

FOLIA FORESTALIA³⁴²

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1978

PENTTI HAKKILA

PIENPUUN KORJUUN POLTTOAINEEKSI

HARVESTING SMALL-SIZED WOOD FOR FUEL

- 1976 No 264 Yrjö Vuokila: Ensiharvennuskertymä.
Yield from the first thinning.
- No 265 Olavi Huuri: Kallistusilmiö istutusmänniköissä; tiedustelun tuloksia.
Tilting of planted pines; survey results.
- No 266 Proposed tree breeding programme in Finland 1976—1985.
Abbreviation of the report issued by the Tree Breeding Committee (Committee Report 1975:25).
- No 267 Jari Parviainen: Taimien juurten leikkaaminen kasvatuksen ja istutuksen yhteydessä.
Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu.
Root pruning in the nursery and at planting. A study based on literature.
- No 268 Jari Parviainen: Männyn eri taimilajien juuriston alkukehitys.
Initial development of root systems of various types of nursery stock for Scots pine.
- No 269 Heikki Seppälä: Metsäsektorin alueellinen merkitys Suomessa.
Regional importance of the forest sector in Finland.
- No 270 Jaakko Virtanen: Metsänomistaja tienrakennuttajana.
The role of the forest owners in logging roads construction.
- No 271 Pertti Elovirta: Metsätalouden työvoiman tarjonta Suomessa 1945—1974 ja ennuste vuosille 1975—1985.
Forest labour supply in Finland 1945—1974 and a forecast to years 1975—1985.
- No 272 Eero Paavilainen: Typpilannoitus ohutturpeisilla piensararämeillä.
Nitrogen fertilization on shallow-peated *Carex globularis* pine swamps.
- No 273 Paavo Simola ja Markku Mäkelä: Rasiinkaato kokopuiden korjuussa.
Leaf-seasoning method in whole-tree logging.
- No 274 Kullervo Kuusela ja Sakari Salminen: Pohjois-Karjalan metsävarat vuosina 1973—74, Etelä-Pohjanmaan, Vaasan ja Keski-Pohjanmaan vuonna 1974 sekä Kainuun ja Pohjois-Pohjanmaan vuonna 1975.
Forest resources in the Forestry Board Districts of Pohjois-Karjala in 1973—74, Etelä-Pohjanmaa, Vaasa and Keski-Pohjanmaa in 1974, Kainuu and Pohjois-Pohjanmaa in 1975.
- No 275 L. Runeberg: Driftsresultat från Skogsforskningsinstitutets företagsekonomiska forskningsskogar åren 1945—74.
The business economics result from the Forest Research Institute's research forests 1945—74.
- No 276 Pentti Iisalo, Jukka Sorsa ja Paavo Tiihonen: Suomen metsien rakenteen seuranta-menetelmä.
Eine methode zur laufenden Überprüfung der Struktur der Wälder Finnlands.
- No 277 Terho Huttunen: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase vuosina 1973—75.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1973—75.
- No 278 Heikki Juslin: Metsäalan toimihenkilöiden täydennyskoulutustarve.
The need for future education in forestry.
- No 279 Jyrki Raulo ja Erkki Lähde: Ennakkotuloksia rauduskoivun kylvökoikeista Lapissa.
Preliminary results on sowing experiments with *Betula pendula* Roth in Finnish Lapland.
- No 280 Veijo Heiskanen: Havusahatukkien kuorelliset keskusmuotoluvut.
Middle form factors of pine and spruce sawlogs.
- No 281 Yrjö Vuokila: Karsimisen vaikutus männyn ja koivun terveystilaan.
Effect of green pruning on the health of pine and birch.
- No 282 Yrjö Vuokila: Pystypuun kairaus vikojen aiheuttajana.
The boring of standing trees as a source of defects.
- No 283 Leevi Pajunen: Metsurin työvälinekustannukset 1975—1976.
Forest worker's equipment costs 1975—1976.
- No 284 Paavo Juutinen, Timo Kurkela ja Sakari Lilja: Ruohokaskas, *Cicadella viridis* (L.), lehtipuun vioittajana sekä vioitusten sienisaastunta.
Cicadella viridis (L.) as a wounder of hardwood saplings and infection of wounds by pathogenic fungi.
- No 285 Timo Nyrhinen: Kaksivaiheisen metsän inventoinnin koe Lounais-Suomessa.
A test of two-step forest inventory in South-West Finland.
- No 286 Matti Kärkkäinen: Pohjois-suomalaisen koivukuitupuun tilavuusmittauksia.
Volume measurement of birch pulpwood in Northern Finland.
- No 287 Veijo Heiskanen ja Juhani Salmi: Koivutukkien latvamuotoluvut ja yksikkökuutiot.
Top form factors and unit volumes of birch logs.
- No 288 Matti Leikola: Taimitarhamaan lämpöolot muovihuoneessa ja avomaalla.
Soil temperature conditions in plastic greenhouse and in open nursery.
- No 289 Lehikoinen, Tapio: Pohjois- ja Etelä-Suomen väliset kantohintaerot.
Stumpage price differences between Northern and Southern Finland.
- No 290 Heiskanen, Veijo: Tarkistetut havusahatukkien kuorelliset yksikkökuutioluvut.
The checked unit volumes for pine and spruce sawlogs.
- No 291 Uusitalo, Matti: Puun kasvatuksen kulut vuosina 1972—74.
Costs of timber production in Finland in 1972—74.
- No 292 Hakkila, Pentti: Kantopuu metsäteollisuuden raaka-aineena.
Stumpwood as industrial raw material.

FOLIA FORESTALIA 342

Metsäntutkimuslaitos · Institutum Forestale Fenniae · Helsinki 1978

Pentti Hakkila

PIENPUUN KORJUU POLTTOAINEEKSI

Harvesting small-sized wood for fuel

ODC 333:363:377:831.1
ISBN 951-40-0324-1
ISSN 0015-5543

HAKKILA, P. 1978. Pienpuun korjuu polttoaineeksi. Summary: Harvesting small-sized wood for fuel. *Folia For.* 342:1—38.

Suomen metsäteollisuus ei nykyisin kykene jalostamaan kaikkea tarjolla olevaa lyhytkuituista pinopuuta. Lisäksi metsiin jää markkinakelvotonta pienpuuta ja metsätähdettä, joka lämpöarvoltaan vastaa vuosittain 7,5 milj. ekvivalenttista öljyntonnia. Öljyn hinnan kohotessa puun kilpailuasema vaihtoehtoisena energian lähteenä on paranemassa. Heikkolaatuisen puun polton lisääminen merkitsee Suomen oloissa valuuttamenojen supistumista, työpaikkojen lisääntymistä, metsien metsänhoidollisen tilan paranemista, kriisiajan energiahuollon helpottumista sekä ilman rikkipäästöjen vähenemistä.

Polttopuun käytön kasvun esteenä ovat polttolaitteitten puute ja korjuumenetelmien kehittymättömyys. Tässä katsauksessa kuvataan pinopuun, kokopuuhakkeen, hakkuutähdehakkeen ja kantopuun korjuumenetelmiä polttoainekäytön kannalta. Huomiota kiinnitetään tekniikkaan, työn tuottavuuteen, kustannuksiin sekä saatavissa oleviin puumääriin ja niiden energia-arvoon.

The Finnish forest industry is unable today to process all the short-fibred cordwood available. In addition, unmerchantable small-sized trees and logging residues are left in the forest. Their fuel value corresponds yearly to 7.5 million tons of oil. The competitive position of wood as an alternative source of energy is improving as the price of oil rises. Increasing the burning of wood of poor quality means in Finnish conditions reducing foreign currency expenditure, creating jobs, improvement of the silvicultural condition of forests, easing the energy supply during periods of crisis and lowering emissions of sulphur into the air.

An impediment to increasing the utilization of fuel wood is the lack of burning apparatus and the undeveloped state of harvesting methods. This review describes cordwood, whole-tree chip, branch chip and stump wood harvesting methods for fuel utilization in Finland. Attention is paid to technology, productivity of work, costs, the quantities of wood available and their energy value.

ALKUSANAT

Kotimaisen energian osuus primäärienergiamme kokonaiskulutuksesta alkoi 1960-luvulla supistua nopeasti. Tämän kehityksen vahingolliset seuraukset on koettu kouriintuntuvasti syksyn 1973 öljykriisin jälkeen. Energiahuollon turvaaminen nousi erääksi merkittävimmistä kansallisista ongelmistamme.

Energiaomavaraisuuden kohottamista suunniteltaessa puu sai aluksi osakseen tuskin lainkaan huomiota. Vasta talouselämäämme viime vuosina ravistelleen syvän laman aikana on myös polttopuun käytön elvyttävä merkitys tiedostettu. Mikäli menekiä vailla olevalle markkinakelvottomalle lehtipinopuulle, pienpuulle ja metsätähteille voitaisiin osoittaa polttoainekäyttöä, se toisi helpotusta maksutase-, työllisyys- ja metsänhoito-ongelmiimme.

Keväällä 1977 asetetun Energiametsätöimikunnan aloitteesta Metsäntutkimuslaitos sai vuonna 1978 määrärahan polttopuun tuotantoa ja korjuuta selvitteleviin tutkimuksiin. Ohjelmassa, joka kohdistuu myös energiaviljelmiin, metsiemme nykyisen polttopuureservin hyödyntäminen näyttlee tärkeää osaa. Puun korjuumenetelmien kehitys tulee olemaan avainasemassa.

Tämä julkaisu pyrkii kartoittamaan polttopuureservimme korjuun menetelmävaihtoehtoja luoden samalla pohjaa alkamassa oleville energiametsätutkimuksille. Vastainen kehitystyö lähtee liikkeelle katsauksen kuvaamista teknisistä ja taloudellisista edellytyksistä. Ne puolestaan perustuvat paljolta kokopuunkäyttöön tähtäävään korjuuteknologiaan, jonka kehittämistä muun muassa Metsäntutkimuslaitos, SITRA, Suomen Akatemia ja teollisuus ovat tukeneet.

Katsausta laatiessani olen saanut arvokasta apua fil.kand. Kaija Kanniselta, mt. Hannu Kalajalta, mh. Martti Salakarilta sekä mh. Paavo Valoselta. Piirroksia on laatinut kuvaamataidon opettaja Pirkko Hakkila. Konekirjoitustyön pääosan on tehnyt rva Aune Rytkönen. Käsikirjoituksen ovat tarkastaneet vt. prof. Pertti Harstela, prof. Olavi Huikari ja metsät.lis. Kalevi Karsisto Metsäntutkimuslaitoksesta sekä mh. Eero Lehtonen ja mh. Olavi Lähtinen VAPOsta.

Esitän parhaat kiitokseni kaikille työssä mukana olleille.

Padasjoella helmikuussa 1978

Pentti Hakkila

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
1. JOHDANTO	5
2. PUU POLTTOAINEENA	7
3. METSIEMME POLTTOPUURESERVIT	10
31. Teollisuuden vaatimukset täyttävä pinopuu polttoainereservinä	11
32. Markkinakelvoton pienpuu ja metsätähde polttoainereservinä	12
4. POLTTOPUUN KORJUUMENETELMÄT	15
41. Halkojen ja rankojen korjuu	15
42. Kokopuuhakkeen korjuu	18
Taustaa	18
Isännän linjan kokopuuhaketus	19
Järeän linjan kokopuuhaketus	22
Leikkuuhakkurimenetelmä	27
43. Hakkuutähdehakkeen korjuu	28
Taustaa	28
Korjuutekniikka	30
Talteenoton mahdollisuudet ja kustannukset	31
44. Kantopuun korjuu	32
Taustaa	32
Korjuutekniikka	33
Talteenoton mahdollisuudet ja kustannukset	34
5. YHTEENVETO	35
KIRJALLISUUSLUETTELO	37

1. JOHDANTO

Taloudellinen kasvu on johtanut energian käytön jyrkkään nousuun. Suomessa, mistä maankuoren fossiiliset polttoaineet puuttuvat, energian saannista ja kustannuksista on kehittynyt vakava kansallinen ongelma. An-kara ilmasto merkitsee suurta lämpöenergi-an kulutusta, ja teollisuutemme energiantar-ve tuoteyksikköä kohti on korkea.

Energiantarve tyydytettiin Suomessa pit-kään puuta polttamalla ja vesivoimalla. Ku-lutuksen kasvaessa ja puun ohjautuessa yhä enemmän teollisuuteen alettiin turvautua ul-komaisiin polttoaineisiin. Energiaomavarai-suus supistui nopeasti.

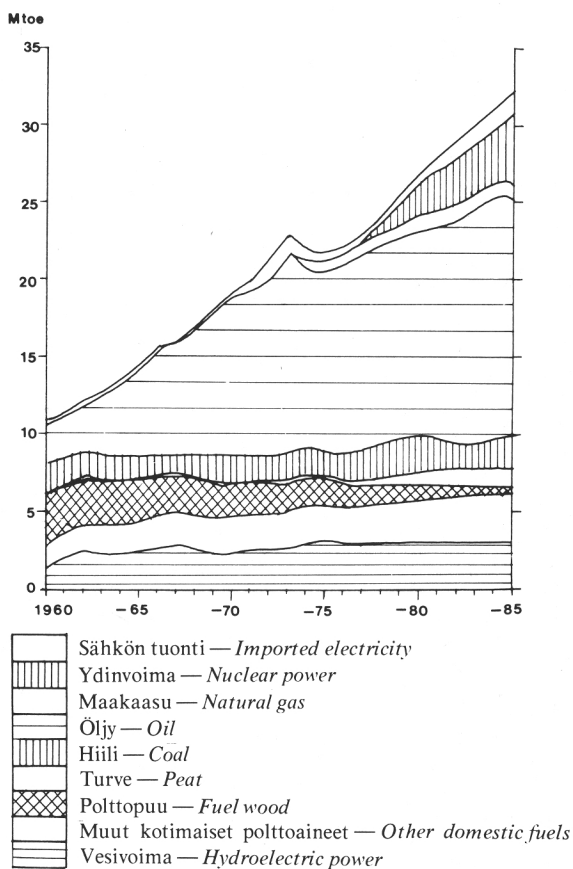
Kansakunnalle on elintärkeätä turvata energian saanti. Öljy ei ole se kansallinen pohja, jolle Suomen energiahuolto voidaan rakentaa. Öljyn runsaaseen käyttöön perus-tuvan taloudellisen kasvun aika on ohi (C a r l s o n ja M ä k i n e n 1978).

Energiapolitiikan neuvottelukunta odot-taa entisen kehityssuunnan primaarienergi-an kokonaiskulutuksessa jatkuvan. Sen en-nusteessa mainittu muitten kotimaisten polttoaineitten ryhmä sisältää polttopuun, teollisuuden jäteliemet, jättepuun, jäteläm-mön ja masuunikaasun (Energia 1975—1985).

Energian lähde	1965	1975	1985
	Osuus, %		
Öljy	39	52	47
Hiili	10	8	8
Maakaasu	—	3	4
Ydinvoima	—	—	15
Tuontisähkö	1	5	3
Ulkomaiset yhteensä	50	68	77
Vesivoima	16	14	9
Turve	0	1	3
Muut kotimaiset	34	17	11
Kotimaiset yhteensä	50	32	23
	Milj. toe/v		

Energian kulutus yht. 14.3 21.6 32.0

Ennusteen mukaan polttopuun käyttö on ensi vuosikymmenen puolivälissä enää mur-to-osa nykyisestä (kuva 1). Tämän taustalla



Kuva 1. Primaarienergian kokonaiskulutus Suomessa miljoonina ekvivalenttisina öljytonneina (Energia 1975—1985)

Figure 1. Total consumption of primary energy in Finland in million toe (Energia 1975—1985)

nähdään metsäteollisuuden raaka-aineen tarpeen kasvu, joka jättää vain niukalti sijaa puun käytölle kiinteänä polttoaineena. Puun ja siitä massaa valmistettaessa sivutuotteena syntyvän jäteliipeän merkitys energialähteenä oli kauppa- ja teollisuusministeriön energia-tilastojen mukaan vuonna 1976 seuraava:

	Milj. toe *
Kiinteistöjen polttopuu	1.5
Teollisuuden jättepuu	0.4
Jäteliemi	1.2
Yhteensä	3.1

Energian omavaraisuusasteen kohottamiseksi valtioneuvosto asetti syksyn 1973 öljyriisiin jälkeisessä tilanteessa vuotuiseksi polttoturpeen tuotantotavoitteeksi 20 milj. m³, joka lämpöarvoltaan vastaa 2,0 milj. ekvivalenttista öljytonnia. Ohjelman edellyttämät perusinvestoinnit laskettiin vuoden 1973 kustannustasolla 300 milj. markaksi. Puun polttoainekäyttöä sen sijaan ei vielä ryhdytty aktiivisesti edistämään, sillä teollisuuden puuraaka-aineen tarve oli edelleen kohoumassa.

Kun öljyn hinta vuosina 1973—1975 nelinkertaistui, myös puun polttoon alettiin jälleen kiinnittää huomiota (vrt. K u u s e l a 1974). Mutta vielä vuonna 1976 valmistuneessa energiapolitiikan neuvottelukunnan kannanotossa puu miltei unohdetaan (Energia 1975—1985).

Metsissämme on kuitenkin huomattava markkinakelvottoman pien- ja jätepuun biomassareservi. Vain hieman yli puolet kaadetun puuston biomassasta hyödynnetään. Seuraava asetelma pohjautuu vuoden 1980 perussuunnitteen mukaiseen 58,5 milj. m³:n runkopuun hakkuusuunnitteesen.

	Hakkuusuunnite	
	Milj. m ³ /v	%
Metsästä korjattu puu		
Runkopuu kuoretta	47,1	50
Runkopuun kuori	6,7	7
Metsään jäävät tähteet		
Hukkarunkopuu	4,7	5
Oksat viheraineineen	22,3	24
Kannot ja juuret	13,0	14
Yhteensä	93,8	100

Varsinaisten metsätähteitten lisäksi on kokonaan hakkuutoiminnan ulkopuolella markkinakelvottomia pienpuuvoittoisia leimikoita, jotka niinkään muodostavat potentiaalisen energialähteen. Biologiset ja tekniset tekijät rajoittavat kyllä talteenottoa, mutta reaalisesti korjattavissa olevan pien- ja jätepuun määrä on tästä huolimatta suuri, mikäli puu kustannuksiltaan kykenee kilpailemaan muiden polttoaineitten rinnalla.

Koska metsäteollisuuden ei kannata jalostaa kaikkea tarjolla olevaa lyhytkuituista ja

* Tässä katsauksessa puuta verrataan polttoaineena ensisijaisesti öljyyn. Puusta saatavissa oleva energia ilmoitetaan lämpöarvoltaan (ekvivalenttiseksi) öljytonneiksi muunnettuna. Ekvivalenttisesta öljytonnista käytetään lyhennettä toe.

heikkolaatuista puuta, sen tarpeen ylittävä osuus on käytettävissä energian tuottamiseen. Markkinakelvottoman puun energiakäytöstä koituisi kansantaloudelle lukuisia etuja. Puusta saatava energia ei luonnollisestikaan saa kuitenkaan olla oleellisesti muita vaihtoehtoja kalliimpaa.

1. Kotimaisen polttoaineen käyttö keventää maksutasetta. Energian tuonnin, tuotannon ja käytön vaatimat investoinnit merkitsevät yhteenlaskettuina tuontipanosta, joka nousee lähelle metsäteollisuuden viennin arvoa (K u u s e l a 1977). Miljoonan öljytonnin korvaaminen markkinakelvottomalla puulla säästäisi valuuttaa vuosittain 400 milj. mk:n edestä.
2. Puun polttoainekäyttö merkitsee lama-aikana helpotusta metsäalan työllisyystilanteessa. Miljoonan öljytonnin korvaaminen esimerkiksi kokopuuhaakeella luo menetelmistä riippuen 0,5-1,5 milj. työpäivää.
3. Metsätähteille ja pienpuulle syntyvä menekki edistää tuloa tuottamattomien metsänhoidollisten töitten toteuttamista. Mainittakoon vain hakkuualan viljely, vajaatuottoisten metsien uudistaminen, taimiston hoito sekä ensiharvennukset.
4. Polttopuun käytön lisääntyminen luo turvaa kriisajan energiahuollolle. Jos tyydyttävä korjuu-, kuljetus- ja polttotekniikka sekä riittävä valmiusaste niitten käyttämiseksi ovat olemassa, metsävaramme mahdollistavat tarvittaessa puun polton tilapäisen moninkertaistamisen.
5. Puu on ilmansuojelun kannalta edullinen polttoaine. Ilman pilaantuminen aiheutti vuonna 1972 korroosio- ja materiaalivahinkoina sekä kasvillisuuden ja terveydelisinä haittoina kaikkiaan 1800 milj. mk:n tappiot (Energia 1975—1985). Suurin osa vahingoista liittyi rikkipäästöihin. Raskaassa polttoöljyssä on 2,5, kevyessä polttoöljyssä 0,5 ja puolalaisessa kivihiilessä 0,8-1,0 painoprosenttia rikkiä, kun taas puu on käytännöllisesti katsoen rikitöntä.

