, puun koko alle 10 cm" saadaan runkopuun ja oksapuun välinen suhde. Kun puun käyttöosa on 100, (88 puuta, 12 kuorta), on latvan (= runkopuuta) puuainemäärästä 9,9 ja oksien puuaine 10,9. Oksapuun määrästä vähennetään oletettuna korjuutappiona 10 %. Näin saatava runko-/ oksapuusuhdetta [(runkopuu+latvus)/oksapuu] on käytetty hyväksi jaettaessa hakkeen sisältämä puuainemäärä runko- ja oksapuun kesken.

Kohdepuuston valinnan vaikutusta runko-/oksapuusuhteeseen ja sitä kautta lopulliseen hakkeen tiheyteen kokeiltiin laskemalla hakkeen tiheys myös vaihtoehdoilla "Etelä-Suomi, latvussuhde 61...80%, puun koko alle 10 cm" ja "Etelä-Suomi, latvussuhde 41...60%, puun koko 11...15 cm" (4, taulukko s. 39). Muutokset aiheuttivat osaan tiheyksistä vain yhden kg/m^3 :n eron.

Kun tiedetään eri osasten tiheydet ja raaka-ainesuhteet voidaan laskea kokopuuhakkeen tiheydet (kg/m^3) eri raaka-ainevaihtoehdoilla seuraavasti:

Raaka-ainejakuma: Puuta 70 %, kuorta 20 %, neulasia 10 %

	Puun ikä, vuotta							
	20		30		40		50	
	Osuus %	Tiheys kg/m^3	Osuus %	Tiheys kg/m^3	Osuus %	Tiheys kg/m^3	Osuus %	Tiheys kg/m^3
Runkopuu	64	366	64	379	64	391	64	402
Oksapuu	6	436	6	436	6	436	6	436
Kuori	20	311	20	311	20	311	20	311
Neulaset	10	373	10	373	10	373	10	373
Yhteensä	100	360	100	368	100	376	100	383

Raaka-ainejakauma: Puuta 75 %, kuorta 15 %, neulasia 10 %

	Puun ikä, vuotta							
	20		30		40		50	
	Osuus %	Tiheys kg/m ³	Osuus %	Tiheys kg/m ³	Osuus %	Tiheys kg/m ³	Osuus %	Tiheys kg/m ³
Runkopuu	68	366	68	379	68	391	68	402
Oksapuu	7	436	7	436	7	436	7	436
Kuori	15	311	15	311	15	311	15	311
Neulaset	10	373	10	373	10	373	10	373
Yhteensä	100	363	100	372	100	380	100	388

Raaka-ainejakauma: Puuta 80 %, kuorta 15 %, neulasia 5 %

	Puun ikä, vuotta							
	20		30		40		50	
	Osuus %	Tiheys kg/m ³	Osuus %	Tiheys kg/m ³	Osuus %	Tiheys kg/m ³	Osuus %	Tiheys kg/m ³
Runkopuu	73	366	73	379	73	391	73	402
Oksapuu	7	436	7	436	7	436	7	436
Kuori	15	311	15	311	15	311	15	311
Neulaset	5	373	5	373	5	373	5	373
Yhteensä	100	363	100	372	100	381	100	389

Lasketut hakkeen tiheydet osoittavat, että haketettavien puiden ikä vaikuttaa huomattavan paljon hakkeen tiheyteen. Tämä johtuu puun iän vaikutuksesta mäntyrunkopuun tiheyteen. Kokopuuhakkeen raaka-ainejakauma ei sen sijaan vaikuta suuresti hakkeen tiheyteen. Mäntykokopuuhake painaa tapauksesta riippuen 3...19 kg/m³ vähemmän kuin vastaavan ikäinen mäntykuitupuu.

32. Kuusi

Kuusikokopuuhakkeen tiheys määritettiin aivan samoin kuin mäntykokopuuhakkeella. Laskennassa käytetyt tiedot on esitetty kohdassa 2. Kuusella tyypillisin hakkeen raaka-ainejakauma on 60 % puuta, 15 % kuorta ja 25 % neulasia (6, 16), Tämän lisäksi tiheys laskettiin myös raaka-ainesuhteilla 50 % - 20 % - 30 % ja 70 % - 10 % - 20 %. Laskenta antoi seuraavat tulokset:

Raaka-ainejakauma, %			Puuston ikä, vuotta			
Puu	Kuori	Neulaset	20	30	40	50
			Tiheys, kg/m ³			
50	20	30	378	379	381	383
60	15	25	384	386	388	390
70	10	20	390	392	394	396

Kuusikokopuuhakkeen tiheyteen on suurin vaikutus hakkeen raaka-ainejakaumalla. Puuston iän vaikutus on vain muutaman kilogramman suuruusluokkaa. Kuusikokopuuhakkeen tiheys on tapauksista riippuen 7...26 kg/m³ suurempi kuin vastaavan ikäisen kuusikuitupuun tiheys.

