METSÄTEHON TIEDOTUS
METSÄTEHO REPORT

383

Energiapuun korjuu teollisuuspuun korjuun yhteydessä

HARVESTING OF ENERGY WOOD IN CONNECTION WITH THE HARVESTING OF INDUSTRIAL ROUNDWOOD

HELSINKI 1984

Metsätehon tiedotus — *Metsäteho Report* 383

M E T S Ä T E H O

Suomen Metsäteollisuuden Keskusliitto ry:n metsätyöntutkimusosasto
Forest Work Study Section of the Central Association of Finnish Forest Industries

ENERGIAPUUN KORJUU TEOLLISUUSPUUN KORJUUN YHTEYDESSÄ

Harvesting of Energy Wood in Connection with the Harvesting of Industrial Roundwood

METSÄTEHO, Fabianinkatu 9 B, 00130 HELSINKI 13

Kauppakirjapaino Oy, Helsinki

ISBN 951-673-091-4
ISSN 0356-7257

ALKULAUSE

Metsäteollisuus on 1960-luvulta lähtien ollut mukana selvittämässä metsätähteen talteenotto- ja käyttömahdollisuuksia. (Metsätähdettä ovat ainespuun minimimitan alittavat pienikokoiset puut ja latvukset, oksat neulasineen ja lehtineen sekä kanto- ja juuripuu.) Aiemmista tutkimuksista mainittakoon mm. Pienpuualan toimikunnan ja sen jälkeen Metsäntutkimuslaitoksen tutkimukset pienpuun korjuusta ja polttokäytöstä 1950- ja 1960-luvuilla sekä metsäteollisuuden ja Metsäntutkimuslaitoksen yhteiset, osittain kauppa- ja teollisuusministeriön rahoittamat tutkimusprojektit kantojen ja hakkuutähteiden korjuusta ja teollisuuskäytöstä 1970-luvulla.

Öljyn reaalihinnan noustua 1970-luvun puolessa välissä moninkertaiseksi tuli metsätähteiden energiakäyttö ajankohtaiseksi. Vaikka siis metsätähteiden korjuuta ja kuljetusta olikin muun muassa Metsätehossa tutkittu jo aiemmin, pidettiin kuitenkin tärkeänä lähteä kehittämään nimenomaan energiakäyttöön soveltuvan metsätähteen korjuuta ja kuljetusta siltä pohjalta, että energiapuu hankitaan teollisuuskäyttöön menevän ainespuun hankintaan yhdistettynä. Metsätähdehän syntyy pääosin ainespuun hankinnan "sivutuotteena", minkä takia yhdistäminen ainespuun hankintaan vaikutti perustellulta.

Tämä aihe otettiin Metsätehon vuoden 1981 toimintaohjelmaan tutkimus- ja kehittämisprojektina ja sen suunniteltiin kestävän kolme vuotta. Koska aiheella katsottiin olevan myös yleistä energiapoliittista merkitystä, tutkimukseen anottiin ja saatiin kauppa- ja teollisuusministeriön energiatutkimukseen varaamaa rahoitusta siten, että projektin kuluista KTM rahoitti puolet ja Metsäteho toisen puolen.

Projektin suunnittelua ja toteuttamista valvoi asiantuntijaryhmä. Siihen kuuluivat metsäteollisuuden edustajina metsäpäälliköt Leo Karvonen Veitsiluoto Oy:stä, Olli Sarantola Kajaani Oy:stä ja Kauko Taivainen Osuuskunta Metsäliitosta sekä johtaja Pentti Sierilä Suomen Metsäteollisuuden Keskusliitto ry:stä. Kauppa- ja teollisuusministeriön edustajana ryhmässä oli ensin ylitarkastaja Keijo Sahrman ja hänen siirryttyä muihin tehtäviin ylitarkastaja Heikki Kotila. Projektin johtajana toimi Metsätehon toimitusjohtaja professori Aulis E. Hakkarainen.

Tutkimus toteutettiin yhdessä Metsätehon jäsenyritysten kanssa. Niistä mainittakoon Enso-Gutzeit Oy, Kajaani Oy, Osuuskunta Metsäliitto, Paloheimo Oy, Pellos Oy, Puulaaki Oy, Tehdaspuu Oy ja erityisesti Veitsiluoto Oy. Näistä yrityksistä ovat tutkimusten toteuttamista tukeneet useat eri henkilöt kaikilla tasoilla. Heistä mainittakoon muun muassa metsäteknikko Raimo Aholainen ja insinööri Hannu Airavaara; metsänhoitajat Markku Hovi, Turkka Jämsén, Ilkka Kallio, Kai Karlsson, Pekka Laurila, Markku Melkko, Peter Michelsén, Kauko Parviainen, Kalevi Pullinen, Juhani Pöllänen ja Yrjö Schildt; metsäteknikko Paavo Siilmaa sekä metsänhoitajat Juhani Vartiainen ja Juho Yli-Hukkala.