Polttopuureservimme hyödyntämisen tiellä on sekä teknisiä että taloudellisia esteitä. Pitkällä tähtäyksellä öljyn hinta kohonnee, jolloin puun kilpailuasema vaihtoehtoisena polttoaineena paranee. Tästä syystä maasamme tulee teknisesti valmistautua siihen, että puun polttoa voidaan tarvittaessa laajentaa maatilataloudessa, kiinteistöissä,

lämpökeskuksissa, teollisuudessa ja voimaloissa.

Kehittämistarve koskee niin käyttö- kuin korjuuteknikkaakin. Polttopuun saannin varmistaminen ja hintatason vakiinnuttaminen tulevat olemaan lämpöhuoltomme tärkeimpiä tehtäviä (Carlson ja Mäkinen 1978). Polttopuun korjuun kehittämistä on kuitenkin aivan viime aikoihin saakka pidetty monilla tahoilla jopa tarpeettomana. Tätä asennetta heijastaa esimerkiksi metsähallituksen puunkorjuututkimuksille rajaa-ma tavoite; "Miten pitkäkuituinen runkopuu saadaan mahdollisimman edullisesti ja taloudellisesti jalostukseen, sahaukseen ja kuiduttavaan teollisuuteen" (Arnkil 1977).

Valtiovalta ryhtyi vuonna 1977 selvittämään puun energiakäytön laajentamisen mahdollisuuksia. Se asetti kaksikin toimikuntaa, joitten on määrä saada työnsä pää-

tökseen kevään 1978 kuluessa; Polttopuutoimikunta ja Energiametsätoimikunta. Edellinen pyrki lähinnä työllisyystilanteen helpottamiseksi ja lehtipinopuuvarastojen supistamiseksi edistämään polttopuun käyttöä välittömästi. Jälkimmäinen taas etsii pitkällä tähtäyksellä puusta kotimaista polttoainetta, joka öljyn saannin ehkä tyrehtyessä auttaisi energiahuoltomme turvaamista. Tähän pyritään toisaalta jo olemassa olevaa markkinakelvotonta puureserviämme hyödyntämällä ja toisaalta nopeakasvuisia lyhytkiertopuulajeja energiaviljelmillä kasvattamalla.

Käsillä oleva katsaus, joka liittyy Energiametsätoimikunnan aloitteesta Metsäntutkimuslaitoksessa käynnistettyyn tutkimusprojektiin, kuvaa polttopuun korjuuteknikan nykytasoa. Julkaisu kartoittaa perustan, jolta kehitystyö on käynnistettävä, ja toisaalta se kokoaa olemassa olevaa tietoutta päätöksentekijäin käyttöön.

2. PUU POLTTOAINEENA

Puu poltetaan perinteisesti kiinteänä. Puun biomassasta voidaan valmistaa myösneste- ja kaasumaisia polttoaineita, mutta taloudellisesti se ei ole vielä kannattavaa. Mikäli öljyn hinta edelleen kohoaa tai sen saanti muutoin vaikeutuu, tilanne saattaa muuttua. Kysymykseen tulevat tietyt biologisen ja lämpökemiallisen jatkojalostuksen vaihtoehdot, joista eräät saattavat tulla taloudellisiksi jo ensi vuosikymmenen puolivälin tienoilla (vrt. Lönnberg 1977, Etala et. al. 1977).

1. Puu hydrolysoidaan entsyymaattisesti tai happokäsittelyn avulla sokereiksi, joista käymisen tietä voidaan edelleen jalostaa suuri joukko kemian ja biokemian tuotteita. Näistä mainittakoon etanoli.
2. Puu hajotetaan korkeassa lämmössä pyrolyysillä hajoittomassa tilassa tai kaasuttamalla vähähappisessa tilassa. Saadaan hiiltä, puukaasua ja tisleitä sekä jatkojalostuksessa edelleen esimerkiksi ammoniakkia ja metanolia.
3. Puu hydrataan katalyytin läsnäollessa korkeassa lämpötilassa ja paineessa. Lopputuotteina saadaan muun muassa synteettistä bensiiniä, öljyä ja kaasua.

Käsillä oleva katsaus kohdistuu korjuun nykuteknikkaan. Puuta käsitellään seuraavassa niin ollen ainoastaan kiinteänä polttoaineena, varsinkin kun käyttömuoto vaikuttaa lopulta varsin vähän korjuutapahtumaan.

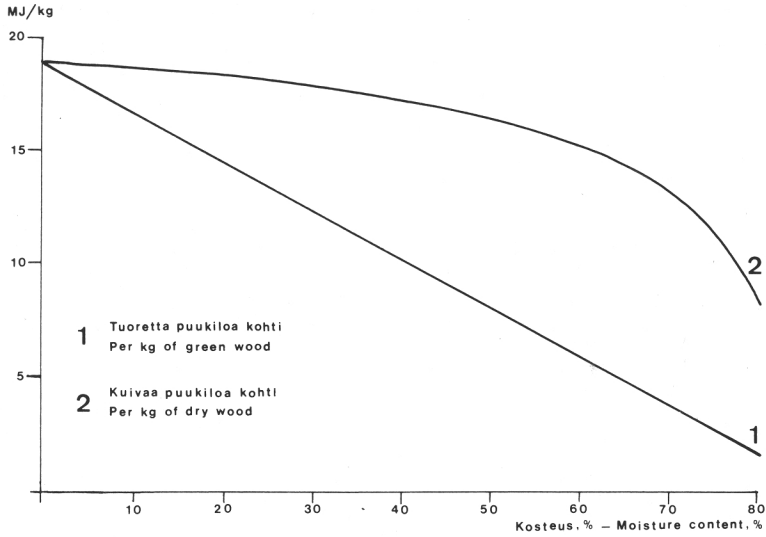
Kun puu palaa, osa syntyvästä lämmöstä

kuluu puussa olevan ja palamisessa lisäksi kehittyvän veden höyrystämiseen. Hyödynnettävissä oleva lämpömäärä on siitä syystä pienempi kuin puun kalorimetrinen energiasisältö itseasiassa näyttäisi edellyttävän. Puun tehollinen lämpöarvo*, jonka pohjalta polttoaineitten vertailu tapahtuu, osoittaa puuta poltettaessa veden höyrystymisen jälkeen jäljelle jäävän lämpömäärän.

Polttoaineen tehollinen lämpöarvo riippuu sen palavan osan kemiallisesta koostumuksesta sekä palamattoman tuhkan ja veden määrästä. Hiilen ja vedyn runsaus merkitsee korkeata lämpöarvoa, kun taas hapen ja typen vaikutus on päinvastainen. Esimerkiksi kivihiiilen puuta korkeampi lämpöarvo perustuu suurempaan hiilipitoisuuteen.

Tuhka pienentää palavan aineen osuutta poltossa. Runsaana esiintyessään se aiheuttaa teknisiä vaikeuksia. Kivihiiilen tuhka sulaa kuonaksi, joka jähmettyessään estää ilman kulkeutumisen arinan raoista. Puun tuhka, jota on vain kymmenes kivihiiilen tuhkamäärästä, ei sulaa poltettaessa vaan varisee arinan läpi tuhkapesään. Kivihii-

* Puun lämpöarvo mitattiin aikaisemmin kaloreina (cal). SI-järjestelmässä energian yksikkö on Joule (J), joka vastaa 0,2389 kaloria. Tässä katsauksessa lämpöarvo ilmoitetaan megajouleina (MJ). Yksi MJ = milj. J.



Kuva 2. Kuoretton puun tehollinen lämpöarvo megajouleina kuivaa ja tuoretta puukiloa kohti kosteudesta riippuen.
 Figure 2. The effective fuel value of bark-free timber in megajoules per kilogram of dry and green wood as a function of moisture content.

tuhka on arvoton jäte, kun taas puun tuhka hivenravinteinen on monipuolinen lannoitusaine.

Lämpöarvoon vaikuttavat monet tekijät (vrt. I. Lehtonen 1977). Ligniinin, pihkan ja uuteaineitten runsaus merkitsee kes-

kimääräistä korkeampaa lämpöarvoa. Esimerkiksi puun ikä saattaa niin ollen vaikuttaa painoyksikön sisältämään energiamäärään. Mutta huomattavasti suurempia eroja on samasta syystä puun eri osien välillä. Seuraavat lukusarjat antavat kuvan harven-

Taulukko 1. Eräitten puutavaralajien tehollinen lämpöarvo kosteudesta riippuen (vrt. Olofsson 1975).
 Table 1. The effective fuel value of certain fuel wood assortments as a function of moisture content (cf. Olofsson 1975).

Puutavaralaji Assortment	Puulaji Species	Kosteus, % — Moisture content, %			
		0	20	40	60
		MJ/kg*			
Kuorellinen pinopuu Unbarked stemwood	Mänty—Pine	19,3	18,7	17,6	15,6
	Kuusi—Spruce	19,1	18,5	17,5	15,5
	Koivu—Birch	19,5	18,9	17,9	15,8
Taimistojen kokopuuhake Whole-tree chips from cleanings	Mänty—Pine	20,5	19,8	18,8	16,8
	Kuusi—Spruce	19,6	19,0	18,0	16,0
	Koivu—Birch	19,6	19,0	18,0	15,9
Harvennusten kokopuuhake Whole-tree chips from thinnings	Mänty—Pine	19,6	19,0	18,0	15,9
	Kuusi—Spruce	19,2	18,6	17,6	15,5
	Koivu—Birch	19,0	18,4	17,4	15,4
Hakkuutähdehake neulasitta Chips from logging residues, without needles	Mänty—Pine	20,4	19,8	18,7	16,6
	Kuusi—Spruce	19,7	19,1	18,1	16,0
	Koivu—Birch	19,7	19,1	18,1	16,0
Hakkuutähdehake neulasineen Chips from logging residues, with needles	Mänty—Pine	20,5	19,9	18,9	16,8
	Kuusi—Spruce	19,8	19,2	18,2	16,2
Kanto- ja juuripuu Stumps and roots	Mänty—Pine	19,5	18,9	17,9	15,9
	Kuusi—Spruce	19,1	18,5	17,4	15,4

* Megajouleina absoluuttisen kuivaa puukiloa kohti — In megajoules per kilogram of absolutely dry wood.

nusleimikon pienikokoisen puuston biomassan eri komponenttien tehollisesta lämpöarvosta puun ollessa absoluuttisen kuivaa (Olofsson 1975).

	Mänty	Kuusi	Koivu
	Lämpöarvo MJ/kg		
Runkopuu	19,2	19,0	19,0
Rungon kuori	19,4	19,8	22,3
Oksat viheraineetta	20,2	19,8	20,3
Neulaset	21,1	19,8	

Puun kosteuden muutokset aiheuttavat vaihtelua puun tehollisessa lämpöarvossa. Veden höyrystäminenhan sitoo osan puun energiasisällöstä. Pääpuulajiemme kuorettomalle runkopuulle voidaan käyttää seuraavia kaavoja (vrt. Heiskanen ja Jokihara 1960), jotka osoittavat tehollisen lämpöarvon (W_{eff}) megajouleina märkinä punnittua puukiloa kohti tuorepainosta mitatusta kosteusprosentista (K) riippuen.

Mänty	$W_{\text{eff}} = 19,34 - 0,218 K$
Kuusi	$W_{\text{eff}} = 18,97 - 0,214 K$
Koivu	$W_{\text{eff}} = 18,88 - 0,213 K$

Taulukko 2. Eräitten puutavaralajien tehollinen lämpöarvo megajouleina kiintokuutiometriä kohti. Puun tilavuus mitattu kaikissa tapauksissa tuoreessa tilassa.

Table 2. The effective fuel value of certain fuel wood assortments in megajoules per solid cubic metre. The volume of wood is measured in all cases in green condition.

Puutavaralaji Assortment	Puulaji Species	Tiheys Basic density, kg/m ³	Kosteus, % — Moisture content, %				Toe/m ³ *
			0	20	40	60	
			MJ/m ³				
Kuorellinen pinopuu Unbarked stemwood	Mänty—Pine	390	7511	7274	6876	6080	,169
	Kuusi—Spruce	380	7266	7034	6646	5871	,164
	Koivu—Birch	490	9555	9256	8756	7757	,215
	Leppä—Alder	360	6840	6626	6268	5553	,154
Harvennusten kokopuuhaake Whole-tree chips from thinnings	Mänty—Pine	385	7542	7307	6916	6129	,170
	Kuusi—Spruce	400	7676	7432	7024	6208	,173
	Koivu—Birch	475	9044	8754	8270	7301	,203
	Leppä—Alder	370	7030	6805	6428	5675	,158
Hakkuutähdehaake neulasitta Chips from logging residues without needles	Mänty—Pine	405	8246	7999	7586	6723	,187
	Kuusi—Spruce	465	9161	8877	8403	7454	,207
	Koivu—Birch	500	9850	9545	9035	8015	,222
Hakkuutähdehaake neulasineen Chips from logging residues with needles	Mänty—Pine	395	8113	7872	7470	6628	,184
	Kuusi—Spruce	425	8424	8164	7731	6864	,190
Kanto- ja juuripuu Stumps and roots	Mänty—Pine	475	9277	8987	8503	7534	,209
	Kuusi—Spruce	435	8296	8030	7586	6699	,187

* Kuutiometrin lämpöarvo ekvivalenttina öljytonneina puun kosteuden ollessa 40 %. — The effective fuel value at 40 % moisture content, toe/m³.

Niissä rajoissa, joissa polttopuun kosteus käytännössä vaihtelee, kosteuden vaikutus puun teholliseen lämpöarvoon on kuvan 2 ylemmän käyrän mukaan verraten pieni. Päinvastaiset käsitykset ovat syntyneet kuvaa 2 vastaavan alemman käyrän virheellisestä tulokinnasta. Viimeksi mainitussahan polttoaineen painossa on puun biomassan lisäksi mukana myös vesi.

Tässä katsauksessa käsiteltäviä puutavaralajeja edustaa parhaiten Olofssonin (1975) tutkimus, johon taulukko 1 pääosiltaan perustuu. Hakkuutähdehakkeen arvot on laskettu siten, että hukkarunkopuun, oksien ja neulasten osuudet vastaavat Etelä-Suomen keskimääräisiä olosuhteita (vrt. Hakkilä 1971).

Polttoainekilon lämpöarvo on korkein hakkuutähdehakteessa sekä taimistojen nuoresta raivauspuusta tehdyssä kokopuu-hakteessa. Tämä johtuu viheraineen, kuoren ja oksien suuresta osuudesta. Männyn lämpöarvo on kuusta ja koivua korkeampi.

Kun tunnetaan kiintokuutiometrin kuiva-

paino, voidaan taulukon 1 pohjalta laskea edelleen eri puutavaralajien lämpöarvo tilavuusyksikköä kohti. Taulukon 2 painoluvut perustuvat aikaisempiin tutkimuksiin runkopuun (Hakkila 1966), kuoren (Hakkila 1967, Kärrkäinen 1976), oksien (Hakkila 1971), neulasten (Gislerud 1974) ja kantopuun (Hakkila 1975) puuaineen tiheydestä sekä vielä julkaisemattomaan pystyputten kuivapainotaulukoita varten kerättyyn aineistoon. Taulukosta puuttuu nuoresta raivauspuusta tehty kokopuuhaake, jonka osalta ei ole saatavissa riittäviä tietoja puuaineen tiheydestä.

Suuren puuaineen tiheyden ansiosta kiintokuutiometrin lämpöarvo on korkea kaikilla koivun puutavaralajeilla. Harmaaleppä puolestaan on muita puulajeja huonompi. Viimeksi mainitun osalta huomattakoon, että puulajikohtaisen tiedon puuttuessa sen kuiva-ainekilon tehollisena lämpöarvona on käytetty kuorettoman koivupuun arvoa 19 MJ/kg.

Taulukon 2 viimeisessä sarakkeessa verrataan kiintokuutiometrin lämpöarvoa raskaaseen polttoöljyyn puutavaralajeittain. Vertailu voidaan tehdä vastaavasti muihin polttoaineisiin, joihin lämpöarvo on seuraava.

	MJ/kg
Turve	20,5—22,5
Ruskohiili	20,2—24,3
Kivihiihi	28,5—33,1
Raskas polttoöljy	40,2—41,1

Kun puun kosteus on 40 % tuorepainosta, kiintokuutiometri polttopuuta vastaa 0,16 — 0,22 tonnia raskasta polttoöljyä. Suhdeluku

muuttuu puun kosteuden mukana. Pääosa uusista polttopuun tavaralajeista poltetaan käytännössä 35-55 %:n kosteudessa. Vain ylivuotisessa halossa kosteus saattaa pudota jopa alle 20 %:n.

Tehollisen lämpöarvon osoittamaa energiamäärää ei saada millään lämmityslaitteella kokonaisuudessaan talteen. Tappioita syntyy seuraavista syistä (Vuorelainen 1958).

- Palamisen savukaasut kuljettavat mukanaan lämpöä.
- Puun kumentuessa kehittyviä kaasuja karkaa palamattomina.
- Tuhkan joukkoon jää palamatonta hiiltä.
- Lämpöä säteilee ja johtuu lämmityslaitteesta tiloihin, joissa se on tarpeetonta.

Polton hyötysuhde osoittaa tehollisesta lämpöarvosta todellisuudessa talteen saatavan osuuden. Tehokkaan öljynpolttolaitteen hyötysuhde nousee pientaloissa 80 ja suurkulutuspaikoissa 85 %:iin. Puulla hyötysuhde on heikompi kuin fossiililla polttoaineella, vastaavasti ehkä 70 ja 75 %. Käytännössä jäädään sekä öljyllä että puulla keskimäärin näitten rajojen alapuolelle.

Mitä kosteampaa puu on, sen pienemmäksi hyötysuhde jää. Kun kosteus nousee 60 %:iin, tasainen palaminen alkaa tuottaa vaikeuksia, ja 70—80 %:n kosteudessa puun lämpösisältö ei riitä enää palamisen ylläpitämiseen. Koska kosteus vaikuttaa sekä lämpöarvoon että polton hyötysuhteeseen, sitä pyritään alentamaan polttopuuta korjattaessa ja varastoitaessa.

3. METSIEMME POLTTOPUURESERVIT

Polttopuuta voidaan saada seuraavista lähteistä, joista kolme ensimmäistä ovat jo ulottuvilla. Energiaviljelmät sen sijaan edustavat vasta tulevaisuuden mahdollisuutta, joka tuskin keventää energiahuoltoamme vielä 1980-luvulla.

1. Arvopuuta kasvatettaessa sivutuotteenä syntyvä heikkolaatuinen puu, jolla ei ole riittävä kysyntää teollisuuden raaka-aineena.
2. Metsäteollisuuden sivutuotteenä saata-

va jalostukseen kehnosti soveltuva puu- ja kuoriaines.

3. Turvetta nostettaessa sivutuotteenä saatava soitten liekopuu.
4. Energiaviljelmillä lyhytkiertoperiaatteella kasvatettava polttopuu.

Puumäärien tarkastelu rajoittuu seuraavassa kohtaan 1 eli metsiemme nykyiseen polttopuureserviin. Muita lähteitä ei niiden merkittävydestä huolimatta tässä käsitellä. Mainittakoon kuitenkin seuraava puuvara-

selvitykseen (1976) perustuva esimerkki, joka antaa kuvan katsauksen ulkopuolelle jäävistä polttopuueristä suurimmasta, metsäteollisuuden kertyvästä kuoresta vuoden 1973 käyttötilanteessa. Tuon ajankohdan jälkeen kuoren poltto on tosin lisääntynyt.