33. Koivu

Koivukokopuuhakkeen tiheys määritettiin pääpiirteissä samoin kuin männyllä. Suurin ero oli, että hakkeen puuaineen runko-/oksapuusuhteen määrittämisessä jouduttiin turvautumaan huomattavasti suppeampaan aineistoon kuin havupuilla (7, s. 18). Hake oletettiin tehdyksi lehdeettömistä puista. Laskennassa käytetyt arvot on esitetty kohdassa 2. Koivun tyypillisin raaka-ainejakauma on tutkimusjulkaisujen (6, 8, 16, 22, 23) mukaan 80 % puuta ja 20 % kuorta. Tämän lisäksi laskettiin haketiheydet myös raaka-ainesuhteilla 70 % - 30 % sekä 90 % - 10 %. Laskenta antoi seuraavat tulokset.

Raaka-ainejakauma, %		Puuston ikä, vuotta			
Puu	Kuori	20	30	40	50
		Tiheys, kg/m ³			
70	30	470	478	483	488
80	20	467	476	482	487
90	10	464	474	481	487

Koivukokopuuhakkeen tiheyteen vaikuttaa haketettavien puiden ikä ja hakkeen raaka-ainesisältö varsin vähän. Koivukokopuuhakkeen tiheys on tapauksesta riippuen 5...14 kg/m³ suurempi kuin vastaavan ikäisen koivukuitupuun tiheys.

34. Harmaaleppä

Leppäkokopuuhakkeen tiheyden määrittämisessä jouduttiin hakkeen puuaineen runko-/oksapuusuhteen osalta turvautumaan huomattavasti suppeampaan aineistoon kuin havupuilla (19, s. 22). Laskelmassa käytetty kuoren tiheys saatiin ottamalla huomioon runkopuun ja oksien kuoren tiheydet runko-/oksapuusuhteessa. Leppäkokopuuhakkeen tyypillisin raaka-ainejakauma on tutkimusjulkaisujen (6, 9, 21, 22) mukaan 85 % puuta 15 % kuorta. Lisäksi laskettiin haketiheydet raaka-ainesuhteille 75 % - 25 % sekä 95 % - 5 %. Laskenta antoi seuraavat tulokset:

Raaka-ainejakauma, %		Puuston ikä, vuotta			
Puu	Kuori	20	30	40	50
		Tiheys, kg/m ³			
75	25	383	390	396	403
85	15	378	385	392	399
95	5	371	379	387	395

Haketettavan puuston iän kasvaessa leppäkokopuun tiheys kasvaa. Hakkeen raaka-ainejakaumassa kuoren osuuden kasvaminen suurentaa hakkeen tiheyttä. Leppäkokopuuhake on tapauksesta riippuen 7...25 kg/m³ tiheämpää kuin vastaavan ikäinen leppäkuitupuun.

4. HAKKUUTÄHDEHAKKEEN TIHEYS

Käytännön korjuutyössä kyseeseen tulevan hakkuutähdehakkeen puulajisuhteet ja raaka-ainesisältö vaihtelevat melkoisesti korjuukohteiden ja ajankohdan mukaan. Kohteiden puulajisuhteet voivat teoriassa olla minkälaiset tahansa, mutta käytäntö on osoittanut, että korjattavaksi tulevat hakkuutähdetyömaat ovat kuusivaltaisista. Laskelmiin on otettu kaksi esimerkkileimikkoa, joista ensimmäisen puulajisuhteet ovat 70 % kuusta, 25 % mäntyä ja 5 % koivua ja vastaava suhde on toisessa 85 % - 10 % - 5 %.