Metsäteho kiittää kauppa- ja teollisuusministeriötä taloudellisesta tuesta ja valvontaryhmän jäseniä ja jäsenyritystensä edustajia myönteisestä yhteistyöstä tutkimuksen toteuttamisessa.

Tämän raportin kirjoittamiseen ovat osallistuneet Metsätehosta Aarne Elovainio (1 ja 5), Rainer Häggblom ja Mikko Kahala (2.1.1 - 2.1.4), Pekka-Juhani Kuitto (2.2, 2.3 ja 4), Markku Mäkelä (3), Ilkka Nissi (osa kohdasta 2.2.3) ja Olavi Pennanen (2.1.5).

Helsingissä tammikuun 31. pnä 1984

METSÄTEHO

SISÄLLYS
Contents

	Sivu *Page*
TIIVISTELMÄ	5
1 JOHDANTO	7
1.1 Tutkimuksen tavoitteet ja toteutus	7
1.2 Energiapuun määrä metsäteollisuuden puunkorjuussa	7
2 YHDISTETTY ENERGIA- JA AINESPUUN HANKINTA	8
2.1 Hankinta koko- ja osapuina	8
2.1.1 Menetelmät ja kalusto	8
2.1.2 Korjuukohteet ja -kertymät	9
2.1.3 Korjuun ajanmenekki ja kustannukset	10
2.1.4 Pieniläpimittaisen kokopuun haketus välivarastolla	13
2.1.5 Kaukokuljetus	14
2.2 Hakkuutähteiden hankinta	16
2.2.1 Korjuumenetelmät	16
2.2.2 Korjuukohteet ja -kertymät	17
2.2.3 Hakkuutähteiden korjuu	18
2.2.4 Hakkuutähteiden kaukokuljetus	21
2.3 Kantopuun hankinta	23
2.3.1 Menetelmät ja kalusto	23
2.3.2 Korjuukohteet ja -kertymät	24
2.3.3 Kantopuun korjuu ja kaukokuljetus	25
3 ENERGIAPUUN MITTAUS	27
3.1 Ongelmat	27
3.2 Mittausmenetelmät	28
4 ENERGIAPUUN HANKINNAN JA JAKELUN ORGANISOINTI	29
4.1 Energiapuun hankintaorganisaatiolle asetettavat vaatimukset	29
4.2 Metsäteollisuuden osuus energiapuun hankinnassa	30
5 PÄÄTELMÄT JA TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN	31
KIRJALLISUUTTA - *References*	32
Summary	34

TIIVISTELMÄ

Energiapuuta saataisiin talteen teollisuuspuun hankinnan yhteydessä noin 3 milj. m^3 vuosittain. Tästä kertymästä 0.5 milj. m^3 tulisi ensiharvennuksista, 0.5 milj. m^3 hakkuutähteistä monitoimikoneiden jäljiltä ja 2.0 milj. m^3 kannoista päätehakkuualueilta. Jos osapuumenetelmän osuus teollisuuden puunkorjuussa olisi muissa hakkuissa 20 %, saataisiin oksista ja latvuksista lisää energiaraaka-ainetta noin 1.3 milj. kuutiometriä. - Tutkimustulosten mukaan ensiharvennuksissa puiden korjuu karsimattomina lisää kertymää oksina, latvuksina ja alamittaisina puina noin kolmanneksen ja korjuu osapuina (osittain karsittuina tavaralajeina) muissa hakkuissa noin neljänneksen. Hakkuutähteitä saadaan talteen monitoimikoneiden jälkeen päätehakkuukuusikoista noin 20 % hakattuun ainespuumäärään verrattuna ja kantoja tukkipuuvaltaisista päätehakkuista vastaavasti noin 15 %.

Siirtyminen tavaralajimenetelmästä kokopuumenetelmään ensiharvennuksissa pienentää hakkuutyön ajanmenekin noin puoleen ja siirtyminen osapuumenetelmään muissa harvennuksissa ja kuitupuuvaltaisissa päätehakkuissa noin 2/3:aan saman runkopuumäärän mukaan. Metsäkuljetuksen ajanmenekki sen sijaan kasvaa koko- ja osapuun kuljetuksessa verrattuna kuitupuun metsäkuljetukseen 25 - 45 % ajanmenekkiin vaikuttavien seikkojen mukaan. Jos koko- ja osapuut katkaistaan kuljetuspituuteen metsätraktorin kuormaimeen asennetulla kourasahalla, ajanmenekki kasvaa noin 80 %. Koko- ja osapuun välivarastollahaketuksen tehoajanmenekki on 70 - 85 cmin/i-m^3. Eniten ajanmenekkiin vaikuttavat puulaji ja varastointiaika sekä haketusyksikkö. Hankinta koko- ja osapuina näyttää tutkimuksen mukaan rationaaliselta ja myös taloudellisesti lupaavalta vaihtoehdolta, mikäli lisäraaka-aine voidaan taloudellisesti käyttää.