	Milj. m ³ /v.
Metsäteollisuuden kertynyt kuori	4,4
Kuoren teollinen käyttö	0,3
Kuoren poltto	2,2
Käyttämättä jäänyt kuori	1,9

Metsiemme polttopuureservi jakaantuu kahteen osaan. Toisaalta on kysymyksessä massa- ja levyteollisuuden mitat ja laatuvaatimukset täyttävä pinopuu, jonka kysyntä teollisuuden raaka-aineeksi on suhdanteista riippuen ainakin ajoittain riittämätön. Toisaalta polttopuuta saadaan myös markkinakelvottomasta pienpuusta ja metsätähteestä, jolle tähän mennessä ei ole löytynyt menekkiä edes korkeasuhdannetilanteessa. Näitten ryhmien korjuu- ja käyttöongelmat ovat monessakin suhteessa erilaiset.

31. Teollisuuden vaatimukset täyttävä pinopuu polttoainereservinä

Metsätaloutemme tähtää viime kädessä korkealaatuisen saha- ja vaneripuun kasvatamiseen. Tuotantoketjun eri vaiheissa syntyy lisäksi kooltaan pienempää puutavaraa, joka täyttää massa-, levy- ja kemianteollisuuden laatuvaatimukset. Tämä pinopuu on osaksi pitkäkuituista havupuuta, osaksi lyhytkuituista lehtipuuta.

Teollisuus kykenee normaalioloissa jalostamaan kaiken tarjolla olevan kotimaisen havupinopuun. Sitä joudutaan tuomaan myös ulkomailta. Nykyisen laman aikana havupinopuunkin tarve on supistunut, mutta tilanne katsotaan ohimeneväksi. Vuonna 1974 havupuuta käytettiin kiinteistöjen polttoaineeksi vielä 1,4 milj. m³ (Huttunen 1977), mutta vailla mitään käyttöä olevaa puureserviä sen piiristä ei voida enää löytää.

Lehtipinopuun teollinen jalostus oli vielä 1950-luvun alussa varsin vähäistä. Poltto oli miltei yksinomainen käyttömuoto. Lehtipinopuuta jalostava teollisuus laajentui voimakkaasti 1960-luvulla. Vilkastunut kysyntä ko-

hotti hintatasoa, jolloin halpa ja helppokäyttöinen öljy alkoi syrjäyttää puuta polttoaineena. Teollisuuden puuntarve oli niin suuri, että kannettiin huolta lehtipinopuun jatkuvasta saannista pikemminkin kuin sen menekin turvaamisesta. Myös lehtipinopuuta ryhdyttiin tuomaan ulkomailta.

Yleisesti hyväksytty metsäpoliittinen tavoite on ollut korvata lehtipinopuun poltto kansantaloudellisesti edullisemmaksi katsotulla teollisella jalostuksella. Öljyn käyttöön siirryttäessä laitteet on korvattu puulle soveltumattomilla, eikä polttopuun korjuutekniikan kehittämiseen ole kiinnitetty huomiota. Kun sitten lama on iskenyt ankarasti lehtipinopuuta jalostavaan teollisuuteen, puun menekin supistumista ei ole enää voitu korvata polttoa lisäämällä. Tämä nähdään seuraavista Metsäntutkimuslaitoksen metsäekonomian tutkimusosaston arkistoaineistoon perustuvista lukusarjoista, joissa ei ole mukana ulkomailta tuotua puuta.

Lehtipinopuun käyttö, milj. m³/v

	Polttopuu	Ainespuu	Yhteensä
1956	10,87	0,35	11,22
1958	10,63	0,53	11,16
1960	10,57	0,86	11,43
1962	10,16	1,79	11,95
1964	9,45	2,68	12,13
1966	8,99	3,83	12,82
1968	8,41	4,32	12,73
1970	7,15	4,68	11,83
1972	6,54	4,73	11,27
1974	5,98	2,29	8,27
1976*	5,50	1,89	7,39

* Vuoden 1976 luvut ovat ennakoarvioita.

Lehtipinopuun poltto on edelleen supistumassa. Kun vuosittain poltetaan 5,5 milj. m³, ei jalostuskäytön elpyminen aikaisemmalle tasolle enää riitä kaiken tarjolla olevan lehtipuun vastaanottamiseksi. Perussuunnitteen mukainen lehtipinopuun kertymäsuunnite vuodelle 1975 näet oli 11,0 milj. m³ (vrt. Puuvaraselvitys 1976) eli 3,4 milj. m³ todellista käyttöä suurempi.

Metsiimme on kolmen viime vuoden aikana kertynyt 10 milj. kuutiometrien lehtipinopuun hakkuusäästö. Sen korjaamatta jääminen pakottaa tinkimään metsänhoidollisista periaatteista ja johtaa ennen pitkää arvo puuston kasvun hidastumiseen. Aikana, jolloin työttömyys on saavuttanut vakavat mit-

tasuhteet, jää samalla käyttämättä tuhansia miestyöpaikkoja.

Myös vastaisuudessa lehtipinopuun ensisijaisen käyttökohteen tulee olla teollisuudessa. Rinnalla tarvitaan kuitenkin välttämättä vaihtoehtoinen käyttömuoto, johon puuvirta muun kysynnän laimentuessa voidaan joustavasti ohjata. Tämä parantaisi edellytyksiä metsäalan työllisyyden turvaamiseen ja metsänhoidollisten hakkuuperiaatteitten toteuttamiseen kaikissa oloissa.

Lehtipinopuu ei muodosta reserviä, josta nykyisen 5,5 milj. m³:n (1,1 Mtoe) polttoainekäytön lisäksi voitaisiin varmuudella saada jatkuvasti enemmänkin polttoainetta. Sen sijaan siinä on ajoittainen polttoainereservi, jonka suuruus voi nousta jopa 4 milj. m³:iin (0,8 Mtoe) vuodessa. Näin suuren puumäärän yhtäkkinen hyödyntäminen polttamalla edellyttää korjuuorganisaatioilta joustavuutta ja käyttöpisteiltä valmiutta siirtyä fossiilisista polttoaineista tilapäisesti puun käyttöön. Mahdollisuus vaihtoehtoisten polttoaineitten käyttöön lisää kuitenkin laitteitten pääomakustannuksia.

32. Markkinakelvoton pienpuu ja metsätähde polttoainereservinä

Lehtipuinen pinopuu muodostaa siis ajoittaisen polttopuureservin, josta levyjen ja lyhytkuituisen massan menekin vaikeutuessa nykyistä suurempi osuus tulisi suunnata energiakäyttöön. Sen kansantaloudellisesti ensisijainen käyttömuoto on edelleenkin teollinen jalostus, joten polton lisääminen on tarpeen lähinnä poikkeuksellisina aikoina.

Tärkein ja jatkuva polttopuureservimme sen sijaan on teollisuuden ainespuun laatuvaatimusten ja vähimmäismittojen alapuolelle jäävässä pienpuussa ja hakkuutähteessä (kuva 3), jota korkeasuhdanteittenkaan aikana ei ole toistaiseksi kyetty hyödyntämään. Huomattakoon kuitenkin, että metsäteollisuutemme kilpailukyvyyn elyessä ja raaka-aineen kysynnän vilkastuessa myös nykyisin markkinakelvottomille puuerille syntyyne rajoitettua jalostuskäyttöä.

Korjuutekniikan kannalta tämä polttopuureservimme jakaantuu kahteen osaan; kokonaan korjuutoiminnan ulkopuolella olevat pienpuustot sekä arvokkaampaa puuta korjattaessa hakkuualalle jätetty metsätähde. Se voidaan jaotella myös seuraavasti.

— Kokopuuna korjattava pienpuusto

- Taimistojen raivaus- ja perkauspuu
- Pienikokoinen ensiharvennuspuu
- Vajaatuottoisuuden vuoksi uudistettavien pienpuuvaltaisten metsien puusto
- Korjuualojen metsätähde
 - Hukkarunkopuu ja oksat (hakkuutähde)
 - Kanto- ja juuripuu

Vuosittaisissa hakkuissa syntyvä teoreettinen metsätähdemäärä on alunperin laskettu Suomen Metsäteollisuuden Keskusliiton puuvaraselvitystä varten lähtökohtanaan perussuunnitteen mukainen puunkäyttö. Mikäli hakkuut nousevat suunnitteen tasolle, markkinakelpoisen puun talteenoton jälkeen hakkuualalle jää vuonna 1980 seuraavat metsätähdemäärät. Kanto- ja juuripuun osalta läpimitaltaan alle 5 cm:n juurensia ei ole laskettu mukaan.

Metsätähdelaji . .	milj. m ³ /v	milj.toe/v*
Runkohakkapuu . .	4,7	0,8
Oksat neulasineen .	22,3	4,2
Kannot ja juuret . .	13,0	2,5
Yhteensä	40,0	7,5

* Miljoonaa ekvivalenttista öljytonnia 40 %:n kosteudessa vuotta kohti.

Metsätähteen talteenotto näin laajassa mitassa on biologisista, teknisistä ja taloudellisista syistä mahdotonta. Esimerkiksi harvennushakkuissa metsätähteen korjuu ei jäävän puuston vaurioitumisvaaran vuoksi tule nykytekniikan puitteissa kysymykseen. Korjuukelpoisen metsätähteen määrän laskeminen on päätehakkuuleimikoittenkin osalta vaikea tehtävä, sillä tekniset mahdollisuudet kytkeytyvät lopulta polttoaineitten hintoihin. Käytetyt laskentaperusteet selviävät asianomaisen puutavaralajin korjuuta kuvavasta luvusta.

Seuraava asetelma sisältää teknisesti korjuukelpoisen metsätähteen sekä markkinakelvottomista pienpuuleimikoista saatavan kokopuuhakkeen, jossa on mukana oksat viheraineineen. Kokopuuhaketta valmistettaessa mukaan tulee myös teollisuuden laatuvaatimukset täyttävä raaka-ainetta, joka on toisaalla laskettu jo pinopuusuunnitteeseen. Sen osalta asetelmassa on tehty vähennys, jolloin jäännös osoittaa kokopuuhakkeena korjattavissa olevan lisäbiomassan.

Kuva 3 (a—d). Polttopuureservejä:
Figure 3 (a—d). Fuel wood reserves:



3a. Pienikokoista koivua
3a. Small-sized birch



3b. Pienikokoista harmaaleppää
3b. Small-sized alder



3c. Oksia avohakkuualalla
3c. Branches on clear-cutting area



3d. Juurakoita välivarastolla
3d. Stump-root systems on landing site

	Etelä-Suomi	Pohjois-Suomi*	Koko maa	Koko maa
	Teknisesti korjattavissa milj. m ³ /v			milj. toe/v
Hakkuutähdehake				
Hake viheraineinen	3,50	0,83	4,33	0,81
Viheraine	1,12	0,20	1,32	0,20
Hake viheraineetta	2,38	0,63	3,01	0,61
Kanto- ja juuripuu	2,00	0,42	2,42	0,48
Kokopuuhake taimistoista	2,53	0,73	3,26	0,58
Kokopuuhake ensiharvennuksista				
Haketta kaikkiaan	1,51	0,48	1,99	0,36
Siitä pinopuuksi kelvollista	0,72	0,25	0,97	0,17
Lisäraaka-ainetta	0,79	0,23	1,02	0,19
Kokopuuhake vajaatuott. metsistä				
Haketta kaikkiaan	7,60	0,72	8,32	1,54
Siitä pinopuuksi kelvollista	2,50	0,28	2,78	0,53
Lisäraaka-ainetta	5,10	0,44	5,54	1,01
Yhteensä	12,80	2,45	15,25	2,87

* Tarkoittaa Pohjois-Suomen puunhankinta-alueita.

Seuraavat selitykset helpottavat asetelman tulkintaa.

- Hakkuutähdehake koostuu avohakkuualoille tukki- ja pinopuuta korjattaessa jäävästä runkohukka-puusta ja oksista. Kokonaismäärissä se on laskettu mukaan ilman neulasia.
- Kanto- ja juuripuu koostuu avohakkuualojen tukki-puitten juurakoista. Mukaan ei ole laskettu läpimitaltaan alle 5 cm:n paksuisia juurenosia.
- Taimistojen raivauksista ja perkauksista saatu kokopuuhake tehdään hyvin pienikokoisesta puusta, jossa ei ole mukana pinopuun mitat täyttäviä rungonosia. Suurin osa viheraineesta tulee hakkeeseen.
- Ensiharvennuskokopuuhake on pääasiassa havupuuta, jossa pääosa viheraineesta on mukana. Ensiharvennuspuiden määrä kasvaa tulevaisuudessa nopeasti ja on parin vuosikymmenen päästä 3—4-kertainen nykyiseen verrattuna.
- Vajaatuottoisia metsiä uudistettaessa saatava kokopuuhake on pääasiassa lehtipuuta, jossa koivun

ohella myös lepän ja haavan osuus on merkittävä. Tavoitteena on pienentää vajaatuottoisten metsien määrää, joten niistä saatava kokopuuhake vähentyy metsien tilan kohentuessa.

Korjuukelpoinen metsätähde- pienpuureservi, jota nykyisin ei kyetä hyödyntämään, on tämän arvion mukaan 15,3 milj. m³ vuotta kohti eli yli kaksinkertainen metsistämme nykyisin korjattavan poltopuun määrään nähden. Sen tehollinen lämpöarvo vastaa 2,9 milj. öljytonnia. Koska teknisen korjuukelpoisuuden käsite on subjektiivinen ja kytkeytyy vallitseviin hintasuhteisiin, lukusarjat on käsiteltävä vain suuntaantaviksi.

4. POLTTOPUUN KORJUUMENETELMÄT

4.1. Halkojen ja rankojen korjuu

Markkinapolttopuu korjataan perinteisesti halkoina, jotka katkotaan yksimetrisiksi, karsitaan huolella pintamyötäisesti sekä halotaan tai aisataan (kuva 4). Pölkyn vähimmäisläpimittana on 5-7 cm.

Muihin polttopuulajeihin verrattuna halon merkittävä etu on halkaisemiseen ja aisaamiseen perustava hyvä kuivuminen. Ulkoverastossa kosteus saattaa pudota alkupe- räisestä 45-55 %:sta edullisissa oloissa 20 %:iin. Halkovajassa voidaan saavuttaa jopa 15 %:n kosteus. Perusteellinen kuivuminen edellyttää kuitenkin pitkäaikaista varastointia, mikä puolestaan lisää korkokustannuksia.

Halkojen etuna on myös erinomainen säi-

lyminen. Katettuihin aumoihin ulkosalle varastoidut halot ovat hyväkuntoisia vielä 5-6 vuoden kuluttua (vrt. Heiskanen 1960).

Halot tehdään moottorisahalla, kirveellä ja muilla käsityökaluilla miestyövaltais- menetelmin. Työtä on vaikea koneellistaa, minkä vuoksi halkojen teko ja kuljetus soveltuu kehnosti nykyaikaisen puunkorjuun kokonaiskuvaan. Jo 1950-luvun lopulla halko katsottiin hakkeeseen verrattuna vanhan- aikaiseksi polttoaineeksi, mutta siitä huoli- matta sen uskottiin vielä pitkään säilyttävän tärkeän aseman polttoainehuollossamme (vrt. Heiskanen 1960). Näin on myös käynyt.

Yksimetriset pölköt tuottavat hankaluuk- sia kuljetuksessa. Kuormaaminen ja purka-



Kuva 4. Halot tehdään edelleen miestyövaltais
menetelmin (kuva Aarne Reunala).

*Figure 4. Traditional fuel wood is still made by
manual methods (Photo Aarne
Reunala).*



minen käyvät kourakuormaimella hitaasti ja edellyttävät erityistä huolellisuutta sekä apumiehen käyttöä. Ajoneuvon kuormatila on varustettava pohjalla sekä ylimääräisillä sivu- ja päätypankoilla.

Kotitarvekäyttöön tarkoitettu pienikokoinen polttopuu korjataan yleensä karsittuina rankoina. Tällaista tavaraa on toimitettu myös tienvarteen hankittuna markkinapolttohakkeen valmistamista varten, mutta sen osalta kysymyksessä ovat vaatimattomat puumäärät. Mikäli puun poltto yleistyy, saattaa kuitenkin rankojenkin hankinta-kauppatoiminta piristyä.

Halkoina ja rankoina korjattua polttopuuta ei eritellä tilastoissa. Halon osuus lie-nee kuitenkin selvästi suurempi. Vuonna 1976 halko- ja rankapolttopuuta tehtiin kaikkiaan 6,8 milj. m³, josta 5,5 milj. m³ oli lehtipuuta ja 1,3 milj. m³ havupuuta.

Pitkän ja halkaisemattoman tavaran kuivuminen rajoittuu etenkin koivulla lähinnä vain pölkyn päihin, karsimajalkien ympäristöön sekä muihin kuoren rikkoutumakoh-tiin. Jos varastointiaikaa syystä tai toisesta pitkitetään, pölkyt lahoavat sienien toiminnalle edullisen kosteuden tuloksena pahoin jo toisena kesänä. Se johtaa tilavuusyksikön lämpöarvon alentumiseen (vrt. S a l m i 1964). Halkoa pienemmistä kustannuksista huolimatta polttopuuta ei niin ollen toimiteta käyttäjälle normaalioloissa pitkänä ja halkaisemattomana.

Seuraavassa asetelmassa vertaillaan halon ja kaksimetrisen pölkkytavaran kustannuk-sia vuoden 1978 alkupuolella vallinneissa oloissa. Halko on laskettu markkinoitavaksi ylivuotisena, mikä lisää korko- ja muita varastointikustannuksia. Pölkkytavara taas toimitetaan tuoreena, koska sen kuivuminen jää pitkäänkin kestävässä varastoinnissa epätydyttäväksi. Erot autokuljetuskustan-nuksissa aiheutuvat paljolti kosteus- ja paineroista.

	Ylivuotinen halko Mk/m ³	Tuore, 2 m pölkkytavara
Polttopuun teko	43	23
Lähikuljetus	15	12
Pidennetty varastointi	8	—
Autokuljetus (70 km)	18	20
Yleiskulut	15	10
Yhteensä	99	65
Kantohinta (koivu)	18	18
Yhteensä	117	83

Halkojen lähikuljetuksessa esiintyvien vaikeuksien välttämiseksi käytetään joskus työjärjestystä, jossa polttopuu tuodaan välivarastolle kaksimetrisenä. Välivarastolla se katkaistaan kahtia ja halkaistaan tai aisataan. Tällöin kuitenkin kokonaiskustannukset nousevat metsässä tapahtuvaan halkomiseen verrattuna.

Välivarastolla tapahtuvaa halkomista on pyritty koneellistamaan. Uusista ratkaisuista mainittakoon maataloustraktorin käyttämä Sookarin jatkuvatoiminen halkomiskone, jolla voidaan käsitellä myös pitkiä pölkkyjä. Toinen esimerkki on Orasvuon Konepaja Ky:n valmistama Hako halkaisu- ja aisaukone, joka niinikään saa käyttövoimansa maataloustraktorin hydraulijärjestelmästä (kuva 5). Viimeksi mainittu käsittelee vain yksimetrisiä pölkkyjä.

Kokonaisuudessaan halkojen korjuun koneellistaminen ja kustannustason merkittävä alentaminen ovat vaikeasti toteutettavissa. Polttopuun käytön laajentuminen näyttääkin edellyttävän halkomenetelmän rinnalle uusia vaihtoehtoja, varsinkin kun halkojen käsittelyä käyttöpaikalla ei voida automatisoida. Ratkaisua etsitään ennen kaikkea hakemenetelmästä. Kajaani Oy otti ensimmäisenä merkittävän askeleen tähän suuntaan, kun se syksyllä 1977 päätti ryhtyä käyttämään vuosittain 250 000 m³ metsähaketta tai turvetta fossiilisten polttoaineitten sijasta.