Hakkuutähdehakkeen raaka-ainejakauma vaihtelee melkoisesti riippuen haketettavan tavaran tuoreudesta. Tuoreena ovat lähes kaikki neulaset mukana. Kuivassa tavarassa neulaset sen sijaan jäävät yleensä maastoon keräilyvaiheessa. Haketiheydet laskettiin hakkuutähdehakkeille, joiden raaka-ainejakauma oli (puu % - kuori % - neulas %) 70 % - 25 % - 5 %, 60 % - 30 % - 10 %, 50 % - 30 % - 20 % sekä 40 % - 30 % - 30 %. Kahden ensimmäisen hakkuutähdetä voidaan luonnehtia kuivaksi ja kahden jälkimmäisen vastaavasti tuoreeksi.

Hakkuutähdehakkeen tiheyden laskentamenetelmä esitetään seuraavassa puulajisuhteella 70 % - 25 % - 5 %. Toisen puulajisuhteen hakkeen tiheyksistä esitetään vain laskentatulokset.

Ensimmäinen tehtävä hakkuutähdehakkeen tiheyden laskemiseksi oli kerätä eri osasten tiheydet (kohta 2). Tämän jälkeen oli selvittävä tyypillisen hakkuutähdeäyömaan hakatun runkopuun puulajisuhteet (15, liite 1) sekä hakkeen raaka-ainesisältö. Runkopuun puulajisuhteet eivät ole samat kuin hakkuutähdeäyömaan määräsuhteet, johtuen puulajien erilaisista hakkuutähdeäyömäistä. Puulajittainen runkopuusuhde on muutettu hakkuutähdesuhteeksi olettamalla, että kuusen hakkuutähdeäyömä on hakattuun runkopuumäärään verrattuna 50 %, kun taas männyn ja koivun vastaava prosentti on 25 (4, s. 60., 5, s. 7).

Kun perustiedot oli koottu, oli edessä vielä hakkuutähdeäyöman sisältämän puuaineen latvus-/oksapuusuhteen selvittäminen. Männyllä ja kuusella suhde saatiin julkaisun 4 sivuilla 39 ja 40 olevista taulukoista. Koivulla käytettiin samaa suhdetta kuin männyllä (vrt. 5, s. 7). Laskenta on esitetty seuraavassa:

Hakatun runkopuun puulajisuhteet, kuusi 70 %, mänty 25 %, koivu 5 %

	Raaka-ainejakauma, %				Puu-kuori-neulaset			
	70-25-5		60-30-10		50-30-20		40-30-30	
	Osuus %	Tiheys kg/m ³	Osuus %	Tiheys kg/m ³	Osuus %	Tiheys kg/m ³	Osuus %	Tiheys kg/m ³
Mänty A	4,3	372	3,7	372	3,1	372	2,5	372
B	6,2	436	5,3	436	4,4	436	3,5	436
C	3,8	311	4,5	311	4,5	311	4,5	311
D	0,8	373	1,6	373	3,2	373	4,8	373
Kuusi A	17,8	393	15,3	393	12,7	393	10,2	393
B	39,6	590	33,9	590	28,3	590	22,6	590
C	20,5	348	24,6	348	24,6	348	24,6	348
D	4,2	353	8,4	353	16,8	353	25,2	353
Koivu A	0,9	470	0,7	470	0,6	470	0,5	470
B	1,2	514	1,1	514	0,9	514	0,7	514
C	0,7	493	0,9	493	0,9	493	0,9	493
Yhteensä	100,0	461	100,0	446	100,0	430	100,0	415

A = latvuspuu

B = oksapuu

C = kuori

D = neulaset

Kun hakatun runkopuun puulajisuhteet ovat 85 % kuusta, 10 % mäntyä ja 5 % koivua, oli hakkeen tiheys seuraava.

Raaka-ainejakauma, %			Tiheys kg/m ³
Puu	Kuori	Neulaset	
70	25	5	466
60	30	10	450
50	30	20	434
40	30	30	418

Tuloksista voidaan todeta, että hakkeen tiheys nousee puuaineen osuuden suurentuessa. Puulajisuhteiden vaikutuksesta voidaan todeta, että kuusen osuuden kasvaminen nostaa hieman haketiheyttä.

Molemmat johtuvat kuusen oksapuun muita puulajeja suuremmasta tiheydestä. Hakkuutähdehake on huomattavasti tiheämpää kuin kuusi- ja mäntykokopuuhake, jota se muutoin ominaisuuksiltaan lähinnä muistuttaa. Koivukokopuuhake on sen sijaan tiheämpää kuin hakkuutähdehake.