Kun käytetään hakkuutähdekouralla ja korotetuilla sivupylväillä varustettua metsätraktoria, hakkuutähteiden metsäkuljetuksen ajanmenekki monitoimikoneiden jättämistä kasoista kuormattaessa on 35 - 40 % suurempi verrattuna 3 m kuitupuun metsäkuljetuksen ajanmenekkiin. - Hakkuutähteiden välivarastollahaketuksen ajanmenekki vaihtelee välillä 80 - 150 cmin/i-m^3 haketta. Ajanmenekki kiintokuutiometriä kohti on 1.3 - 2.0-kertainen verrattuna koko- ja osapuiden haketukseen. Hakkuutähdehakkeen irtotiheys on 0.35 - 0.40 m^3/i-m^3 ja kokopuuhakkeen 0.40 - 0.44 m^3/i-m^3. Haketuksen ajanmenekkiin vaikuttavat eniten hakkuritai murskaintyyppi, puulaji, haketettavan tavaran varastointiaika ja varastointijärjestelyt.

Kantojen noston ja samassa yhteydessä tehdyn paloittelun tehoajanmenekki on tutkimusten mukaan kantoharvesteria käytettäessä keskimäärin 10 - 13 min kantopuukuutiometriä (m^3) kohti tukkipuuvaltaisessa kivennäismaan kuusikannokossa. Ajanmenekkiin vaikuttavat ennen kaikkea kantojen koko ja määrä hehtaarilla. - Tavanomaisen metsäkuljetuskaluston kuormankoko kantopalojen metsäkuljetuksessa on hieman yli 4 m^3:n ja kuljetuksen tehoajanmenekki silloin 300 m:n matkalla vähän yli 10 min:n/kuutiometri.

Energiapuun kaukokuljetuksessa tulee kyseeseen lähinnä autokuljetus koko- ja osapuina, hakkeena, murskeena tai kantopaloina. Lisälaidoin varustetun puutavara-auton koko- ja osapuukuorman koko jäi 55 - 75 %:iin (latvus- ja oksapuu mukaan lukien) 5 m kuitupuun kuormasta. Sen sijaan kuorma-aikojen ero 50 km:n matkalla oli vähäinen. Osapuun autokuljetuskustannukset olivat 1.5 - 2.0-kertaiset karsitun puutavaran kuljetuskustannuksiin verrattuina. - Hakkeen kaukokuljetuksen tuottavuuteen vaikuttaa ratkaisevasti kuormaustapa ja lähtöraaka-aineen laatu. Kun kuormataan suoraan hakkurista puhaltaen, koko- ja osapuuhakkeen autokuljetus on 50 - 100 km:n matkalla 1.5 - 1.3 kertaa niin kallista ja hakkuutähdehakkeen autokuljetus 1.6 - 1.4 kertaa niin kallista kuin pitkän kuitupuun autokuljetus. Kantomurskeen autokuljetuskustannukset ovat vieläkin suuremmat. Jos kuormataan valmiiksi haketetuista kasoista, eri hake- ja murskelaatujen kuljetuskustannuksissa ei ole merkittäviä eroja.

Energiapuun mittausongelmaa ei ole vielä tyydyttävästi ratkaistu. Pienikokoisen kokopuun hakkuun työmitassa on perusongelmana puiden pienestä koosta johtuvat (otanta-)pystymittauksen suuret kustannukset ja metsäkuljetuksessa nykyisten, puun pituuteen ja "oksaprosenttiin" perustuvien kuutiointilukujen epätarkkuus. Osapuiden, hakkuutähteiden ja kantojen määrä joudutaan toistaiseksi selvittämään hakkeen tai murskeen "pinotiheyden" avulla. Painomittauksen perusongelmana on eri raaka-ainekomponenttien (puulaji, puuaine, kuori, neulaset) määrän ja kosteuden suuri vaihtelu. Metsäntutkimuslaitoksessa suunnitellaan parhaillaan tutkimusta eri puulajien sisältämästä oksa- ja neulasmäärästä siten, että tulosten perusteella on mahdollista laatia valtakunnalliset taulukot tai funktiot oksa- ja latvuspuumäärän laskemiseksi esimerkiksi PMP-mittaukseen yhdistettynä.