Lyhytkuituisen massan ja levytuotteitten markkinointivaikeuksien seurauksena metsäteollisuuden lehtikuitupuun varastot paisuivat vuoden 1977 aikana niin suuriksi, että niitten nopea purkaminen jalostuksen tietä ei ollut mahdollista. Koska jo kahden kesän varastointi johtaa kaksimetrisessä kuorellisessa lehtipuussa vakavaan lahoamiseen, lehtikuitupuuta on ohjattu myös energia-käyttöön tekemällä siitä polttohaketta. Pinotavaran hakettamiseen soveltuu Suomessa käytössä olevista hakkureista hyvin esimerkiksi TT 1500 L kokopuu hakkuri.

Karsitun pinopuun hakettamista on kuitenkin pidettävä poikkeuksellisena välivaiheen toimenpiteenä. Polttopuureserviemme hyödyntäminen yli nykyisen halkopuun käytön tulee vastaisuudessa perustumaan paljolti menetelmiin, joissa karsimattomat puut tai hakkuutähde työstetään suoraan hakkeeksi.



Kuva 5. Maataloustraktoriin sovitettu Hako halkaisu- ja aisauskone (kuva Orasvuon Konepaja Ky).
 Figure 5. Hako splitting device mounted on a farm tractor (Photo Orasvuon Konepaja Ky).

42. Kokopuuhakkeen korjuu

Taustaa

Pienikokoinen puutavara korjataan ja kuljetetaan perinteisesti pölkkyinä. Siirtely, varastointi, mittaus ja teolliseen jalostukseen käytettävän puun osalta myös kuoriminen edellyttävät pölkkymuodon säilyttämistä käyttöpaikalle saakka.

Jos pienpuuraaka-ainetta voidaan käsitellä massa-artikkelina, talteenoton, korjuutyön ja käsittelyn tehostamiselle avautuu parempia mahdollisuuksia. Eräänä vaihtoehtona päädytään kokopuunkäytön periaatteen ja hakemenetelmään. Uudet korjuuketjut luodaan silloin seuraavien ratkaisujen pohjalta.

1. Kantoleikkauksen yläpuolelle jäävä osa puusta pyritään ottamaan kokonaisuudessaan talteen. Perinteiseen menetelmään verrattuna talteen saadun biomassan määrä paksuu pienpuuvaltaisissa leimikoissa aina useita kymmeniä prosentteja ja eräissä tapauksissa jopa moninkertaistuu.
2. Kun puutavaran tekovaihetta yksinkertaistetaan karsimisesta ja katkomisesta luopumalla, työn tuottavuus kohoaa ja kustannukset alenevat. Onhan näitten työvaiheitten osuus hakkuumiehen ajankäytöstä esimerkiksi kuitupuuta tehtäessä 40-60 %.
3. Raaka-aine saatetaan massa-artikkelin muotoon, jolloin sen käsittely kuljetuksessa, jalostuspaikalla tai poltettaessa voidaan automatisoida.
4. Työvaiheitten vähentämisen ja työn tuottavuuden kasvun seurauksena talteen otettua biomassakuutio-

metriä kohti käytettävä miestyöpanos supistuu. Mutta kun muutoin markkinakelvoton pienpuu oksineen saadaan näin jalostus- tai energiakäyttöön, korjattavat biomassamäärät kasvavat. Avautuu uusia työpaikkoja.

Hakemenetelmää kehiteltiin Suomessa vuosina 1955—1964 Pienpuualan Toimikunnan johdolla. Silloisissa oloissa oli edullisinta tehdä hake karsituista rangoista. Polttihakkeen toimituksissa johtava osa oli VAPOLla. Teollisuuden polttohaketta lukuun ottamatta poltettiin vuonna 1961 noin 100 000 m³ haketta yli 400 kattilassa (E. Lehtonen 1977). Halpa öljy tyrehtytti vähitellen kuitenkin hyvään alkuun päässeen hakkeen polton, joka supistui vain muutamaan käyttöpisteeseen. Menetelmän kehittämisestä luovuttiin.

Hakkeen korjuumenetelmän kehittyä käynnistyi uudelleen vasta kymmenkunta vuotta myöhemmin. Suomen Itsenäisyyden Juhlavuoden 1967 Rahasto, SITRA, pani vuonna 1973 alulle Lyhytkiertopuun kasvatus- ja käyttöprojektin, jonka puitteissa ryhdyttiin kehittämään korjuu- ja käyttömenetelmiä markkinakelvottomalle pienpuustolle. Tavoitteeksi asetettiin kokopuun käyttö, ja karsittujen rankojen sijasta tähdättiin kokonaisten puitten hakettamiseen.

Kokopuuhakettukseen perustuvat uudet pienpuun korjuuketjut ovat nyt muovautumassa käytännön metsätalouden vaatimuk-

sia vastaaviksi. Menetelmän yleistymistä ei enää jarruta korjuutekniikan keskeneräisyys. Tehdasmittakaavaiset käyttökokeet sulfaattimassa-, aalloituskartonki-, lastulevy-, kuitulevy- ja furfuraaliteollisuudessa (vrt. H a k k i l a et al. 1975) ovat osoittaneet kokopuuhakkeen kelpoisuuden jalostustarkoituksiin. Metsäteollisuuden kustannuskriisi, markkinointivaikeudet ja tuotannon supistukset ovat tehneet pienpuusta saatavan lisäraaka-aineen kuitenkin tällä erää teollisuudelle tarpeettomaksi, joten se voidaan lukea polttoainereserviimme.

Seuraavassa luetellaan eräitä tyypillisiä metsikkökohteita, joitten korjuuongelmiin kokopuuhaketus saattaa tuoda apua. Kaikissa näissä tapauksissa metsänhoidolliset näkökohdat edellyttävät pienpuuston osittaista tai täydellistä poistoa.

1. V a j a a t u o t t o i s e t l e h t i p u u - v a l t a i s e t p i e n p u u s t o t, jotka metsänhoidollisista syistä uudistetaan avohakkuuta tai verhopuustomenetelmää käyttäen. Polttohakkeen korjuuseen soveltuvia leimikoita ovat:

- Harmaalepikot, joita on erityisen runsaasti Itä-Suomessa
- Soitten hieskoivikot, jotka keskittyvät paljolti Pohjanmaalle. Ojitus toiminnan edistyessä niiden määrä on mäännyn viljelyn paikoittaisen epäonnistumisen seurauksena lisääntymässä.
- Maan kohoamisen tuloksena syntyneet Pohjanmaan merenrantavyöhykkeen lehtipuuesakot
- Pohjois-Suomen heikkolaatuinen lehtipuusto, mukaan lukien suunnitteilla olevien allasalueitten jätepuusto
- Metsittyneet, vajaatuottoisiksi jääneet pelto-, pellonpiennar- ja laidunmaat

2. T a i m i s t o j e n p e r k a u s - j a r a i v a u s p u u, joka ei täytä pinotavaran vähimmäismittoja. Risusavottatöiden viivästyessä raivauspuu ennättää joskus saavuttaa lähes ensiharvennuspuun koon, mutta yleensä on kysymyksessä varsin pieni puusto. Mikäli tällaisen puun polttoainekäyttö kykenee peittämään osan metsänhoidollisen raivauksen aiheuttamista kuluista, toiminta edistää taimistonhoito-ohjelmoin toteuttamista.

3. E n s i h a r v e n n u s m e t s i k ö t, joista poistettavan puutavaran pääosa jo täyttää pinotavaran vähimmäismitat

mutta jonka ulosotto pölkky menetelmällä pyrkii nousemaan kohtuuttoman kalliiksi. Ensiharvennusleimikoitten määrä kasvaa nopeasti, kun 1950- ja 1960-luvuilla perustetut taimistot saavuttavat 25—40 vuoden iän. Saatava kokopuuhake on pääasiassa havupuuta, joten sille löytynee teollistakin käyttöä.

4. A v o h a k k u u l e i m i k o i t t e n h e i k k o l a a t u i n e n p u u s t o j a l a t v a t, jotka kustannusten alentamiseksi ja talteenoton tehostamiseksi jätetään järeämpää runkopuuta tehtäessä erikseen kokopuuhakkeena korjattaviksi. Hintasuhteista riippuu, minkä kokoiset puut on edullista tehdä hakkeeksi. Kysymyksessä on lähinnä lehtipuuta.

5. T u l e v a i s u u d e n e n e r g i a v i l j e l m i e n p u u s a t o, joka saadaan kasvattamalla pienikokoista lehtipuuta voimaperäisen lyhytkiertoviljelyn menetelmin. Energiaviljelmiä saatetaan perustaa myös luontaisesti syntyneestä vesakosta. Talteenotto edellyttää erikoistunutta ja koneellistettua korjuutekniikkaa. Juurakoitten tulee säilyä vahingoittumattomina energiaviljelmän jatkuvan vesomis- ja kasvukyvyn säilyttämiseksi.

Kokopuuhaketusta voidaan siis soveltaa moninaisissa korjuukohteissa, joista kukin vaatii omia menetelmiään. Tässä katsauksessa käsitellään vain esimerkin luontoisesti seuraavia keskeisiä vaihtoehtoja.

- Isännän linjan kokopuuhaketus
- Järeän linjan kokopuuhaketus
- Leikkuuhakkurimenetelmä

Isännän linjan kokopuuhaketus

Polttihakkeen käyttö on yksinkertaisimmin toteutettavissa maatilataloudessa (vrt. S a l a k a r i 1978). Hakkeen hankinta voidaan sovittaa muitten töitten lomassa kausiin, jolloin työtä on niukalti tarjolla. Jakeiluongelmia ei ole, ja varastointikin on järjestettävissä. Polttihakkeen teko merkitsee maatilalla usein taimikon metsänhoidollista käsittelyä tai pellonpientareen ja laidunmaan vapauttamista haitallisesta vesakosta (kuva 6). Raivauksen työkuustannus saattaa vuoden 1978 tasolla muutoin olla 400—500 mk/ha.

Tilan omaan tarpeeseen korjattavat hake määrät jäävät verraten vähäisiksi. Esimerkiksi 10 tonnin vuotuinen lämmitysöljyn



Kuva 6. Polttohakkeen korjuu maatilakäyttöön.
Figure 6. Harvesting fuel chips for farm use.

käyttö voidaan puulämmityksen heikompi hyötysuhdekin huomioon ottaen korvata 55-60 m³:lla koivun tai 70-75 m³:llä harmaalepän kokopuuhaketta. Tällaisten puumäärien korjuuseen ei ilman yhteistointamahdollisuutta kannata hankkia erikoiskalustoa, vaan työ on pyrittävä tekemään tilalla jo olevilla laitteilla. Poikkeuksen muodostaa luonnollisesti hakkuri.

Hakkuri asennetaan maataloustraktorin kolmipistekiinnitykseen. Hake puhalletaan kipattavaan peräkärriin, jonka sijasta voidaan käyttää myös traktorin katolle sijoitettua kipattavaa konttia (kuva 7).

Esimerkkinä maatilan hakkurista on kotimainen AST. Laitte, jonka paino on 330 kg, sopii traktorin ja peräkärriin väliin. Koska syöttö tapahtuu käsin, puun enimmäiskoko on käytännössä 20-30 dm³. Pakkosityöttölaitetta ei ole, vaan puu kulkeutuu hakkuriin pelkästään laikan terien vetämänä. Paksuoksaisia puita saatetaan joutua karsimaan ennen haketusta ja erityisesti lumen alle jääneiden puitten käsittely on hankalaa.

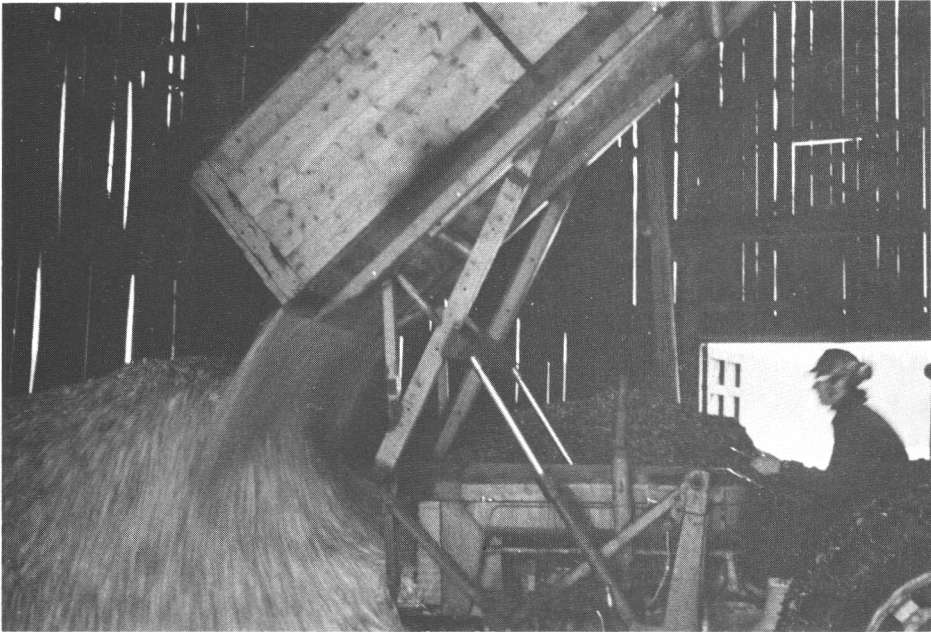
Karsimattomien puitten kuormausta on käsityönä hidasta ja raskasta. Kun maatilan traktori varustetaan vain poikkeustapauksis-

sa kuormaajalla, kokonaisten puitten kuljetaminen ei useinkaan tule kysymykseen. Hakettaminen tapahtuu siis palstalla, ja hake kuljetetaan sieltä suoraan tilan hakevarastoon.

Puut kaadetaan vesurilla, kirveellä, rai-vaussahalla tai moottorisahalla, joka voidaan työasennon helpottamiseksi ja työturvallisuuden parantamiseksi varustaa korkeilla kädensijoilla. Ne mahdollistavat niin sanottuun siirtely-kaatoon perustuvan työtetiikan, jossa kaato ja kasaus yhdistyvät saumattomasti toisiinsa.

Maatilan omaan käyttöön tuleva kokopuu hake korjataan usein avohakkuuta vastaavissa oloissa. Puita ei silloin tarvitse vetää ajouran varteen. Jos sen sijaan työskennellään taimistossa tai harvennuseksäissä, tämä toimenpide on välttämätön. Karsimattomat puut tuodaan ajouran varteen kantaen tai vintturilla vetämällä.

Puuston koko vaikuttaa työn tuotokseen. Seuraavassa puitten rinnankorkeusläpimitaksi oletetaan 4-10 cm. Vinssausvaiheen näennäisesti suurehko tuotos selittyy siten,



Kuva 7. Laalahti-menetelmä polttohakkeen korjaamiseksi maatilakäyttöön (kuva Hannu Kalaja).
Figure 7. The Laalahti method for harvesting fuel chips for farm use (Photo Hannu Kalaja).

että tavanomaista 25-30 m:n ajouraväliä käytettäessä toinen puoli kokopuukasoista on itse asiassa jo kaatotyön jäljiltä riittävän lähellä ajouraa.

Mies valmistaa työpäivässä 4-8 m³ polttohaketta välineinään moottorisaha, maataloustraktori, hakkuri ja kipattava pe-

räkärri sekä harvennusleimikossa mahdollisesti myös vintturi. Päivätulos vastaa puulaista riippuen polttoarvoltaan 0,6-1,5 öljytonnia.

Maatilataloudessa kokopuuhakkeen vaihtoehto on kevyt polttoöljy, jonka vähittäismyyntihinta helmikuussa 1978 oli 680 mk/

	Avohakkuu		Harvennushakkuu	
	Tuotos m ³ /h*	Ajankäyttö miespv/m ³	Tuotos m ³ /h**	Ajankäyttö miespv/m ³
Kaato ja kasaus	3,4	0,049	3,0	0,055
Vinssaus ajouran varteen	—	—	7,0	0,024
Haketus ja kuljetus (500 m)	1,7	0,083	1,7	0,083
Yhteensä		0,132		0,162

* Tarkoittaa kokopuun kiintokuutiometriä, jossa myös oksat ovat mukana.

tonni. Huomioon on otettava myös mahdollisen metsänparannustyön arvo. Puun polttolaitteilla saavutetaan kuitenkin yleensä huonompi hyötysuhde kuin öljyllä, minkä vuoksi polttoaineen kulutus nousee hakkeella ehkä 15 % korkeammaksi.

Jos puut haketetaan tuoreena, kokopuu-hakkeen kosteus on 50-55 %. Rasikuivatuksella voidaan päästä kesäaikana koivulla 30-35 ja lepälläkin 35-40 %:n kosteuteen (vrt. H a k k i l a et al. 1975, S i m o l a ja M ä k e l ä 1976). Sekä tuoreen että rasikui- van hakkeen kosteus alentuu edelleen kate- tussa hakevarastossa. Vuoden kestävä varas- tointi johtaa kosteuden alentumiseen noin kymmenellä prosenttiyksiköllä (vrt. T a i p a l e 1960 ja 1963).

Isännän linjan kokopuuhaketusjärjestel- mä ei sovellu vielä varsinaiseen myyntihan- kintaan lukuun ottamatta lyhyitä, enintään 15—20 km:n kuljetusmatkoja. Haakkeen siirto traktorista autoon tai vaihtolavalle on

näet vaikeasti järjestettävissä, sillä auto ei voi odottaa kuorman valmistumista koh- tuuttoman pitkään. Hakkeen tilapäinen va- rastoiminen maahan taas johtaa liialliseen puunhukkaan ja kuormausongelmiin. Erää- nä vaihtoehtona kokeillaan hakesäkkien käyttöön perustuvaa hankintajärjestelmää.

Polttohakepuun hankintahakkuut rajoit- tuvat ainakin toistaiseksi rankoina tai koko- puuna luovuttamiseen ajouran tai tien var- ressa (kuva 8). Koska karsiminen nostaa korjuukustannuksia ja johtaa samalla bio- massan tuhlaantumiseen, rankamenetelmä ei ole pitkällä tähtäyksellä suositeltava. Polt- tohakepuun hankintahakkuujärjestelmän kehittäminen tulee olemaan tärkeässä ase- massa vastaisessa kehitystyössä.