5. ESIMERKKI HAKKEEN TIHEYDEN KÄYTTÄMISESTÄ

Kun tunnetaan kokopuu- ja hakkuutähdehakkeen tiheydet, voidaan metsähakkeen korjuuta koskevissa tuotostuloksissa siirtyä myös todellisten kiintotilavuuskohtaisten tuotosten esittämiseen irtotilavuutena ja kuivana massana ilmoitettujen tuotosten lisäksi. Seuraavassa käytetään esimerkkinä kohdassa 1 sivulla 4 ollutta julkaisusta 10 (s. 14) otettua tapausta, jossa vertailaan menetelmien A ja B kokonaiskustannuksia toisiinsa. Vertailussa tarvittavat tiedot ovat seuraavat:

Menetelmä A: - puulaji mänty

- puuston ikä n. 30 vuotta

- hakkeen irtotilavuutena mitattu massa 129 kg/m^3

- hakkeen raaka-ainejakauma puuta 80 %,
kuorta 15 % ja neulasia 5 %

Menetelmä B: - puulaji mänty

- puuston ikä n. 50 vuotta

- hakkeen irtotilavuutena mitattu massa 155 kg/m^3

- hakkeen raaka-ainejakauma puuta 80 %,
kuorta 15 % ja neulasia 5 %.

Hakkeen puuaineen tiheydeksi saadaan edellä esitetyillä perusteilla menetelmässä A 372 kg/m^3 ja menetelmässä B 389 kg/m^3 . Näin ollen kiintotilavuutena mitattu kuutiometri sisältää menetelmässä A 2,9 ja menetelmässä B 2,5 irtotilavuutena mitattua kuutiometriä. Kun kerrotaan irtotilavuusyksikön kustannus saaduilla kertoimilla, päästään kiintotilavuuskustannukseen, joka on A:ssa $41,88 \text{ mk/m}^3$ ja B:ssä $40,71 \text{ mk/m}^3$. Kuivaa massaa kohti lasketut kustannukset ovat A:ssa $112,71 \text{ mk/t}$ ja B:ssä $104,62 \text{ mk/t}$. Seuraavassa on esitetty esimerkkinä käytetty taulukko julkaisussa 10 olleessa sekä hakkeen puuaineen tiheyksien avulla lasketussa muodossa.

	Julkaisussa 10 (s. 14)		Uudelleen laskettu	
	Menetelmä		Menetelmä	
	A	B	A	B
Kokonaiskustannus				
- irtotilavuusyksikköä kohti, mk/m ³	14,54	16,22	14,54	16,22
- kiintotilavuusyksikköä kohti, mk/m ³	36,35	40,55	41,88	40,71
- kuivaa massaa kohti, mk/t	112,71	104,62	112,71	104,62

Kun vertaillaan menetelmiä sarakkeessa "uudelleen laskettu", on menetelmä A hakkeen irtotilavuutta kohti laskettuna edullisempi kuin menetelmä B. Edullisuus on kuitenkin harhaa, joka johtuu A:n hakkeen pienestä raaka-ainemäärästä irtotilavuusyksikössä. Kun vertailu suoritetaan samansuuruisista yksikköä eli kiintotilavuutta tai kuivaa massaa kohti, todetaan menetelmän B olevan kokonaiskustannuksiltaan edullisemmän kuin menetelmän A. Julkaisussa 10 olevassa muodossa on menetelmä A edullisempi kiintotilavuusyksikköä ja B kuivaa massaa kohti laskettuna.

6. TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN

Seuraavaksi tulee varmasti mieleen kysymys esitettyjen asioiden ja laskettujen tulosten hyödyntämisestä. Tullanko siirtymään hakkeen tiheyden huomioon ottavaan järjestelmään metsähakkeen korjuun tuotostukimuksissa ja mikäli näin tapahtuu, mitä muutoksia käytettyihin tutkimusmenetelmiin se vaatii?