Projektiin liittyvät tutkimukset ja selvitykset ovat osoittaneet, että energiapuun hankinta (korjuu ja kuljetus) on sekä teknisesti että taloudellisesti järkevää kytkeä metsäteollisuuden ainespuuraakaaineen hankintaan. Sitä puoltavat seuraavat seikat.

1. *Kaikesta kotimaisesta raakapuusta metsäteollisuus hankkii noin 70 %.*

2. *Energiapuu kertyy pääosin ainespuun hankinnan sivutuotteena samoista leimikoista (työmailta).*

3. *Metsäteollisuuden puunhankintaorganisaatioilla on sekä ammatilliset että tekniset valmiudet energiapuun hankintaan.*

4. *Energiapuu voidaan korjata ja kuljettaa pääosin olemassa olevalla korjuu- ja kuljetuskalustolla.*

5. *Energiapuun hankinnan liittäminen ainespuun hankintaan parantaa molempien raaka-ainelajien taloudellisia talteenotto- ja käyttöedellytyksiä.*

6. *Metsäteollisuus tarvitsee paljon energiaa ja voi hyödyntää energiaraaka-aineen omissa laitoksissaan ja/tai toimittaa sitä muille käyttäjille.*

7. *Jalostus- ja energiakäytön suhdetta säätelemällä voidaan vaikuttaa puunhankinnan tasaisuuteen, mikä puolestaan mahdollistaa mm. tasaisen työllisyyden ylläpitämisen.*

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tavoitteet ja toteutus

Metsäteho teki keväällä 1981 kauppa- ja teollisuusministeriön kanssa tutkimussopimuksen aiheesta: "Energiapuun korjuu teollisuuspuun korjuun yhteydessä". Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää teollisen jalostuksen ulkopuolelle jäävän, nk. energiapuun tekniset ja taloudelliset korjuu- ja kuljetusmahdollisuudet, kun sitä hankitaan varsinaisen teollisuuspuun yhteydessä.

Tällaiseksi energiapuureserviksi katsottiin muun muassa taimistojen ja nuorten metsien harvennuksissa sekä vajaatuottoisten alueiden kunnostushakkuissa kertyvä pieniläpimittainen puu, päätehakkuualueiden hakkuutähteet, raivauspuu ja kannot sekä polttoturvesoiden kanto- ja liekopuu.

Tutkimus toteutettiin yhdessä Metsätehon jäsenyritysten kanssa useana osaprojektina empiirisin kenttätutkimuksin eri puolilla Suomea. Tutkimuksiin liittyi myös erilaisen kaluston kehittämiskokeiluja. Empiirisen aineiston pohjalta tehtiin taloudellisia laskelmia eri korjuu- ja kuljetusvaihtoehtojen tuottavuudesta ja kustannuksista. Yksikkökustannukset perustuvat tutkimuksen ajanmenekki- ja tuottavuustietoihin sekä koneiden tuntikustannuslaskelmiin.

Tässä julkaisussa esitetään tutkimuksen päätulokset energiapuun korjuu- ja kuljetustekniikasta ja niihin liittyvistä taloudellisuusnäkökohdista. Koska osaprojektien tulokset on julkaistu Metsätehon julkaisusarjoissa erikseen, ei tuloksia tässä esitellä yksityiskohtaisesti. Osaprojekteihin liittyvät julkaisut näkyvät kirjallisuusluettelosta.

Metsätehossa laadittiin myös atk-malli, jonka avulla voidaan optimoida saatavilla olevan puuraaka-aineen käyttö energian tuottamiseen ja jalostukseen erilaisissa puunhankintaolosuhteissa ja -prosesseissa. Mallin laadinnassa on käytetty hyväksi projektissa saatua ajanmenekki- ja kustannustietoa ja lisäksi on kerätty tietoa tehtaiden puunkäsittely-, energia- ja jalostuskustannuksista sekä muista asiaan vaikuttavista seikoista. Malli ja sen käyttömahdollisuudet esitetään erillisessä Metsätehon tiedotuksessa.

1.2 Energiapuun määrä metsäteollisuuden puunkorjuussa

Suomen metsäteollisuuden vuosittainen puunhankintamäärä vaihtelee lähinnä suhdanteiden mukaan. Ensiasteisen raakapuun tarpeena voidaan pitää 50 milj. m^3:ä vuodessa, josta kotimaisen raakapuun osuus on noin 45 milj. m^3. Metsäteollisuuden omat puunhankintaorganisaatiot korjaavat tästä määrästä noin 70 % eli yli 30 milj. m^3. Metsänomistajat ja metsähallitus korjaavat lopun. Metsäteollisuus hoitaa toisin sanoen yli 2/3 maamme vuosittaisesta teollisuuspuun hakkuusta ja metsäkuljetuksesta. Teollisuuden käyttöön tulevan puutavaran kaukokuljetuksesta sen osuus on vielä suurempi.