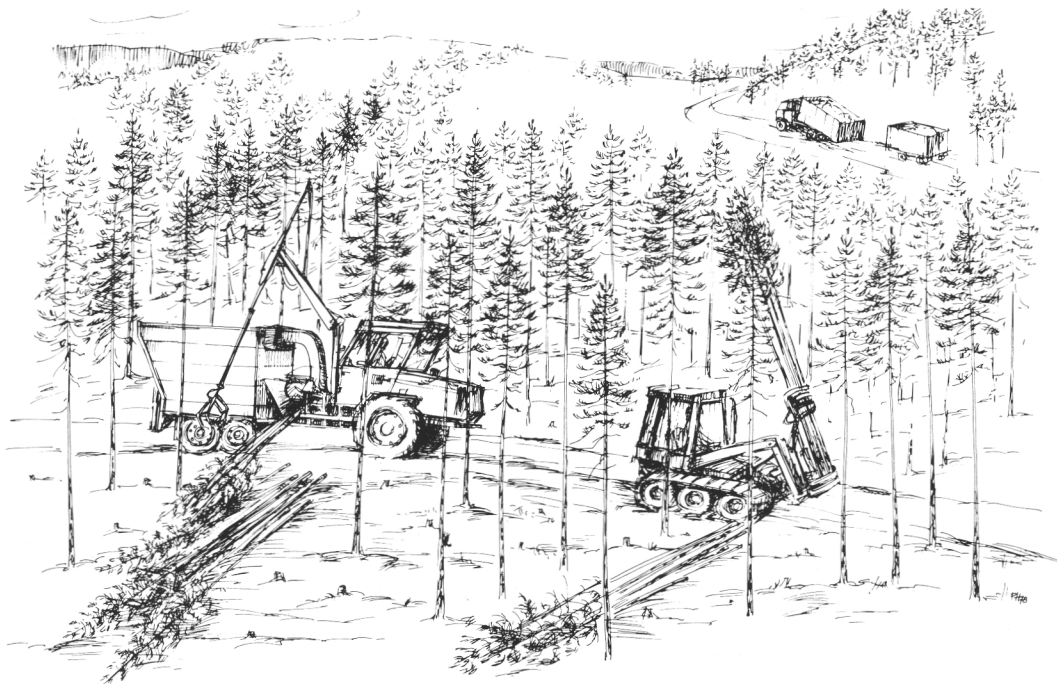
Järeän linjan kokopuuhaketus

Kokopuuhakkeen käyttö teollisuudessa, lämpökeskuksissa, voimaloissa ja muissa

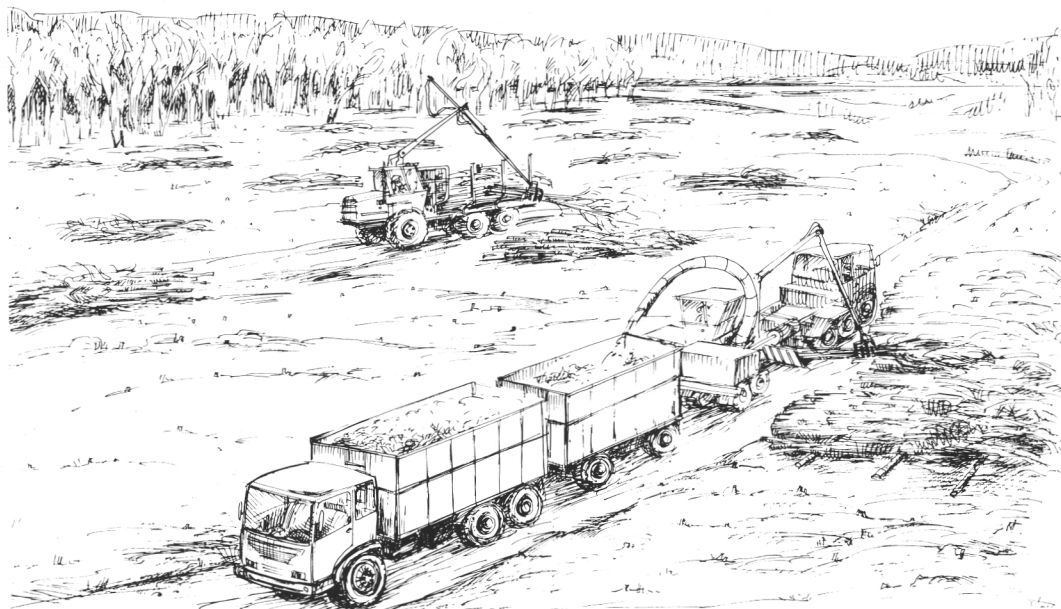


Kuva 8. Jos maataloustraktori varustetaan kourakuormaimella, pienet kokopuut voidaan myydä tienvarteen hankittuina (kuva Hannu Kalaja).

Figure 8. When the farm tractor is equipped with a grapple loader the farm owner can sell small-sized whole trees delivered to the landing site (Photo Hannu Kalaja).



Kuva 9. Kokopuuraaka-aineen korjuu ensiharvennusmänniköstä koneellistetulla palstahaketusketjulla.
 Figure 9. Harvesting whole-tree chips from the first thinning of pine. Chipping on the strip road.



Kuva 10. Kokopuuraaka-aineen korjuu vajaatuottoisen lehtipuumetsän avohakkuutyömaalta koneellistetulla välivarastohaketusketjulla.
 Figure 10. Harvesting whole-tree chips from a clear cutting area of small-sized hardwood. Chipping at the landing site.



Kuva 11. TT 1000 F palstahakkuri pienikokoista leppää korjaamassa.
Figure 11. The TT 1000 F terrain chipper harvesting small-sized alder.



Kuva 12. TT 1500 L välivarastohakkuri puhalttaa polttohakkeen suoraan täysperävaunulliseen kuorma-autoon.
Figure 12. The TT 1500 L landing chipper blows the fuel chips straight onto a truck with semitrailer.

suurkulutuspaikoissa edellyttää tehokkaita ja luotettavia korjuumenetelmiä, joilla hake voidaan toimittaa käyttöpaikalle muihin polttoaineisiin nähden kilpailukykyisin hinnoin. Tämä johtaa järeitten koneitten ketjuun, jota ei kuitenkaan tule asettaa isännän

linjan hankintamenetelmän edelle, milloin viimeksi mainitun käyttöön on edellytyksiä.

Järeän linjan kokopuuhaaketukseen on tarjolla useitakin korjuuketjuja (vrt. Hakki- ja al. 1978). Valittavana on joukko koneyhdistelmiä, joitten edullisuus riippuu puus-

ton ja leimikon koosta, maasto-oloista, kuljetusmatkasta, työvoimatilanteesta ynnä muista tekijöistä. Tavoitteena tulee olla järjestelmä, joka tarpeen mukaan kykenee joustavasti palvelemaan sekä puunjalostusta että energiäkäyttöä.

Järeän linjan korjuuketju perustuu Suomessa ajouralla tapahtuvaan palstahaketuksen (kuva 9) tai välivarastohaketuksen (kuva 10). Tavoitteena on myös keskusasemalla tai käyttöpaikalla tapahtuvan haketuksen kehittäminen. Tällöin järjestelmään liittyy karsimattomien puitten autokuljetus kokonaisina tai 2—3 osaan katkaistuina.

Palstahaketusketju, jonka käyttö edellyttää verraten helppokulkuista maastoa, voidaan rakentaa esimerkiksi metsätraktorin päälle asennetun TT 1000 F hakkurin ympärille (kuva 11). Ajouralla kulkien kone noukkii uran tuntumaan kerätyt karsimattomat puut kourakuormaajalla pakkosyöttölaitteeseensa, josta ne kulkeutuvat edelleen laikkahakkurin teriin. Hake puhalletaan suoraan 17 m³:n säiliöön. Kuorman täytyttyä palstahakkuri kuljettaa hakkeen välivarastolle. Tuntituotos on kuljetus 300 m:n matkalla mukaan luettuna 6-12 m³.

Palstahakkuri purkaa hakesäiliönsä maa-

han lasketuille vaihtolavoille kippaamalla. Tähän tarkoitukseen soveltuu Multilift ML-14 vaihtolavajärjestelmä, jota käyttäen täysperävaunullisella kuorma-autolla voidaan saavuttaa lähes 80 m³:n lavatilavuus. Kuormassa on tuolloin 30-35 m³ haketta.

Välivarastohaketusta käytettäessä karsimattomat puut tuodaan varastolle vakiovarusteisella kuormatraktorilla. Kuormassa on keskimäärin 4,5-5,0 m³ kokopuuraakaainetta. Puut katkotaan kuormauksen helpottamiseksi ennen kuljetusta 5-8 m:n pätkiin. Varastopaikalla ne pinotaan 2-4 m:n korkuisille kasoille. Jos ajomatka on 300 m, kuljetuksen tuotos on puitten kasauksesta, leimikon tiheydestä ja maastosta riippuen 6-8 m³/h.

Välivarastohakkuri siirtää puut kourakuormaimella kasoilta pakkosyöttölaitteeseensa, joka vetää puut hakkurin teriin. Hake puhalletaan vaihtolavalle tai suoraan kiinteälavaiseen kuorma-autoon, jonka kuormatila täysperävaunuineen voi nousta 80-95 m³:iin.

Hakkurin ja kuorma-auton toiminnot kytkeytyvät kiinteästi toisiinsa. Korjuuketju on herkästi häiriintyvä ja kuuma, mistä usein aiheutuu ennalta arvaamattomia piilokus-



Kuva 13. Harvennusemetsässä kokonaiset puut on kasattava ajouran varteen (kuva Oy W. Rosenlew Ab).

Figure 13. In thinning forests whole trees must be bunched alongside the strip road (Photo Oy W. Rosenlew Ab).

tannuksia. Edellytetään huolellista suunnittelua.

Suomessa on käytössä neljä erilaista raskasta välivarastohakkuria; telikuorma-auton päälle rakennettu TT 1500 L (kuva 12), vetävän puoliperävaunun päälle rakennettu TT 1500 T, metsätraktorin kuormatilaan kääntökehän päälle rakennettu Algol sekä kaksiakselisen hinattavan alustan päälle rakennettu Trelan D 60, jota syöttämään tarvitaan erillinen traktori. Myös viimeksi mainittu voidaan asentaa kuorma-auton päälle. Välivarastohakkureitten tuntituotos vaihtelee 10—35 m³:n välillä.

Kaato- ja kasausmenetelmiä on käytettävissä useitakin (vrt. Hakki la et al. 1978). Yleisimmin kaato tapahtuu moottorisahalla. Avohakkuuleimikoissa kasausa ei välttämättä tarvita, mutta harvennusoloissa

puut on vedettävä noin 30 m:n välein kulkevien ajourien varteen (kuva 13) vintturilla, teleskooppipuomilla varustetulla kasauskoneella tai kuormatraktorin pitkäulotteisella liukupuomilla. Makeri kaato-kasauskoneella päästään täysin koneelliseen kaatoon ja kasaukseen.

Seuraavat lukusarjat antavat kuvan kokopuuhakkeen korjuun kustannustasosta avo- ja harvennusoloissa, kun puun keskikoko on 30 dm³. Ne on ymmärrettävä vain suunta-antaviksi, sillä olosuhteista ja menetelmästä riippuen leimikoitten väliset erot saattavat olla hyvinkin suuria. Esimerkki osoittaa palsta- ja välivarastohaketuksen kustannusrakenteen, mutta sen perusteella ei tule tehdä vertailuja menetelmien keskinäisestä edullisuudesta.

	Harvennushakkuu		Avohakkuu	
	Ajankäyttö miespv/m ³	Kustannus mk/m ³	Ajankäyttö miespv/m ³	Kustannus mk/m ³
Palstahaketusketju				
Kaato ja kasaus	0,065	19,50	0,055	12,00
Palstahaketus	0,017	24,50	0,017	24,50
Yleiskulut		9,00		7,00
Yhteensä	0,082	53,00	0,074	43,50
Välivarastohaketusketju				
Kaato ja kasaus	0,065	19,50	0,055	12,00
Lähikuljetus	0,021	15,30	0,021	15,30
Välivarastohaketus	0,009	12,00	0,009	12,00
Yleiskulut		9,00		7,00
Yhteensä	0,095	55,80	0,085	45,70

Jos puun keskikoko nousee 50—100 dm³:iin, työkuustannus laskee edellisestä. Kaato-kasauskoneen käyttö käy puun koon kasvaessa suhteellisesti edullisemmaksi. Kantohinta toisaalta lisääntyy, koska pino- puun vähimmäismitat täyttävän runkopuun

osuus kokopuuhakkeessa kasvaa.

Kun korjuukustannuksiin lisätään kantohinta, autokuljetuskustannukset sekä toiminnan yleiskulut, saadaan hinta käyttöpaikalla. Kuljetusmatkaksi on seuraavassa asemassa oletettu 70 km.

	Harvennusleimikko		Avohakkuuleimikko	
	Puun koko 30 dm ³	Puun koko 50 dm ³	Puun koko 30 dm ³	Puun koko 50 dm ³
	Kustannukset, mk/m ³			
Hake välivarastolla*	56	46	46	38
Autokuljetus	18	18	18	18
Yleiskustannukset	7	7	7	7
Yhteensä	81	71	71	63
Kantohinta (koivu)	9	12	9	12
Yhteensä	90	84	80	75

* Sisältää osan yleiskustannuksista edellisen asetelman osoittamalla tavalla.

Kokopuuhakkeen korjuulla on huomattava työllistävä vaikutus. Järeitten koneitten

varaam rakentuvassa ketjussa miespäivää kohti syntyy 10—20 m³ haketta. Yhden

miljoonan kokopuuhakekuutiometrin korjuu luo metsäpäähän 200—400 ympärivuotista työpaikkaa. Tällöin ei ole otettu huomioon kaukokuljetukseen ja käyttöpäähän syntyviä työpaikkoja. Öljytonnin korvaaminen kokopuuhakkeella merkitsee vastaavasti metsäpäässä 0,25—0,50 miestyöpäivää.

Tässä katsauksessa isännän linjan ja järeän linjan kokopuuhaketestusta on käsitelty toisistaan erillisinä ketjuina. Käytännössä on luonnollisesti mahdollista, että metsänomistaja hankkii kevyellä kalustollaan kokopuuraaka-aineen hakettamattomana ajouran varteen tai välivarastolle, ja ostaja huolehtii omalla järeämmällä kalustollaan jatkotoimenpiteistä. Tällaisen järjestelmän kehittämiseen tulee vastaisuudessa kiinnittää erityistä huomiota.

Leikkuuhakkurimenetelmä

Kun kaadettava puusto alkaa kauttaaltaan jäädä rinnankorkeusläpimitaltaan alle 5—6 cm:n, erilliseen kaatoon ja kasaukseen nojaava kokopuuhaketestu käy kannattamattomaksi. Näin silloinkin, kun hehtaarikohtaiset raaka-ainemäärät nousevat suuren runkoluvun ansiosta verraten korkeiksi.

Pienimmän vesakkopuun hyödyntäminen edellyttää korjuutekniikkaa, jossa raaka-ainetta käsitellään massa-artikkelina jo kaatovaiheesta lähtien. Tähän tarjoaa mahdollisuuden monitoimikone, jonka toiminta perustuu viljan ja tuorerehun korjuun tapaan jatkuvasti etenevään työhön.

Kone kaataa puuston tieltään avohakkuun tai käytäväharvennuksen periaatetta noudattaen. Toimintakelpoinen ketju ei salli työn rajoittuvan vain kaatoon, sillä hajalleen jätettyjen pienpuitten jatkokäsittely joudutaisiin aloittamaan puuta yksittäin keräilemällä. Vesakonkorjuukone suorittaa jotain seuraavista toimintayhdistelmistä.

- Kaato ja kasaus karholle
- Kaato ja niputus
- Kaato ja paalaus
- Kaato ja pilkkominen
- Kaato ja haketus

Mitä pienempi ja tiheämpi puusto on kysymyksessä, sitä kilpilukykyisempi jatkuva-toiminen vesakonkorjuukone on muihin vaihtoehtoihin verrattuna. Kun kaadettavien puitten kantoläpimitta lähestyy 10 cm, jatkuvan etenemisliikkeen ylläpitäminen alkaa käydä vaikeaksi.

Jos kone kaataa eteen sattuvat puut koko

leveydeltään, sitä voidaan käyttää myös taimitoimien käytäväharvennuksissa. Leveä kaatoura asettaa kuitenkin ankarat vaatimukset maastolle, sillä koneen tulisi ylittää esteet heilumisliikkeeseen joutumatta. Heiluminen näet vaikeuttaa puun katkaisemista ja suunnattua kaatoa. Se saattaa aiheuttaa myös leikkuuterien joutumisen kosketuksiin maanpinnan kanssa ja johtaa leikkuukorkeuden lisäämiseen. Puustoltaan ja maastoltaan kysymykseen tulevia korjuukohteita ovat Suomen oloissa lähinnä seuraavat.

1. Havupuutaimistojen käytäväharvennus, jossa leikkuuhakkurin jättämä jälki viimeistellään käsityönä (vrt. Heino ja Ruotsalainen 1976, Harstela ja Tervo 1978). Puuston runko- ja juurivauriovaaran sekä maaston tasaisuuden asettamien rajoitusten vuoksi lähinnä vain kuivien kanakaitten ja ojitettujen soitten männynaimistot soveltuvat jatkuvatoimisella vesakonkorjuukoneella käsiteltäviksi. On eduksi, jos poistettujen puitten juurakot vahingoittuvat vesomiskyä heikentäen.
2. Lehtipuuesakon valmistaminen metsänviljelylle avohakkuun tietä, raivaaminen muuhun kuin metsätaloudelliseen käyttöön tai alueen pensaskasvillisuudesta vapaana pitäminen. Näissäkin tapauksissa juurakoitten rikkoutuminen on suotavaa. Osa kohteista sijaitsee heikosti kantavilla mailla, jolloin koneelta edellytetään pientä pintapainetta.
3. Edelliseen ryhmään luettavat lehtipuuesakot, joilla ryhdytään tuottamaan polttopuuta lyhytkiertoviljelyn periaatetta käyttäen. Tähän tarkoitukseen kelpuutetaan vain tiheät ja elinvoimaiset vesakot, jolloin uudelta vesasyntyiseltä puusukupolvelta voidaan odottaa korkeata biomassan tuotosta. Sadonkorjuun tulee tapahtua juurakoita vahingoittamatta.
4. Tulevaisuudessa mahdollisesti perustettavat lyhytkiertoiset energiaviljelmat (vrt. Sirén 1977, Huikari ja Karisto 1978), joilta puusato korjataan esimerkiksi 3—10 vuoden välein toistuvien avohakkuin. Peräkkäiset puusukupolvet syntyvät vesosta, mikä asettaa lisävaatimuksia leikkuutyön laadulle ja ajankohdalle.

Vaikeasti ratkaistava ongelma on jatkuva-toiminen kaato sekä siihen liittyen kaatuvien puitten ohjaaminen edelleen karholle, niputtajaan, paalaimeen, silppuajaan tai hakkuuriin. Ratkaisua voidaan etsiä muun muassa seuraavista vaihtoehtoista (vrt. A h o k a s 1977).

1. Niittokoneen periaate. Ei ratkaise puitten kokoamista.
2. Pyöröterä, joita voidaan asettaa useita rinnakkain. Ei ratkaise puitten kokoamista.
3. Ketjusaha. Ei ratkaise puitten kokoamista.
4. Pyörivät sarjaan asennetut kartioruuvit sijoitettuina joko tyvipäästään toisiaan sivuten tai siten, että tyville jää kapea leikkaavan terän vyöhyke. Kaato tapahtuu osaksi jyrkien ja osaksi leikaten tai iskien. Ei ratkaise puitten kokoamista.
5. Keskipakoismurskain, joka piiskaa puuta pystyakselin ympäri pyörivillä nivelöidyillä terillä tai ketjuilla. Murskeen talteenotto on vaikeasti järjestettävissä.



Kuva 14. Pallarin vesakkoharvesterin prototyyppi pientä hieskoivua hakettamassa (kuva Oy W. Rosenlew Ab).
 Figure 14. The prototype Pallari Bushharvester chipping small-sized white birch (Photo Oy W. Rosenlew Ab).

6. Koneen kulkusuuntaan nähden poikittain pyörivä lieriöruuvi. Laitte kokoo katkaisemansa puut ruuvin toiseen päähän, mistä ne voidaan edelleen ohjata haluttuun kohteeseen.
7. Vaakatasossa pyörivä kahdella sirppimaisella terällä varustettu leikkulaite, joka heittää katkaistun puun tyven edelleen hakkurin kitaan.
8. Kelamurskain, joka silppuaa alleen jäävät puut vaakakselin ympäri pyörivillä iskuterillä. Murskattu puu on otettavissa talteen.
9. Rumpuhakkurin periaatteelle rakentuva kaato-haketuslaite, jonka alempi vaakakselin ympäri pyörivä rumpu jyräsi puun poikki ja heittää kaatuvan puun tyven ylemmän hakettavan rummun ulottuville. Hakkeen talteenotto on ratkaistavissa.

Vesakonkorjuukoneen prototyypeistä pisimmälle lienee edennyt vaihtoehdolle 7 rakentuva Pallarin vesakkoharvesteri, joka on rakennettu Valmet 880 S traktorin päälle (vrt. H a k k i l a ja M ä k e l ä 1975). Sen varsinainen puimuriosa käsittää suuntauspuskurin, katkaisuterästä, edellisen takana olevan rumpuhakkurin apusyöttölaiteistoinen, hakkeenpuhallusputken sekä käyttömoottorin (kuva 14). Leikkuukorkeus on säädettävissä.

Katkaisuterästä koostuu kahdesta vastakaisiin suuntiin pyörivästä kolmikyntisestä laikasta, jotka leikkaavat puun alapuolellaan olevaa terälevyä vasten. Kynnet iskeytyvät suuntauspuskurin kallistamaan runkoon alapuolelta käsin temmaten katkeavan puun

tyven terien takana pyörivän rumpuhakkurin ulottuville. Leikkuumenetelmä johtaa kannon repeytymiseen, mikä jarruttaa juurakoitten vesomista.

Hakkeen talteenottoratkaisuina tulevat kysymykseen koneen perään sijoitettu säiliö, säkitys tai rinnalla kulkevan traktorin perävaunu.