Järjestelmän noudattaminen edellyttää hakkeen kuiva-ainemäärän selvittämistä irtotilavuusyksikössä. Teknisenä suorituksena tämä käsittää hakekuormien punnituksia sekä kosteusnäytteiden ottoa ja käsittelyä. Sitä tehdään jo nykyisin monissa tutkimuksissa, vaikka saatuja tuloksia ei hyödynnetä. Selvittämisen arvoinen asia olisi, onko tietyn haketusyksikön samasta puulajista tekemän hakkeen kuiva massa irtotilavuusyksikössä kohteesta riippumaton vakio. Mikäli näin on, voidaan

eri hakkureiden hakkeelle määrittää puulajikohtaiset irtotilavuutta kohti mitatut kuivat massat, joita käyttämällä välttyään työmaakohtaisista hakkeen mittauksista.

Toinen vaadittava seikka on puuston iän määrittäminen. Se voidaan laskea vaikka puiden kaatoleikkauksesta. Kolmas kohta on hakkeen raaka-ainejakauman selvittäminen. Tämä on jo suuremman tehtävä, joka tarkkaan suoritettuna vaatii seulonnan ennen eri osasten määrän mittaamista, tosin ilman seulontaakin päästäneen laskelmissa tarvittavaan tarkkuuteen. Hakkeen raaka-ainejakauma voitaneen tosin ilman kovin suurta virhettä sopia puulajikohtaiseksi vakioksi metsähakkeen korjuututkimuksia suorittavien tutkimuslaitosten yhteisellä päätöksellä.

KIRJALLISUUTTA

1. GISLERUD, OLOF 1974. Heltreutnyttelse. II. Biomasse og biomasseegenskaper hos tynningsvirke av gran, furu, bjørk og or. NISK Rapport 6/74.
2. HAKKILA, PENTTI 1966. Investigation on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 61.5.
3. - " - 1970. Basic density, bark percentage and dry matter content of grey alder. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 71.5.
4. - " - 1971. Coniferous branches as a raw material source. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 75.1.
5. - " - 1972. Oksaraaka-aineen korjuumahdollisuudet Suomessa. Folia Forestalia 159.
6. - " - 1976. Kokopuuhakkeen lajittelu. Suomen Itsenäisyyden juhluvuoden 1967 rahasto. Moniste.
7. - " - , KALAJA, HANNU ja MÄKELÄ, MARKKU 1975. Kokopuunkäyttö pienpuuongelman ratkaisuna. Folia Forestalia 240.
8. - " - ja MÄKELÄ, MARKKU 1975. Pallarin vesakkoharvesteri, Folia Forestalia 249.
9. KALAJA, HANNU 1975. PH 2 palstahakkuri harmaalepikon avohakkuussa. Metsäntutkimuslaitos. Moniste.
10. - " - ja SALAKARI, MARTTI 1976. Kokopuun haketus AST-hakkurilla. Metsäntutkimuslaitos. Moniste.
11. KÄRKKÄINEN, MATTI 1976. Havutukkien kuoren tiheys ja kosteus. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 87.5.
12. - " - 1976. Havutukkien painomittauksen edellytyksiä puutieteelliseltä kannalta. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 89.1.
13. - " - 1976. Kokopuuhakkeen tiheyden määrittäminen. Silva Fennica vol. 10.
14. - " - 1976. Puun ja kuoren tiheys ja kosteus sekä kuoren osuus koivun, kuusen ja männyn oksissa. Silva Fennica vol. 10.
15. LEHTONEN, EERO ja MÄKELÄ, MARKKU 1976. Hakkuutähteen määrä. Metsäntutkimuslaitos. Moniste.
16. MÄKELÄ, MARKKU 1975. Algol-hakkuri. Metsäntutkimuslaitos. Moniste.

17. MÄKELÄ, MARKKU 1976. Algol-prototyypihakkuri. Metsäntutkimuslaitos. Moniste.
18. - " - 1976. Seulontatuloksia Algol-hakkurin hakkeesta. Metsäntutkimuslaitos. Moniste.
19. SIMOLA, PAAVO 1974. Harmaaleppä ja sen korjuu hakettamalla. Laudaturtyö. Freiburg.
20. - " - 1976. TT 1500 T välivarastohakkurin haketustutkimus. Metsäntutkimuslaitos. Konekirjoite.
21. - " - 1976. TT-välivarastohakkuri 1500 L. Metsäntutkimuslaitos. Moniste.
22. - " - ja MÄKELÄ, MARKKU 1976. Rasiinkaato kokopuiden korjuussa. Folia Forestalia 273.
23. UUSVAARA, OLLI. Julkaisematonta aineistoa kokopuuhakkeesta. Suullinen lausunto 7.12.1976.