Metsien käytön nk. perussuunnitteen mukaan metsätähdettä jää vuosittain noin 40 milj. kuutiometriä. Se koostuu alamittaisista rungoista, hakkuutähteeseen sekoittuneesta muusta runko- ja latvapuusta, oksista lehtineen ja neulasineen sekä kanto- ja juuripuusta. Tästä määrästä on kuitenkin vain pieni osa saatavissa käyttöön. Rajoituksina ovat osittain organisatoriset ja tekniset seikat, mutta ennen kaikkea taloudelliset näkökohdat.

Ainespuun korjuun yhteydessä talteen saatavan metsätähteen eli energiapuun määrä riippuu korjattavan puuston laadun lisäksi siitä, millainen on ainespuun korjuun tekniikka ja millaiset ovat korjuuolosuhteet. Projektin tutkimusten mukaan metsätähdettä saadaan talteen seuraavasti. (Taulukko 1)

TAULUKKO 1 Talteen saatavan metsätähteen suhteellinen määrä leimikon ainespuumäärään verrattuna

Korjuukohde ja -menetelmä	Kertymä (m^3/suht.)
Leimikon ainespuumäärä tavaralajimenetelmän mukaan korjattaessa	100
Nuoren harvennusmetsän korjuu karsimattomina koko- ja osapuina (koko biomassa)	150
Varttuneen harvennusmetsän korjuu osittain karsimattomana koko- ja osapuuna, osittain karsittuna kuitu- ja tukkipuuna (koko biomassa)	125
Hakkuutähteiden korjuu monitoimikonehakkuun jälkeen päätehakkuukuusikosta (hakkuutähteiden määrä)	20
Kantojen korjuu järeän tukkipuuston päätehakkuualueelta (kantojen määrä)	15

Taulukon 1 suhdelukuja käyttäen voidaan nykyisen tilanteen pohjalta arvioida metsäteollisuuden oman puunkorjuun mahdollisuuksia ottaa talteen metsätähteeksi luettavaa raaka-ainetta:

A. Metsäteollisuuden korjaama puumäärä		yhteensä 30 milj. m^3,	
josta päätehakkuusta	65 % = n.	20	-"-
josta monitoimikoneilla hakataan	20 % = n.	4	-"-
josta kuusikoiden osuus	70 % = n.	2.8	-"-
josta hakkuutähteitä talteen	20 % = n.	0.56	-"-
B. Metsäteollisuuden korjaama puumäärä		yhteensä 30 milj. m^3,	
josta tukkipuuvaltaisten avohakkuiden osuus	43 % = n.	12.9	-"-
josta kantoja talteen	15 % = n.	1.94	-"-
C. Metsäteollisuuden korjaama puumäärä		yhteensä 30 milj. m^3,	
josta kasvatushakkuiden osuus	35 % = n.	10	-"-
josta 1. harvennuksen osuus	10 % = n.	1	-"-
josta kokopuunakorjuuna energiapuuosaa	50 % = n.	0.50	-"-

Edellä olevan arviolaskelman mukaan metsäteollisuuden omaan puunkorjuuseen sisältyy siis potentiaalista metsätähdettä yhteensä noin 3 milj. m^3 vuosittain. Tästä määrästä tosin 2/3 eli noin 2 milj. m^3 on kantopuuta, jonka talteenotto edellyttäisi kaikkien tukkipuuvaltaisten päätehakkuiden kantojen korjuuta. Samoin laskelmassa on edellytetty, että kaikissa ensiharvennuksissa puut korjataan karsimattomina eli nk. kokopuumenetelmän mukaan.

Osapuumenetelmäksi kutsutaan menetelmää, jossa osa puusta korjataan perinteisinä tavaralajeina ja osa oksineen ja latvuksineen. Se tulee kyseeseen periaatteessa myös muissa harvennuksissa ja päätehakkuissa. Niissä osapuumenetelmää tässä tutkimusprojektissa on pääosin kokeiltukin. Talteen saatavia metsätähdemääriä voitaisiinkin täten kasvattaa huomattavasti. Jos osapuumenetelmää käyttäen korjattaisiin esimerkiksi 20 % - aiemmin lasketut hakkuut pois lukien - jäljelle jäävästä teollisuuden puunkorjuumäärästä (26.2 milj. m^3) eli 5.2 milj. m^3, kertyisi lähinnä energiakäyttöön sopivaa raaka-ainetta lisää noin 1.3 milj. m^3.