Pallarin vesakkoharvesterissa koneellistaminen ja automatiikka on viety pidemmälle kuin missään muussa järeän tai pienikokoisen puun korjuukoneessa. Prototyyppi ei kuitenkaan vielä täytä käytännön asettamia vaatimuksia, mutta sen toimintaperiaate on osoitettu käyttökelpoiseksi. Kysymyksessä on käänteentekevä polttopuun korjuumenetelmä, jonka kehittelyyn tulee varata aikaa ja resursseja.

Leikkuuhakkuri tähtää toistaiseksi nykyvesakoitten hyödyntämiseen. Ennen pitkää saattaa tulla ajankohtaiseksi myös koneen mukauttaminen energiaviljelmien sadonkorjuuseen. Siltä osin tulevat kysymykseen sekä niputtavat, paalaavat että hakettavat koneet.

43. Hakkuutähdehakkeen korjuu

Taustaa

Hakkuutähdeellä tarkoitetaan puutavaraa

korjattaessa metsään käyttämättä jäävää runkopuuta ja oksia. Siihen ei siis lueta kantoja ja juuria.

Hakkuutähteen koostumus vaihtelee puulajista, puuston koosta, hakkuun ajankohdasta sekä talteenoton tarkkuudesta riippuen. Sen tärkein osa on oksat, sillä runkopuuta on yleensä vain 10-20 %. Pääosa runkopuusta on peräisin alamittaisista puista ja järeämpien puitten latvoista, mutta tähteeksi saattaa jäädä jonkin verran myös teollisuuden laatuvaatimukset täyttävää ainespuuta.

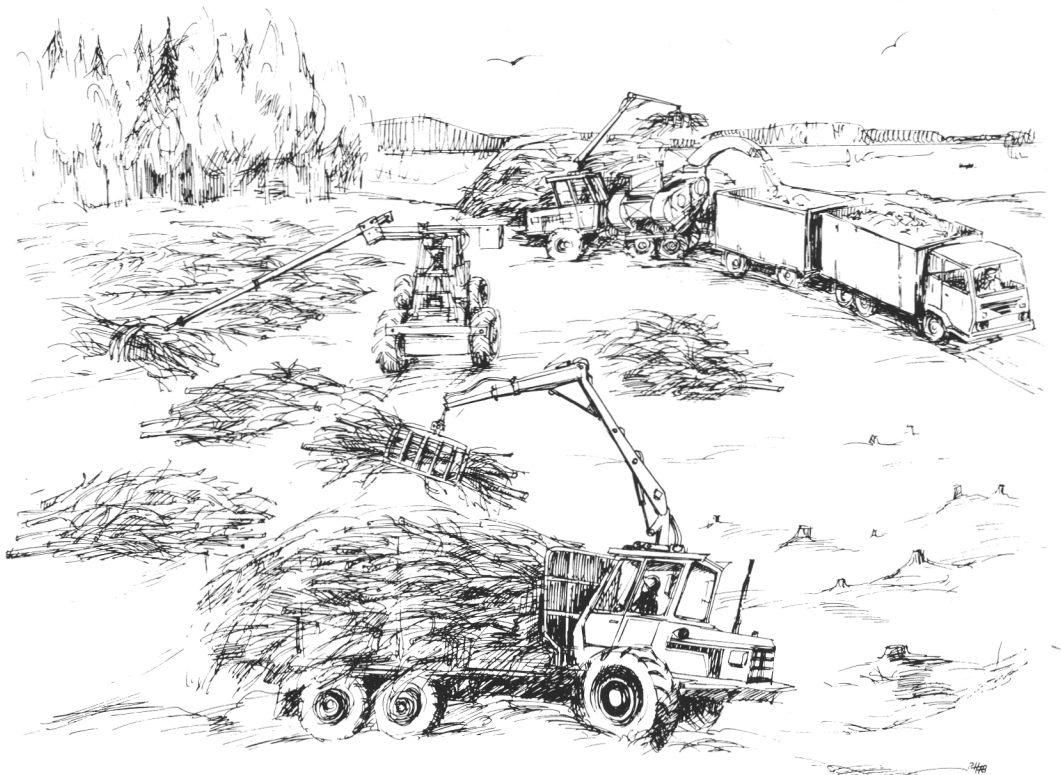
Hakkuutähteellä ei ole taloudellista käyttöä, vaan se jätetään metsään lahoamaan. Asutuksen välittömässä läheisyydessä sen järeimmästä osasta kerätään kyllä satunnaisesti polttopuuta, mutta tämän toiminnan merkitys on vähäinen.

Hakkuutähteen puupitoisuus on erityisesti kuusella perin alhainen. Oksien kuivussa neulaset varisevat ja puupitoisuus nousee, mutta vielä tuolloinkin kuoren osuus on

poikkeuksellisen korkea. Tämä heikentää hakkuutähteen arvoa teollisuuden raaka-aineena (vrt. H a k k i l a 1972).

	Puupitoisuus, %
Hakkuutähteet neulasineen	
Mänty	50—60
Kuusi	40—50
Hakkuutähteet neulasitta	
Mänty	70—75
Kuusi	60—65

Hakkuutähteestä tehdyn hakkeen puupitoisuutta voidaan kohottaa seulomalla tai muulla tavoin lajittelemalla. Poistamalla lähinnä kuoresta koostuva polttojäte siitä voidaan saada teknisesti kelvollista lastu- ja kuitulevyjen sekä tiettyjen sulfaattimassalautujen seosraaka-ainetta. Puuaines on kuitenkin verraten lyhytkuituista ja sellaisena rinastettavissa monilta ominaisuuksiltaan lehtipuuhun, jonka kysynnän teolliseen jalostukseen oletetaan säilyvän lähivuosina laimeana. Koska lajitellun hakkuutähdehak-



Kuva 15. Hakkuutähdehакkeen korjuuketju: oksien ja latvojen kasaus, kuormatraktorikuljetus, haketus välivarastolla sekä autokuljetus.

Figure 15. Logging schedule for harvesting slash: bunching of tops and branches, forwarding, chipping at the landing site and truck transport.

keen kustannukset ovat lisäksi korkeat, sen teollinen jalostaminen tuskin tulee kysymykseen nykyisessä markkinatilanteessa.

Hakkuutähde on näin ollen luettava potentiaaliseen polttopuureserviimme. Puuraaka-aineen ja energian hintasuhteitten kehittymisestä riippuu, tähdätäänkö tulevaisuudessa yksinomaisesti polttoon vaiko sen rinnalla myös osittaiseen jalostuskäyttöön. Seuraavat vaihtoehdot ovat tarjolla.

1. Hake poltetaan kokonaisuudessaan.
2. Hakkeen puupitoisimmat jakeet erotetaan massa- tai levyteollisuuteen, muu osa poltetaan.
3. Edellisen lisäksi erotetaan pääosa viheraineesta erilliseksi jakeeksi kemian tai biokemian teollisuudessa käytettäväksi. Tällöin hakkuutähde edellytetään korjattavaksi tuoreena.

Neuvostoliitossa valmistetaan neulasista siipi- ja nautakarjan rehua, klorofyllitahnaa, vitamiineja, eteerisiä öljyjä ja silvikemikaaleja. Neulasten jalostus laajassa mittakaavassa on meidän oloissamme kuitenkin niin etäinen mahdollisuus, että hakkuutähteen viheraines voidaan lähitulevaisuudessa hyödyntää vain energiakäytön kautta.

Neulasten talteenotto johtaa toisaalta metsämaan ravinnetappioihin, jotka ainakin karuilla mailla jouduttaisiin maan viljavuuden ylläpitämiseksi korvaamaan lannoittamalla. Koska lannoitteina annetuista ravinteista osa huuhtoutuu, joudutaan tuolloin käyttämään suurempia ravinnemääriä kuin korjattu puu itse asiassa sisältää (Mälkönen 1974). Kun neulasten kulkeutuminen metsästä johtaa myös vaikeasti arvioitaviin hivenainemenetyksiin, ei toistaiseksi ole perusteltua pyrkiä korjaamaan hakkuutähteitä viheraineineen.

Seuraavassa kuvattu tekniikka tähtää hakkuutähteitten talteenottoon ilman viherainetta. Laskelmat teknisesti korjattavissa olevan hakkuutähteen määrästä perustuvat viheraineettoman tähteen korjuuseen niinkään.

Korjuutekniikka

Hakkuutähde on korjattava hakkeena, sillä kokonaisten oksien ja latvakappaleitten kaukokuljetus on suuren tilantarpeen vuoksi epätaloudellista (kuva 15). Ainoastaan poikkeustapauksissa, kun hakkuuala sijaitsee käyttöpaikan läheisyydessä, voi tähteitten

kuljetus hakettamattomana tulla kysymykseen. Yritykset hakkuutähteen paalaamiseksi eivät ole toistaiseksi johtaneet tyydyttävään tulokseen.

Oksien ja muun tähteen käsittely on vaikeata laikkaterällä varustetulla hakkurilla. Laikkahakkurin syöttöaukko näet on liian ahdas kyetäkseen vaivatta nielemään epäjärjestyksessä olevan oksaraaka-aineen. Kooltaan riittävä syöttöaukko voidaan sen sijaan rakentaa rumputeräiseen hakkuriin. Tälle periaatteelle pohjautuu Algol monikäyttö-hakkuri, jossa syöttöaukon leveys on 100 cm ja korkeus 30 cm.

Algol monikäyttö-hakkuri on asennettu metsätraktorin kuormatilaan kääntökehän päälle. Peruskoneratkaisusta huolimatta se on välivarastohakkuri eikä ole tarkoitettu työskentelemään palstalla. Hakkeen se puhaltaa rinnallaan tai takanaan odottavaan perävaunulliseen kuorma-autoon. Tuotos ja kustannukset ovat seuraavat (M e l k o ja M ä k e l ä 1978).

	m ³ /h	mk/m ³
Tuore tähde	10.4	24.00
Kuivahko tähde	11.3	22.10
Ylivuotinen tähde	13.0	19.20

Hakkuutähde kuljetetaan palstalta välivarastolle vakiorakenteisella metsäkuljetuskalustolla, johon on kuitenkin paikallaan tehdä tiettyjä muutoksia. Lähinnä ovat tarpeen kouran tartuntapinnan pidentäminen sekä kuormatilan leventäminen.

Tehokas metsäkuljetus edellyttää, että kuormatraktori saa kerätä tähteet riittävän suurilta kasoilta. Mikäli runkopuu on korjattu monitoimikoneilla, tähteet ovat kuormauksen kannalta edullisissa muodostelmissa eikä erillistä kasausta tarvita. Pääosa puutavarasta tehdään edelleen kuitenkin moottorisahalla, jolloin levälleen jäävät hakkuutähteet on ennen kuljetusta kasattava. Tämä tehdään esimerkiksi metsätraktorin pitkäulotteiseen puomiin asennetulla hakkuutähdeharavalla, jolla tähteet vedetään ajouran tuntumaan. Kasaukseen voidaan käyttää myös haarukakouralla varustettua pientraktoria.

Kasauksen ja kuljetuksen tuotos vaihtelee olosuhteista riippuen. Keskimäärin lienee päästävässä seuraaviin tuloksiin, kun kasaus tapahtuu lumettomaan aikaan hakkuutähdeharavalla (vrt. M e l k o 1976a) ja kuljetus suurennetulla kuormatilalla varustetel-

la metsätraktorilla (vrt. M ä k e l ä 1975, M e l k o 1976b).

	Tuotos m ³ /h	Kustannus mk/m ³
Kasaus	12	11
Metsäkuljetus (300 m)	8	15

Jos kysymyksessä on monitoimikonetyömaa, erillisen kasauksen kustannukset jäävät pois. Koska monitoimikoneitten osuus kaikesta korjatusta puutavarasta on toistaiseksi verraten vaatimaton, tässä katsauksessa kustannukset lasketaan yksinomaan moottorisahatyömaita vastaavina.

Talteenoton mahdollisuudet ja kustannukset

Vuoden 1980 perussuunnitteen mukainen hakkuusuunnite, 58,5 milj. m³ runkopuuta, tuottaa puutavaran nykyisten laatuvaatimusten puitteissa markkinakelvotonta hakkuutähdettä viheraine mukaan luettuna 22,4 milj. m³. Tähteen lämpöarvo vastaa 4,2 milj. ekvivalenttista öljytonnia.

Hakkuutähteen korjuumahdollisuudet riippuvat energian hinnasta. Mutta vaikka öljyn hinta nousisi huomattavasti nykyisestäään, useat biologis-tekniset tekijät supistavat korjuukelpoisen tähteen määrän vain pienen osaan edellä mainitusta.

- Talteenotto rajoittuu avohakkuualoille.
- Koneitten siirtokustannusten kurissa pitämiseksi leimikon on täytettävä tietty vähimmäiskoko, joksi tässä laskelmassa on asetettu 300 m³ runkopuuta. Toiminnan alkuvaiheessa, kun hakkuutähdehakkeen käyttö on vähäistä, korjuu voisi rajoittua esimerkiksi yli 500 runkopuukuutiometrin kohteisiin.
- Osa avohakkuualoista on jätettävä korjuutoiminnan ulkopuolelle kivisyyden, heikon kantavuuden tai muutoin vaikeitten maastotekijöiden vuoksi.
- Jotta hakkuutähdeitten korjuu ei tarpeettomasti raskaita metsämaan ravinnetasetta, talteenoton tulee tapahtua viheraineetta.
- Edellisestä huolimatta biologisesti arat ravinneköyhät kasvupaikat rajataan hakkuutähdeitten talteenoton piiristä.
- Korjuukohteiksi hyväksytyiltä aloilta viheraineeton-takaan hakkuutähdettä ei saada kokonaisuudessaan talteen. Tässä oletetaan korjuukohteiksi hyväksytyjen avohakkuualojen tähteestä saatavan viherainetta lukuun ottamatta talteen 65 %. Näinkin tehokas talteenotto edellyttää kuitenkin huolellista työskentelyä, mikä puolestaan kohottaa kustannuksia. Mainittakoon, että Suomen Metsäteollisuuden Keskusliiton asettaman hakkuutähdeprojektin loppuraportissa talteen saantoprosentiksi on moottorisahatyömaille oletettu vain 37 tai 45, mutta vertailukohtana on tuolloin hakkuutähdeitten koko biomassassa neulaset mukaan luettuina (vrt. M e l k o ja M ä k e l ä 1978). Miten tarkkaan keruu

kannattaa tehdä, riippuu tietenkin polttohakkeen hinnanmuodostuksesta.

Edellä lueteltujen laskentaperusteitten mukaan korjuukelpoisen viheraineettoman hakkuutähteen määrä on 3,0 milj. m³ vuodessa. Sen lämpöarvo vastaa 0,6 milj. ekvivalenttista öljytonnia. Toiminta on ulotettava sitä vaikeampiin oloihin, mitä suurempi osuus tästä pyritään hyödyntämään. Toisaalta on kuitenkin oletettavissa, että menetelmät kehittyvät käytännön kokemusten myötä.

Hakkuutähdehakkeen korjuu- ja kaukuljetuskustannusten arvioon sisältyy monta epävarmuustekijää, sillä käytännön toimintaan perustuvia kustannustietoja ei ole olemassa. Seuraava asetelma kuvaa moottorisahatyömaalta korjattavan hakkuutähdehakkeen kustannuksia edullisissa leimikko-oloissa, joista talteenotto ensimmäisessä vaiheessa tulisi aloittaa. Hakkeen hinta käyttöpaikalla on 76 mk/m³. Ekvivalenttista öljytonnia kohti laskettuna hakkuutähdehakkeen hinta on 380 mk. Mikäli korjuutoiminta paisuu laajoihin mittasuhteisiin, kustannukset kohoavat siirryttäessä pienempiin leimikoihin.

	Mk/m ³
Kasaus ja lähikuljetus	26
Haketus	22
Yleiskulut	10
<hr/>	
Korjuu yhteensä	58
Autokuljetus (70 km)	18
<hr/>	
Kustannus käyttöpaikalla	76

Hakkuutähdehakkeen kustannuksiin ei ole sisällytetty metsänomistajalle maksettavaa kantohintaa. Metsänviljelytöitten helpottuminen, hyönteistuhojen väheneminen ja maisemanhoidolliset etunäkökohdat lienevät nykytilanteessa metsänomistajan kannalta riittävä korvaus tähteitten luovuttamisesta, edellyttäen että korjuu tapahtuu viheraineetta. Suurien hakkuutähdemäärien hankkiminen edellyttää kuitenkin myös kantohinnan maksamista.

Hakkuutähdehake on sellaisenaan kelvokas sekä pientaloissa että voimaloudessa poltettavaksi. Ylivuotisia halkoja lukuun ottamatta viheraineetta korjattu hakkuutähde on muita tässä katsauksessa käsiteltäviä puupolttoaineita kuivempaa.

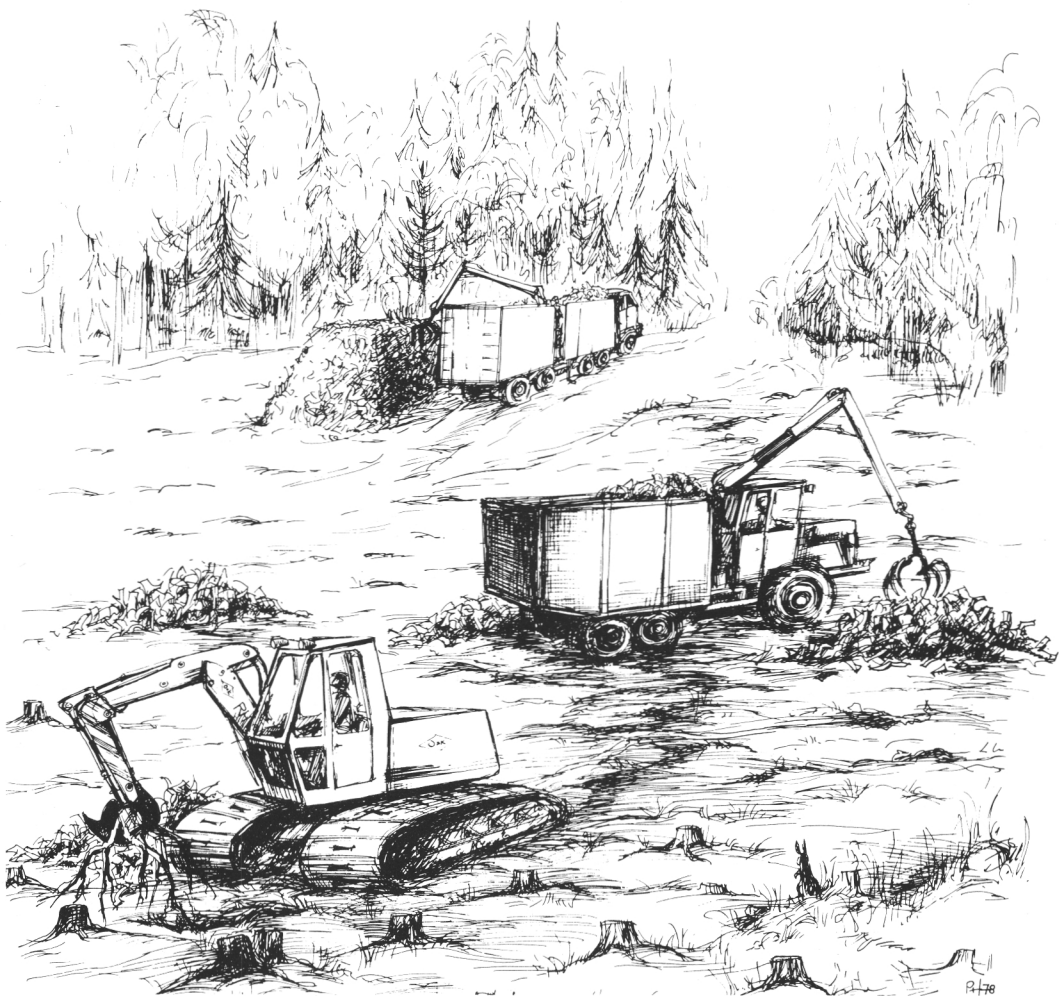
Hakkuutähdehakkeen korjuuketju rakentuu teknisistä syistä järeään välivarastohakurin ympärille. Tasapainoinen järjestelmä

edellyttää myös muitten työvaiheitten koneellistamista, ja siitä syystä hakkuutähteitten polttoainekäytön työllistävä vaikutus ulottuu vain koneen kuljettajiin. Yhden miljoonan hakkuutähdekuutiometrin korjuu merkitsee kaikkiaan 200-300 miestyövuotta metsäpäässä. Tämän lisäksi tulevat kaukokuljetukseen ja käyttöpaikalle syntyvät työpaikat. Yhden öljytonnin korvaaminen hakkuutähdehakeella tuottaa metsäpähän vastaavasti 0,25 miestyöpäivää. Osa töistä on ehdottomasti suoritettava kesäaikaan, mutta osa lienee ajoitettavissa ympärivuotiksi.