2 YHDISTETTY ENERGIA- JA AINESPUUN HANKINTA

2.1 Hankinta koko- ja osapuina

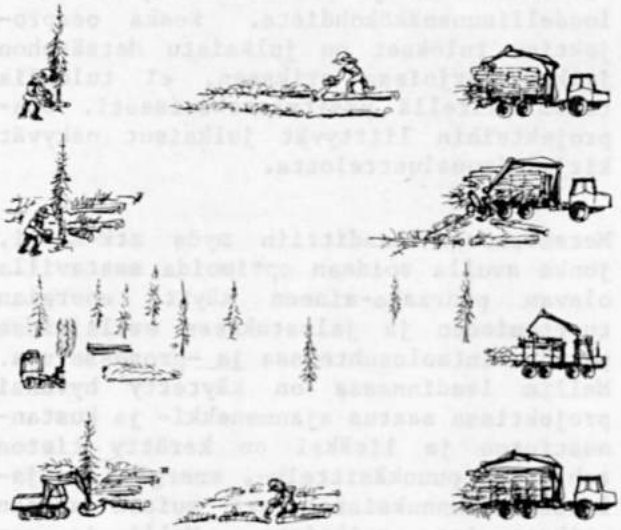
2.1.1 Menetelmät ja kalusto

Kokopuumenetelmällä tarkoitetaan tässä pienikokoisten puiden hankintaa karsimattomina ja tarvittaessa kuljetuskaluston vaatimiin pituuksiin katkottuina. Osapuumenetelmässä osa puista tai puiden osista karsitaan ja katkotaan tavaralajeiksi ja osa jätetään karsimatta.

Koko- ja osapuunakorjuuta kokeiltiin harvennus- ja päätehakkuissa. Aineistoa kerättiin sekä ihmistyövaltaisista että koneellisista menetelmistä. (Kuva 1)

Tutkimuksen painopiste oli ihmistyövaltaisissa menetelmissä. Karsimaton osuus katkottiin näissä menetelmissä 5 - 6 m:n pituisiksi silloin, kun kaukokuljetus toteutui osapuina. Jos karsimattomat puut haketettiin välivarastolla, puut katkottiin metsäkuljetuksen kannalta sopiviin pituuksiin. Se puun läpimitta, johon asti puu karsittiin, vaihteli menetelmittäin. Kuitenkin pieniläpimittaiset puut jätettiin kaikissa menetelmissä karsimatta.

Ihmistyövaltaisissa menetelmissä pienet puut kaadettiin siirtelykaatona, isot suunnaten. Katkontaa tutkittiin sekä moottorisahalla tehtynä että kuormatraktorin kuormaimeen asennetulla kourasahalla kuormauksen yhteydessä toteutettuna. Metsäkuljetuksessa käytettiin tavanomaisia kuormatraktoreita.



Kuva 1. Esimerkkejä osapuun ja pieniläpimittaisen kokopuun korjuuketjuista

Koneelliset korjuuketjut perustuivat pääosin kaato-kasauskoneen käyttöön. Tukit valmistettiin joko ihmistyönä tai prosessorilla. Puiden katkontaan käytettiin eräissä menetelmäkokeiluissa metsätraktorin kouraan asennettua kourasahaa. Myös koneellisia menetelmiä sovellettiin sekä harvennus- että päätehakkuisiin. Järeään kaato-kasauskoneeseen perustuvia ketjuja käytettiin päätehakkuissa ja pieneen kaato-kasauskoneeseen perustuvia ketjuja harvennushakkuissa.

Koko- ja osapuun korjuukokeiluissa käytetty kalusto ei siten olennaisesti poikennut tavaralajeinakorjuussa käytettävästä. Ainoastaan metsätraktorin lisälaite kourasaha oli työväline, jota ei tavanomaisessa tavaralajeinakorjuussa tarvita.

2.1.2 Korjuukohteet ja -kertymät

Koko- ja osapuunakorjuussa talteen saatu lisäraaka-aineen määrä selvitettiin kaikissa tutkimuksissa. Puulajeittain ja korjuumenetelmittäin talteen saatu lisäraaka-ainemäärä vaihtelee huomattavasti. Rungon koon mukaan talteen saatavissa olevaa lisäraaka-ainemäärää selvitettiin eräissä korjuukohteissa ja -menetelmissä (kuvat 2 - 4).

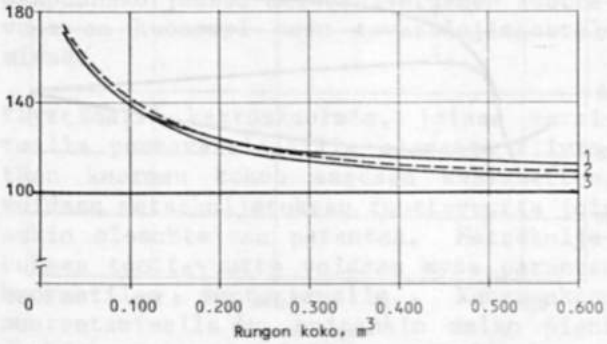
Lisäraaka-aineella tarkoitetaan tässä ainespuuosan lisäksi saatavaa, lähinnä energiakäyttöön soveltuvaa raaka-aineosaa, joka kertyy latvarunkopuusta, oksista ja neulasista sekä kuitupuun minimimitan alittavista pienistä puista.

1 = Tukkirungoista tukki karsittu 15 cm:n latvaläpimittaluokkaan, kuitupuurungot ja tukkirunkojen kuitupuuosuus noin 5 m:n osapuuna. Loppi

2 = Rungot karsittu 10 cm:n läpimittaan asti, latvat ja pienet rungot osapuuna. Kitee

3 = Kuten kohta 2. Loppi

Suhteellinen raaka-ainemäärä
(ainespuun määrä, kuitupuu + tukit = 100)



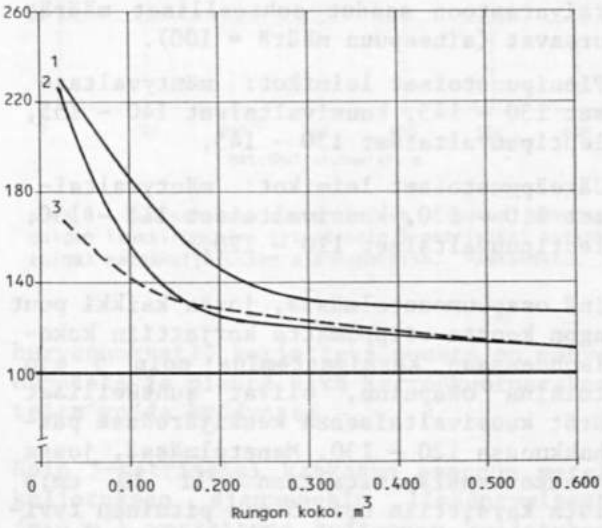
Kuva 2. Osapuumenetelmissä talteen saatavissa oleva raaka-ainemäärä rungon koon mukaan. Mänty, päätehakkuuleimikko, oksaisuusluokka keskimäärin 2, pituusluokka 3

1 = Tukkirungoista tukki karsittu 17 cm:n latvaläpimittaluokkaan, kuitupuurungot ja tukkirunkojen kuitupuuosuus noin 5 m:n osapuuna. Loppi

2 = Rungot karsittu 10 cm:n läpimittaan asti, latvat ja pienet rungot osapuuna. Loppi

3 = Kuten kohta 2. Kitee

Suhteellinen raaka-ainemäärä
(ainespuun määrä, kuitupuu + tukit = 100)

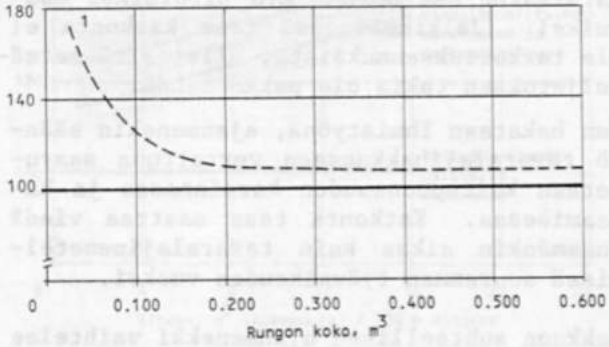


Kuva 3. Osapuumenetelmissä talteen saatavissa oleva raaka-ainemäärä rungon koon mukaan. Kuusi, päätehakkuuleimikko, oksaisuusluokka keskimäärin 3, pituusluokka 3

Kun pienet puut korjataan katkomattomina, ovat raaka-ainemäärät hieman suuremmat kuin kuvissa on esitetty. Lisäksi on otettava huomioon, että kuvissa esitetään talteen saatavissa olevat määrät eri menetelmissä tietyissä oksaisuusluokissa. Ainespuuosan oksaisuuden muuttuessa luonnollisesti myös lisäraaka-ainemäärät muuttuvat.