44. Kantopuun korjuu

Taustaa

Kantopuuta käytettiin aikanaan maataloudessa polttoaineena. Vielä 1930-luvulla poltettiin vuosittain yli 200 000 m³ kantoja, joista pääosa oli peräisin pellonraivaustyömailta. Lisäksi valmistettiin vanhoista tervaskannoista puuhiiltä ja tervaa, joitten tuotanto saavutti merkittävät mittasuhteet viimeisen kerran toisen maailmansodan aikana ja sitä seuranneena pulakautena. Vuotuiset käyttömäärät jäivät parhaimmillaankin sel-



Kuva 16. Kanto- ja juuripuun korjuuketju: irrottaminen ja paloittelu, kuormatraktorikuljetus välivarastolle sekä autokuljetus.

Figure 16. Logging schedule for harvesting stump and root wood: uprooting and splitting, forwarding and truck transport.

västi alle 100 000 m³:n (vrt. Erkkilä 1943, Kärrkäinen 1975). Kun korjuu tapahtui yksinkertaisilla käsityökaluilla ja räjäyttämällä, talteenotto kävi vähitellen kustannustason kohotessa kannattamattomaksi. Kantopuun käyttö tyrehtyi Suomessa.

Männyn ja kuusen kantopuulla on ominaisuuksia, joitten ansiosta sen ensisijainen käyttökohde on sulfaattimassateollisuudessa. Runkopuuhun sekoitettuna kantomasalla on edullinen vaikutus muun muassa säkki- ja painopaperia valmistettaessa. Kantopuuta keitetessä myös sivutuotteitten — tärpätin ja mäntyöljyn — saanto on korkea. Useat sulfaattimassatehtaat voisivatkin käyttää kantoja kuituteknisten ominaisuuksien puolesta runkopuuta korvaavana seosraaka-aineena siinä laajuudessa, kuin niitä korjuu- ja kuljetusnäkökohdat huomioon ottaen on saatavissa (Isotalo 1972). Käyttömahdollisuuksia edistää merkittävästi uusi tekniikka, jolla kantoraaka-aine voidaan murskata ja puhdistaa keittokelpoiseksi (vrt. Nyholm 1976).

Kantopuu on siis luettava sulfaattimassateollisuutemme potentiaaliseen raaka-ainereserviin. Kun tämän teollisuudenhaaran tuotteitten menekki ei kuitenkaan nyt näytä edellyttävän kantoraaka-aineeseen kajoamista, on paikallaan ottaa kantopuu huomioon myös polttoainereservinä. Kansantaloutemme etujen mukaista on hyödyntää juurakotkin mahdollisimman tarkoin, ja milloin niitä ei tarvita teollisuuden jalostukseen, on energiakäyttö varteenotettava vaihtoehto. Tämä mahdollisuus varmistaisi teollisuuden tarpeita varten luodun korjuuorganisaation keskeyttämättömän toiminnan myös massa- ja paperituotteitten kysynnän lama-aikoina.

Korjuutekniikka

Kantopuun hankinta käsittää muun puutavaran tavoin kolme päävaihetta: puutavaran teko, lähikuljetus ja kaukokuljetus (kuva 16). Kuljetuksen osalta erot eivät ole niinkään suuria, mutta teko poikkeaa perinteisestä korjuutyöstä monin tavoin. Kaadon, karsimisen ja pölkyttämisen sijalle tulevat maasta irrottaminen, puhdistaminen ja paloittelu. Vain kasaus on kummallekin yhteistä.

Ergonomisista ja kustannussyistä kanto- puun talteenotto ei käy enää käsityönä. Tukkipuitten juurakoita nostettaessa ja pa-

loiteltaessa tarvitaan niin suuria voimia, että koneellistettukin korjuu onnistuu vain järeällä kalustolla. Toiminta soveltuu luonteeltaan lähinnä urakoitsijoille, kun taas maati- lojen omatoimisesti suorittamana se tuskin tulee kysymykseen.

Korjuumenetelmät, joitten varassa on mahdollista hankkia suuria määriä hakkuu- alojen kantopuuta jalostus- tai energiakäyt- töön, rakentuvat tällä hetkellä Pallarin kan- toharvesterin ympärille (vrt. Hakki- la 1976, Nylander 1977). Sen peruskoneeksi soveltuu teloilla kulkeva kaivukone tai pyörillä kulkeva kaato-kasauskone, jonka puumiin kantopuun korjuuseen suunniteltu nosto-paloittelulaite kiinnitetään. Peruskoneen vaihtoheldoista kaivukone on kustannuksiltaan edullisempi.

Pallarin kantoharvesteri on monitoimikone, joka suoriutuu kaikista kannonkorjuun tekovaiheen töistä: juurakon irrottaminen maasta, karkea puhdistaminen, paloittelu sekä palojen kasaus kuormatraktorin varten. Työtekniikka ja -järjestys riippuvat asetetuista laatuvaatimuksista, puulajista, juurakoitten koosta, maaperästä ynnä muista tekijöistä. Pyrkimyksenä on poistaa irtain maa-aines mahdollisimman tarkoin ja paloitella juurakot lähi- ja kaukokuljetuksen kannalta edulliseen muotoon. Kokonaisena juurakoita ei suuren tilantarpeen vuoksi voida kuljettaa.

Tuotos jää luonnollisista syistä paljon pienemmäksi kuin runkopuun korjuussa. Kokemusten karttuessa ja menetelmien tehostuessa tulokset ovat kuitenkin parantuneet. Stora Kopparberg Ab:n työmailla kesällä 1977 työskennelleitten 10 kantoharvesterin keskimääräinen käyttötuntituotos oli 3,7 m³.

Suomalaisilla työmailla kantoharvesterin tuotokset ovat jääneet pienemmiksi, mutta tällöin on käytetty kevyempää peruskonetta ja yksinkertaisempaa nosto-paloittelulaitetta. Paloittelussa ja puhdistuksessa on lisäksi noudatettu ankarampia vaatimuksia. Tuotos riippuu myös seuraavista tekijöistä.

- Kuusella tuotos on 30—40 % korkeampi kuin männillä.
- Tuotos kasvaa juurakon koon mukana. Läpimitaltaan alle 20—25 cm:n kantojen talteenotto ei ole tarkoituksenmukaista tällä menetelmällä.
- Tuotos laskee, jos palakokoa pienennetään. Joutseno-Pulp Osakeyhtiön asettama kantopalojen enimmäismitta on 30 x 30 x 70 cm, kun taas Stora Kopparberg Ab hyväksyy 50 x 50 x 100 cm:n kokoiset palat.

— Moreenimaalla tuotos on korkeampi kuin kovilla sedimenttimailla. Maan kivisyys hidastaa työskentelyä.

Kantoharvesteri jättää kantopalat pienille kasoille, joilta ne kuljetetaan välivarastolle kuormatraktorilla. Se varustetaan kipattavalla kuormatilalla, metallilevystä tai -verkosta tehdyillä laidoilla sekä kantopalojen käsittelyyn sopivalla kouralla. Kesällä 1977 oli neljän kuormatraktorin keskimääräinen kuljetustuotos Stora Kopparberg Ab:n työmailla 6,9 m³/h.

Kaukokuljetus välivarastolta käyttöpaikalle tapahtuu edullisimmin kuormaimella varustetulla täysperävaunullisella hakeautolla, jonka laidat tulee vahvistaa. Kantopalojen paino on käytännössä 250—330 kg kuormatilan kuutiometriä kohti, joten suurin sallittu puutavarakuorman paino saavutetaan 70-90 m³:n lavarakenteella.

Talteenoton mahdollisuudet ja kustannukset

Tarjolla olevan kantuun määrä riippuu perinteisen runkopuutavaran hakkuista. Jos ne nousevat vuoden 1980 suunnitteen edellyttämälle 58,5 milj. m³:n tasolle, kantuuta syntyy vuosittain 13,0 milj. m³ vastaten lämpöarvoltaan 2,5 milj. ekivalenttista öljytonnia.

Mikään näköpiirissä hämmäyttävä tekniikka ei lähimainkaan mahdollista kaiken kantuun talteenottoa. Seuraavat teknis-taloudelliset tekijät supistavat korjattavissa olevan kantuun määrää kaikissa menekkioloissa.

- Korjuu on rajoitettava päätehakuualoille.
- Vain tukkipuun mitat täyttävien runkojen kannot kannattaa ottaa talteen.
- Järeitten koneitten käyttö tulee kysymykseen vain tietyn vähimmäiskoon täyttävillä kannoilla. Rajaksi oletetaan tässä järeähkö leimikko, josta saadaan 300 m³ runkopuuta.
- Osa kannoista jää korjaamatta vaikeitten maastolojen vuoksi.
- Tietty metsämaat ovat biologisesti niin arkoja, että ne on jätettävä korjuutoiminnan ulkopuolelle. Tällaisia hakkuualoja on etenkin Lapissa.
- Korjuun kohteiksi valituissa leimikoissa kantuuta hukkaantuu ketjun eri vaiheissa. Tässä oletetaan, että 10 % kelpoisesta kantuusta jää tähteeksi.

Näillä perusteilla puuvaraselvitystä (1976) varten tehty arvio päättyi teknisesti korjuukelpoisen kantuun osalta 2,4 milj. m³:iin vuonna 1980. Niin kauan kuin sitä ei voida hyödyntää sulfaattimassateollisuudessa, se muodostaa 0,5 milj. ekivalenttista öljytonnia

vastaavan vuotuisen polttoainereservin.

Kantuun korjuu- ja kaukokuljetuskustannukset vaihtelevat olosuhteista riippuen laajoissa rajoissa. Seuraava asetelma kuvaa Mackmyra Ab:n kantolaitoksen raaka-aineen kustannusrakennetta vuonna 1977. Ensimmäinen lukusarja osoittaa kantopalojen kustannuksen ennen hakettamista. Jälkimmäiset luvut puolestaan kuvaavat kantuista tehdyn puhdistetun hakkeen kustannuksia, kun 25 %:n raaka-ainehäviö otetaan huomioon.

	Kantopalat mk/m ³	Kantohake mk/m ³
Nosto ja paloittelu	34	44
Lähikuljetus	15	20
Autokuljetus	33	44
Yleiskulut	8	11
Yhteensä	90	119
Haketus ja puhdistus		31
Yhteensä		150

Kantuunalojen kustannus käyttöpaikalla on korkeampi kuin minkään muun tässä katsauksessa käsitellyn potentiaalisen polttopuulajin. Ekvivalenttista öljytonnia kohti laskettuna kantuunalojen kustannus on 455 mk. Kantupalat eivät vielä sellaisenaan sovellu polttoon. Puhdistetun kantuunahakkeen kustannus on oleellisesti korkeampi, 758 mk/m³.

Koska korjuun kaikki vaiheet on koneellistettu, kantuun poltto toisi metsäpäässä uusia työpaikkoja vain koneen kuljettajille. Kun ainakin nostovaihe keskittyy lumettoomaan aikaan, työllistävä vaikutus on suurin kesällä. Kantuunalojen lähikuljetuskin keskeytynee sydäntalven ajaksi.

Esimerkiksi yhden miljoonan kantuunakuutiometrin korjuuseen vaaditaan nykytekniikalla noin 200 puolen vuoden ajan kahdessa vuorossa työskentelevää kantuunaharvesteria, jolloin kuljettajia tarvitaan 400. Metsätraktorin kuljettajien tarve on ympäri vuoden noin 100. Yhden öljytonnin korvaaminen kantu- ja juuripuulla tuottaa metsäpäähän 0,35-0,40 miestyöpäivää.

Työn kausiluontoisuus tasoittuu, jos kesäaika keskitytään vain nostoon, jolloin paloittelua voidaan tehdä myös talvikaudella. Nosto- ja paloitteluvaiheitten irrottaminen toisistaan kohottaa kuitenkin kustannuksia.

Kantuun käyttöä polttoaineena vaikeuttavat kivet, hiekka ja muu irtain aines.

Jos varastointiaikaa pidennetään, kantopaloissa tapahtuu puhdistumista kuoren varisemisen ja sadeveden vaikutuksesta, mutta senkin jälkeen epäpuhtaudet aiheuttavat polttolaitteissa ongelmia. Vain suolta korjattu kantopuu on polton kannalta puhdasta.

Nykyisellä korjuutekniikalla kantopuu tulee käyttöpaikalle järeinä paloina, joitten automaattinen syöttö kattilaa tuottaa vaikeuksia. Kantopalojen murskaus aiheuttaa lisäkustannuksia ja tulee kysymykseen vain suurissa kulutuspisteissä. Valmius kantopuun polttoon on paljon pienempi kuin muilla tässä katsauksessa käsitellyillä puutavaralajeilla.

Kantopuun hyväksikäyttöä puoltavat myönteiset seurannaisvaikutukset: Maan pinnan rikkoontuminen on eduksi metsänviljelyssä, etenkin jos juurakoitten poistami-

nessa tapahtuvaa laikuttumista täydenne-tään tarpeen mukaan kantoharvesterilla. Yksinomaan tämän työn arvo on niin suuri, että metsänomistajalle lienee edullista luovuttaa juurakot ilman varsinaista kantohintaakin.

Kantopuun talteenotto on eduksi myös metsän hygienian kannalta. Etelä-Suomen kuusikoitten vaarallinen tuholainen, maan-nousemasieni, siirtyy puusukupolvesta toiseen kantojen välityksellä. Ainoa varma menetelmä maan-nousemasienen hävittämiseksi hakkuualalta on juurakoitten poistaminen. Vastaavasti eräät tuohyönteiset, joista merkittävin on tukkikärsäkäs, menettävät kantojen mukana leviämislustan. Nämä tekijät puoltavat voimakkaasti kantojen talteenottoa.

5. YHTEENVETO

Suomen metsissä on vailla käyttöä huomattava määrä pienpuuta ja metsätähdettä. Tämä heikkolaatuinen, runsaasti kuorta sisältävä puuaines soveltuu eräitten teollisuuden alojen raaka-aineeksi, mutta nykyisessä kustannus- ja markkinatilanteessa sen laajamittainen teollinen jalostaminen ei tule kysymykseen. Näin ollen sitä voidaan pitää kotimaisena polttoainereservinä.

Teknisesti on mahdollista ottaa metsistämme talteen markkinakelvotonta pienikoista puuta kokopuuhaakeena, avohakkuualojen oksia ja hukkarunkopuuta hakkuutähdehaakeena sekä tukkipuitten juurakoita kantopaloina vuosittain kaikkiaan 15,3 milj. m³, mikä vastaa lämpöarvoltaan 2,9 milj. tonnia polttoöljyä. Lyhytkuituisen massan ja levytuotteitten markkinatilanteesta riippuen jää vuosittain käyttämättä lisäksi myös 0–4 milj. m³ lehtipinopuuta, joka muodostaa 0–0,8 milj. öljytonnia vastaavan ajoittaisen polttoainereservin.

Lukuun ottamatta teollisuuden jätepuuta ja kuorta maassamme käytettiin vuonna 1976 kaikkiaan 6,8 milj. m³ halkoa ja rannakamaista polttopuuta. Edellä mainittu pienpuureservi mahdollistaa polttopuun käytön

kolminkertaistamisen. Tämän nykyisin markkinakelvottoman puun ohjaaminen polttoainekäyttöön vahvistaisi energiaomavaraisuuttamme. Sillä olisi suuri merkitys myös metsäalan työllisyydelle sekä metsien hoidolle.

Yksityistaloudellisesti puu on monissa tapauksissa edelleen kallista polttoaineena. Puun polton kannattavuutta alentavat öljyyn verrattuna heikompi hyötysuhde ja korkeat investointikustannukset, joita ei käsitellä tässä katsauksessa. Puun kilpailuasema tuontipolttoaineitten rinnalla on kuitenkin vahvistumassa.

Kannattavuuden suhteen on ratkaisevaa, onko puuta verrattava esimerkiksi raskaaseen vai kevyeen polttoöljyyn. Vuoden 1978 alkaessa eri polttopuulajien kustannus käyttöpaikalla on keskimäärin seuraava, kun kuljetusmatka on 70 km. Uusien polttopuulajien osalta hinnat edellyttävät verraten edullisia leimikkokohteita, minkä vuoksi autokuljetusmatka on oletettu varsin pitkäksi. Mikäli korjuutoiminta saavuttaa todella laajat mittasuhteet, joudutaan hyväksymään myös vaikeampia leimikoita, mikä puolestaan kohottaa kustannustasoa.

	Kustannus, mk/m ³			Mk/ toe*
	Korjuu ja kuljetus	Kanto- hintaa	Yhteensä	
Halko				
Koivu	99	18	117	512
Leppä	99	8	107	653
Ranka 2-metrisenä				
Koivu	65	18	83	386
Leppä	65	8	73	474
Kokopuuhake, avohakkuu				
Koivu	73	9	82	404
Leppä	73	5	78	493
Kokopuuhake, harvennus				
Koivu	81	9	90	443
Leppä	81	5	86	540
Havupuu	81	28	109	629
Hakkuutähdehake	76	—	76	380
Kanto- ja juuripuu				
Paloina	90	—	90	455
Puhdistettuna hakkeena	150	—	150	758

* Kustannus ekvivalenttista öljytonnia kohti, kun puun kosteus on halolla 20 % ja muilla tavaralajeilla 40 %.

Eri polttopuulajeja keskenään vertailtaessa on otettava huomioon, että vain hake on sellaisenaan valmista automaattisissa poltto-

laitteissa käytettäväksi. Rangat, halot ja kantopalat eivät täytä tätä vaatimusta, joten niiden käsittely käyttöpaikalla aiheuttaa vielä huomattavia lisäkustannuksia. Kustannuksiltaan edullisimmilta näyttävät niin ollen hakkuutähdehake sekä lehtipuinen kokopuuhake. Esitetyn kustannustason saavuttaminen edellyttää kuitenkin oikeata korjuukalustoa ja siihen perustuvan organisaation luomista. Yksinkertaisinta ja taloudellisesti edullisinta polttohakkeen käyttöön siirtyminen lienee maatilataloudessa.

Kansantaloutemme kannalta puun polton laajentaminen näyttää nykytilanteessa suotavalta. Pien- ja jätepuun energiakäyttö avaisi uusia työpaikkoja, ja sillä olisi myönteinen vaikutus metsänhoito-ohjelmien toteuttamiseen. Puun biomassan tehostuvan talteenoton yhteydessä on kuitenkin pidettävä huoli siitä, että metsän ekologista tasapainoa ja maan ravinnetasetta ei vaaranneta. Huomiota tulee kiinnittää esimerkiksi viheraineen jättämiseen kasvupaikalle sekä tuhkan palauttamiseen luontoon.

KIRJALLISUUSLUETTELO

- AHOKAS, J. 1977. Vesakon koneellinen korjuu. Vako-
lan tiedote 25/77: 1—8.
- ARNKIL, J. E. 1977. Mitä käytännön metsätalous
odottaa metsäntutkimuslaitokselta Silva Fennica
Vol. 11 (2): 113—114.
- CARLSON, C. E. ja MÄKINEN, R. 1978. Lämpöhuol-
tomme vaihtoehdot. Helsingin Sanomat n:o 16: 2.
- Energia 1975—1985, Osat I ja II. Komiteamietintö
1976: 92. Helsinki.
- ERKKILÄ, E. 1943. Maaseutuväestön puunkäytön koko-
naismäärä ja sen kehitys. Referat: Der Gesamtholzver-
brauch der Landbevölkerung und seine Entwick-
lung. Commun. Inst. For. Fenn. 32 (1): 1—375.
- ETTALA, J., ASPLUND, D. ja EKMAN, E. 1977.
Energian tuotto biomassasta. Esitutkimus. Valtion
Teknillinen Tutkimuskeskus. Poltto- ja voiteluaine-
laboratorion tiedonanto 15: 1—65.
- GISLERUD, O. 1974. Heltreutnyttelse. IV. Biomasse
og biomasseegenskaper hos tynningsvirke av gran,
furu, bjørk og or. Summary: Biomass and biomass
properties of trees from thinnings of spruce, pine,
birch and alder. Norsk Institutt for Skogforskning.
Skogteknologisk avdeling. Rapport 6/74.
- HAKKILA, P. 1966. Investigations on the basic density
of Finnish pine, spruce and birch wood. Lyhennel-
mä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuai-
neen tiheydestä. Commun. Inst. For. Fenn. 61 (5):
1—98.
- 1967. Vaihtelumalleja kuoren painosta ja painopro-
sentista. Summary: Variation patterns of bark
weight and bark percentage by weight. Commun.
Inst. For. Fenn. 62 (5): 1—37.
- 1971. Coniferous branches as a raw material source.
Seloste: Havupuun oksat raaka-ainelähteenä. Com-
mun. Inst. For. Fenn. 75 (1): 1—60.
- 1972. Oksaraaka-aineen korjuumahdollisuudet
Suomessa. Summary: Possibilities of harvesting
branch raw material in Finland. Folia For. 159:
1—19.
- 1975. Kanto- ja juuripuun kuoriprosentti, puuai-
neen tiheys ja asetoniuutteitten määrä. Summary:
Bark percentage, basic density, and amount of ace-
tone extractives in stump and root wood. Folia For.
224: 1—14.
- 1976. Kantopuu metsäteollisuuden raaka-aineena.
Summary: Stumpwood as industrial raw material.
Folia For. 292: 1—39.
- HAKKILA, P., KALAJA, H. ja MÄKELÄ, M. 1975.
Kokopuunkäyttö pienpuuongelman ratkaisuna.
Summary: Full-tree utilization as a solution to the
problem of small-sized trees. Folia For. 240: 1—78.
- HAKKILA, P., KALAJA, H., SALAKARI, M. and
VALONEN, P. 1978. Whole-tree harvesting in the
early thinning of pine. Seloste: Kokopuuna korjuu
männikön ensiharvennuksessa. Folia For. 333:
1—58.
- HAKKILA, P. ja MÄKELÄ, M. 1975. Pallarin vesak-
koharvesteri. Summary: Pallari busharvester.
Folia For. 249: 1—18.
- HARSTELA, P. & TERVO, L. 1978. Taimikkopuun
korjuumenetelmien vertailua. Summary: Com-
parison between harvesting of sapling stands. Silva
Fennica.
- HEINO, E. & RUOTSALAINEN, M. 1976. Riukuastei-
sen taimiston käsittelymahdollisuudet vesakkohar-
vesterilla. Metsätehon seloste 4: 1—15.
- HEISKANEN, V. 1960. Halkojen varastoinnista. Pien-
puualan Toimik. Tied. 36: 1—4.
- HEISKANEN, V. ja JOKIHAARA, L. 1960. Puupoltto-
aineiden lämpöarvoista. Pienpuualan Toimikunnan
Tiedotus n:o 33: 1—5.
- HUIKARI, O. ja KARSISTO, K. 1978. Metsät energi-
an sitojana. Peltö-Pirkan Päiväntieto.
- HUTTUNEN, T. 1977. Suomen puunkäyttö, poistuma
ja metsätase 1974—76. Summary. Wood consump-
tion, total drain and forest balance in Finland,
1974—76. Folia For. 308: 1—49.
- ISOTALO, I. 1972. Kantojen käyttö sulfaattisellulo-
osan raaka-aineena. Ei julkaistu.
- KUUSELA, K. 1974. Metsäpolitiikan energiapolitiittinen
tausta. Kansallis-Osake-Pankin Tal. Kats. n:o 3:
3—8.
- 1977. Puun asema muuttuvassa raaka-aine- ja ener-
giastrategiassa. Kansallis-Osake-Pankin Tal. Kats.
n:o 3: 14—19.
- KÄRKKÄINEN, M. 1975. Kantojen käytön kehittämi-
nen Suomessa. Summary: Development of stump
utilization in Finland. Silva Fennica 9 (4): 284—302.
- 1976. Puun ja kuoren tiheys ja kosteus sekä kuoren
osuus koivun, kuusen ja männyn oksissa. Summary:
Density and moisture content of wood and bark,
and percentage in the branches of birch, Norway
spruce, and Scots pine. Silva Fennica 10 (3):
212—236.
- LEHTONEN, E. 1977. Puu pulasta pelastaa? VAPO
n:o 4: 5.
- LEHTONEN, I. 1977. Puu polttoaineena. Kirjallisu-
teen perustuva tarkastelu. Summary: Wood as fuel.
Folia For. 293: 1—16.
- LÖNNBERG, B. 1977. Kokopuun käyttömahdollisuu-
det kemian teollisuudessa. Oy Keskuslaboratorio.
Kirjallisuuskatsaus 164: 1—41.
- MELKKO, M. 1976a. Hakkuutähteiden kasaus liuku-
puomikuormaimella. Metsätehon katsaus 5/1976:
1—4.
- 1976b. Hakkuutähteiden metsäkuljetus kuorma-
traktorilla. Summary: Forest haulage of logging
residues by forwarder. Metsätehon tiedotus 339:
1—16.
- MELKKO, M. ja MÄKELÄ, M. 1978. Hakkuutähde
teollisuuden raaka-aineena. Käsikirjoitus.
- MÄKELÄ, M. 1975. Oksaraaka-aineen kasaus ja kulje-
tus. Summary: Bunching and transportation of
branch raw material. Folia For. 237: 1—19.
- MÄLKÖNEN, E. 1974. Hakkuutähteiden talteenoton
vaikutus metsikön ravinnearvoihin. Folia For. 210:
16—18.
- NYHOLM, P. 1976. Separate harvesting of fresh
stumps and roots, handling at the mill. ECE/FAO/
ILO. Symposium on the harvesting of a larger part
of the forest biomass. Hyvinkää.
- NYLINDER, M. 1977. Uptagning av stubb- och rot-
ved. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, redogörelse
nr 5/1977: 1—19.

- OLOFSSON, L. 1975. Värmevärden för olika delar av tall, gran och björk. Summary: Heating values for different parts of pine, spruce and birch. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsteknik. Skogshögsk. 90: 1—47.
- Puuvaraselvitys, 1976. Suomen Metsäteollisuuden Keskusliiton moniste. Ei julkaistu.
- SALAKARI, M. 1978. Kokopuuhakkeen korjuu ja käyttö maatilataloudessa. Käsikirjoitus.
- SALMI, J. 1964. Lahovikaisuuden vaikutus koivupuun lämpöarvoon. Summary: The influence of decay on the heat value of birch wood. Pienpuualan Toimik. Julk. 168: 1—27.
- SIMOLA, P. ja MÄKELÄ, M. 1976. Rasiinkaato kokopuiden korjuussa. Summary: Leaf-seasoning method in whole-tree logging. Folia For. 273: 1—18.
- SIRÉN, G. 1977. Energia ja metsätalous. Työtehoseuran Metsätiedotus 269: 1—4.
- TAIPALE, A. 1960. Tutkimuksia polttohakkeen varastoinnista. Summary: Studies of the storage of fuel chips. Pienpuualan Toimik. Julk. 100: 1—47.
- 1963. Sahanhakkeen kuivumisesta varastossa. Pienpuualan Toimik. Tied. 86: 1—4.
- VUORELAINEN, O. 1958. Puu polttoaineena ja puun polttolaitteet. Pienpuualan Toimik. Julk. n:o 49: 1—114.

ODC 333:363:377:831.1
ISBN 951-40-0324-1
ISSN 0015-5543

HAKKILA, P. 1978. Pienpuun korjuu polttoaineeksi. Abstract: Harvesting small-sized wood for fuel. Folia For. 342:1—38.

The fuel value of unmerchantable small-sized trees and logging residues left annually in the forests of Finland corresponds to 7.5 million tons of oil. An impediment to increasing the utilization of fuel wood is the lack of burning apparatus and the undeveloped state of harvesting methods. The review describes the recent development of cordwood, whole-tree chip, branch chip and stump wood harvesting methods for fuel utilization. Attention is paid to technology, productivity of work, costs and the quantities of low-quality wood available.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17

ODC 333:363:377:831.1
ISBN 951-40-0324-1
ISSN 0015-5543

HAKKILA, P. 1978. Pienpuun korjuu polttoaineeksi. Abstract: Harvesting small-sized wood for fuel. Folia For. 342:1—38.

The fuel value of unmerchantable small-sized trees and logging residues left annually in the forests of Finland corresponds to 7.5 million tons of oil. An impediment to increasing the utilization of fuel wood is the lack of burning apparatus and the undeveloped state of harvesting methods. The review describes the recent development of cordwood, whole-tree chip, branch chip and stump wood harvesting methods for fuel utilization. Attention is paid to technology, productivity of work, costs and the quantities of low-quality wood available.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17

ODC 333:363:377:831.1
ISBN 951-40-0324-1
ISSN 0015-5543

HAKKILA, P. 1978. Pienpuun korjuu polttoaineeksi. Abstract: Harvesting small-sized wood for fuel. Folia For. 342:1—38.

The fuel value of unmerchantable small-sized trees and logging residues left annually in the forests of Finland corresponds to 7.5 million tons of oil. An impediment to increasing the utilization of fuel wood is the lack of burning apparatus and the undeveloped state of harvesting methods. The review describes the recent development of cordwood, whole-tree chip, branch chip and stump wood harvesting methods for fuel utilization. Attention is paid to technology, productivity of work, costs and the quantities of low-quality wood available.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17

ODC 333:363:377:831.1
ISBN 951-40-0324-1
ISSN 0015-5543

HAKKILA, P. 1978. Pienpuun korjuu polttoaineeksi. Abstract: Harvesting small-sized wood for fuel. Folia For. 342:1—38.

The fuel value of unmerchantable small-sized trees and logging residues left annually in the forests of Finland corresponds to 7.5 million tons of oil. An impediment to increasing the utilization of fuel wood is the lack of burning apparatus and the undeveloped state of harvesting methods. The review describes the recent development of cordwood, whole-tree chip, branch chip and stump wood harvesting methods for fuel utilization. Attention is paid to technology, productivity of work, costs and the quantities of low-quality wood available.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17

- No 293 Lehtonen, Irja: Puu polttoaineena. Kirjallisuuteen perustuva tarkastelu.
Wood as a fuel. A study based on literature.
- No 294 Harstela, Pertti & Tervo, Leo: Männyn taimikon ja riukuasteen metsikön korjuun tuotos ja ergonomia.
Work output and ergonomical aspects in harvesting of sapling and pole-stage stands (Scots pine).
- No 295 Metsätilastollinen vuosikirja 1975.
Yearbook of Forest Statistics 1975.
- No 296 Heiskanen, Veijo: Etelä-Suomen ja Pohjois-Suomen puutavaran laatuero.
Quality differences of timber between Southern and Northern Finland.
- No 297 Paavilainen, Eero & Virtanen, Jaakko: Metsänlannoituksen vaikutuksen riippuvuus levitysmenetelmästä.
Effect of spreading method on forest fertilization results.
- No 298 Vuokila, Yrjö: Harsintaharvennus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä.
Selective thinning from above as a factor of growth and yield.
- No 299 Vuokila, Yrjö: Hyvän kasvupaikan haavikoiden kasvukyvyistä.
On the growth capacity of aspen stands on good sites.
- No 300 Paavilainen, Eero: Helppoliukoisten lannoitteiden vaikutuksen riippuvuus levityssajan-kohdasta turvemaalla.
Effect of application time on growth response to easily dissolving fertilizers on peatlands.
- No 301 Tiihonen, Paavo: Männyn ja kuusen tukkipuutaulukot. Tukkien minimiläpimittaluokka männnyllä 13 cm ja kuusella 13 ja 15 cm.
Massentafeln für Kiefern- und Fichtenblochholz. Mindestdurchmesserklassen der Blöcher für Kiefer 13 cm und für Fichte 13 und 15 cm.
- No 302 Simola, Paavo: Pienikokoisen lehtipuuston biomassa.
The biomass of small-sized hardwood trees.
- No 303 Vuokila, Yrjö: Talvikkityypin puuntuotannollinen asema metsätyyppijärjestelmässä.
Position of the Pyrola type in the forest site type system of Cajander.
- No 304 Puro, Tiina: Operaatio metsänlannoitus II. Tuloksia uusintalannoituksesta.
Results of the second fertilization with nitrogen.
- No 305 Virtanen, Jaakko & Ylinen, Mikko: Ojitusalueiden lentolannoitus.
Aerial spreading of fertilizers on peatlands.
- No 306 Astorga S., Luis E.: Effectuating possibilities of waste wood utilization in Finland.
Step 1.
Jätepuun käytön tehostamismahdollisuudet Suomessa. Osa 1.
- No 307 Kilkki, Pekka, Kuusela, Kullervo & Siitonen, Markku: Puuntuotanto-ohjelmat Etelä-Suomen piirimetsälautakuntien alueille.
Timber production programs for the forestry board districts of Southern Finland.
- No 308 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1974—76.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1974—76.
- No 309 Mäkelä, Markku: Hakkuutähteen ominaisuuksien muuttuminen.
Changes in the quality of logging residues.
- No 310 Harstela, Pertti, Järvinen, Juhani, Tervo, Leo & Aholainen, Raimo: Tutkimus eräistä harvennushakkuumenetelmistä (Levälle teko ja LEKA-menetelmä).
The study of some short wood methods of cutting in thinnings (Cutting without bunching and SCAPE method).
- No 311 Takalo, Sauli & Sauvala, Kari: Havaintoja metsurin suojausten kestävydestä ja sen mittaamisesta.
Observations on the durability and testing of protective clothing for chain saw workers.
- No 312 Leikola, Matti, Metsämuuronen, Markku, Räsänen, Pentti K. & Taimisto, Erkki: Männyn viljelytaimistojen kehitys Lounais-Suomessa vv. 1967—1975.
The development of Scots pine plantations in south-western Finland in 1967—1975.
- No 313 Kolari, Kimmo, Paavilainen, Eero & Raitio, Hannu: Männyn juuristosuhteista Kivisuon kasvuhäiriöalueella.
Pine root condition and growth disturbances.
- No 314 Anttila, Tuula & Lähde, Erkki: Lannoituksen vaikutus paperikenoissa kasvatettujen männyn taimien kehitykseen taimitarhassa.
Effect of fertilization on the development of containerized pine seedlings in a nursery.
- No 315 Kanninen, Kaija: Palkkausmuodot ja niiden vaikutus metsätoissa.
Forms of remuneration and their influence on forest work.
- No 316 Mäkelä, Markku: Leimikoittainen metsätähdemäärä.
The amounts of logging residues and stump and root wood at certain work sites.
- No 317 Kaunisto, Seppo: Ojituksen tehokkuuden ja lannoituksen vaikutus männyn viljelytaimistojen kehitykseen karuilla avosoilla.
Effect of drainage intensity and fertilization on the development of pine plantations on oligotrophic treeless Sphagnum bogs.
- No 318 Kinnunen, Kaarlo: Istutuksen onnistuminen ja taimistojen alkukehitys Länsi-Suomen yksityismetsissä.
The survival and initial development of plants in private forests in western Finland.

- No 319 Ferm, Ari & Pohtila, Eljas: Pintakasvillisuuden kehittyminen ja muokkausjäljen tasoittuminen auratuilla metsänuudistusalioilla Lapissa.
Succession of ground vegetation and levelling of ploughed tracks on reforestation areas in Finnish Lapland.
- No 320 Kuusela, Kullervo: Suomen metsien kasvu ja puutavaralajirakenne sekä niiden alueellisuus vuosina 1970—1976.
Increment and timber assortment structure and their regionality of the forests of Finland in 1970—1976.
- No 321 Heikinheimo, Lauri, Jaatinen, Esko, Kellomäki, Seppo, Lovén, Lasse & Saastamoinen, Olli: Metsien virkistyskäyttö Suomessa. Esitutkimusraportti.
Forest recreation in Finland. Pilot study.
- No 322 Talkamo, Tero: Markkinapuun alueittaiset hankintamäärät ja kulkuvirrat vuonna 1973 (1970).
Removal and flow of commercial roundwood in Finland during 1973 (1970) by districts.
- No 323 Erkkilä, Pentti, Silander, Soini, Tiihonen, Paavo & Örn, Jouko: Pystymittaus ja runkojen luku hakkuupalkan laskentaperusteina työvaikeuspalstalla.
Massenermittlung am stehenden Holz und Stammzahl als Unterlage für die Berechnung des Arbeitslohns auf grösseren Schlaglosen mit gleichmässigen Arbeitsbedingungen.
- No 324 Vuokila, Yrjö: Puolukkatyyppi kuusen kasvupaikkana.
Vaccinium type as a spruce site.
- No 325 Raulo, Jyrki & Lähde, Erkki: Rauduskoivun istutustuloksia Lapissa.
Reforestation results with *Betula pendula* Roth in Finnish Lapland.
- No 326 Paavilainen, Eero: Männyn istutus suopeltojen metsityksessä.
Planting of Scots pine in afforestation of abandoned swampy fields.
- No 327 Paavilainen, Eero: Jatkolannoitus vähäravinteisilla rämeillä. Ennakkotuloksia.
Refertilization on oligotrophic pine swamps. Preliminary results.
- No 328 Laitinen, Jorma & Takalo, Sauli: Moottorisahavinturin käytöstä pienten puiden ja tukkien esijuonnossa.
Preliminary skidding of small trees and sawlogs by power saw winch.
- No 329 Kinnunen, Kaarlo & Linnimäki, Jorma: Metsänuudistamisen onnistuminen ja taimistojen alkukehitys Pohjois-Karjalassa.
Success of forest regeneration and initial development of sapling stands in northern Karelia.
- No 330 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1975—77.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1975—77.
- No 331 Gustavsen, Hans G.: Valtakunnalliset kuutiokasvuyhtälöt.
Finnish volume increment functions.
- No 332 Helander, Matti & Simula, Anna-Leena: Metsäalan toimihenkilöiden kysyntä ja tarjonta vuoteen 1985.
Demand and supply of professional forestry staff by 1985.
- No 333 Haktila, Pentti, Kalaja, Hannu, Salakari, Martti & Valonen, Paavo: Whole-tree harvesting in the early thinning of pine.
Kokopuuna korjuu männikön ensiharvennuksessa.
- No 335 Juutinen, Paavo: Kuitupuupinot pystynävertäjän (*Tomicus piniperda* L.) lisääntymispaikkoina Pohjois-Suomessa.
Pulpwood stacks as breeding sites for pine shoot beetle (*Tomicus piniperda* L.) in northern Finland.
- No 336 Kärkkäinen, Matti: Menetelmiä likipituisten kuitupuupölkkyjen keskipituuden mittaamiseksi.
Methods for measuring the average length of pulpwood bolts estimated during logging by eye.
- No 337 Kuusela, Kullervo & Salminen, Sakari: Koillis-Suomen metsävarat vuonna 1976 ja Lapin metsävarat vuosina 1970 ja 1974—76.
Forest resources in the Forestry Board Districts of Koillis-Suomi in 1976 and Lappi in 1970 and 1974—76.
- No 338 Lähde, Erkki: Väliavarastoinnin vaikutus männyn paakkutaimien viljelyn onnistumiseen.
Effect of intermediate storage of containerized Scots pine planting stock on reforestation success.
- No 339 Teivainen, Terttu: Eräiden poppelikloonien myyrähuoltuus ruokintakokeiden mukaan.
Resistance of some poplar clones to vole damage through feeding experiments.
- No 340 Laitinen, Jorma & Takalo, Sauli: Kantokäsittelylaittein varustettujen raivaussahojen vertailua.
Comparison of clearing saws equipped with stump spraying devices.
- No 341 Uusvaara, Olli: Teollisuushakkeen ja purun painomittaus.
Weight scaling of industrial chips and sawdust.
- No 342 Haktila, Pentti: Pienpuun korjuu polttoaineksi.
Harvesting small-sized wood for fuel.

Myynti — Available for sale at: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10,

p 611 022

Merkintä O D C tarkoittaa metsäkirjallisuuden kansainvälistä Oxford-luokitusjärjestelmää