1 = Tukkirungoista tukki karsittu 19 cm:n latvaläpimittaluokkaan, tukkirunkojen kuitupuuosuus ja kuitupuurungot osapuuna. Kitee

Suhteellinen raaka-ainemäärä
(ainespuun määrä, kuitupuu + tukit = 100)



Kuva 4. Osapuumenetelmässä talteen saatavissa oleva raaka-ainemäärä rungon koon mukaan. Koivu, päätehakkuuleimikko, oksaisuusluokka keskimäärin 2, pituusluokka 3

Koko- ja osapuumenetelmillä talteen saatavissa olevasta lisäraaka-ainemäärästä häviää korjuuvaiheessa 15 - 30 %. Keskimääräinen lisäraaka-ainehävikki on 25 %.

Siinä osapuumenetelmässä, jossa tukit karsittiin ja kuitupuuosuus katkottiin karsimattomiksi osapuupölkyiksi, olivat tienvarsivarastoon saadut suhteelliset määrät seuraavat (ainespuun määrä = 100).

- Pienipuustoiset leimikot: mäntyvaltaiset 130 - 145, kuusivaltaiset 140 - 155, lehtipuuvaltaiset 130 - 145.
- Järeäpuustoiset leimikot: mäntyvaltaiset 110 - 120, kuusivaltaiset 115 - 130, lehtipuuvaltaiset 110 - 120.

Siinä osapuumenetelmässä, jossa kaikki puut rungon koosta riippumatta korjattiin kokonaisuudessaan karsimattomina noin 5 m:n pituisina osapuina, olivat suhteelliset määrät kuusivaltaisessa keskijäreässä päätehakkuussa 120 - 130. Menetelmässä, jossa rinnankorkeusläpimitaltaan yli 13 cm:n puista karsittiin noin 5 m:n pituinen tyvipölkky, suhteellinen raaka-ainemäärä oli 125.

2.1.3 Korjuun ajanmenekki ja kustannukset

Ihmistyövaltaiset korjuuketjut

Osapuunahankinnassa *hakkuuvaihe* on tärkeä. Jollei hakkuussa saavuteta merkittäviä säästöjä, koko hankintaketjuakaan tuskin on mahdollista saada kannattavaksi.

Karsittava osuus onkin yleensä syytä määrätä jalostusvaiheen vaatimusten mukaan, jolloin käytännössä sahatukit, vaneritukit ja hiomopuu karsitaan ja katkotaan metsässä ja kuitupuuosuus jätetään karsimatta. Kuitupuuosuuden katkonnan taas määrää se, kuljetetaanko osapuut tehtaalle vai haketetaanko ne välivarastolla. Edellisessä tapauksessa on tarkoituksenmukaista katkoa karsimaton osa noin 5 m:n pituisiksi osapuiksi. Jälkimmäisessä taas katkonta ei ole tarkoituksenmukaista, ellei sitä metsäkuljetuksen takia ole pakko tehdä.

Kun hakataan ihmistyönä, ajanmenekin säästö tavaralajihakkuuseen verrattuna saavutetaan kuitupuuosuuden karsinnassa ja kasaamisessa. Katkonta taas saattaa viedä enemmänkin aikaa kuin tavaralajimenetelmissä suuremman työvaikeuden vuoksi.

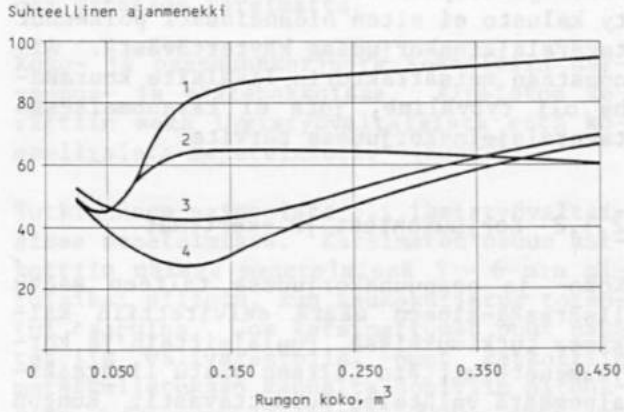
Hakkuun suhteellinen ajanmenekki vaihtelee menetelmän, puulajin ja rungonkoon mukaan (kuvat 5 - 7) suuresti. Lisäksi oksaisuuden muuttuminen kuvissa esitetystä vaikuttaa ajanmenekkisuhteisiin.

1 = Pienten puiden siirtelykaato, suurten puiden suunnattu kaato, tukkien valmistus ja kuitupuuosuuden karsinta 10 cm:n läpimittaan asti. Latvat ja rinnankorkeusläpimitaltaan alle 13 cm:n puut karsimattomina. Oksaisuusluokka 2, pituusluokka 2.

2 = Pienten puiden siirtelykaato, suurten puiden suunnattu kaato, tukkien valmistus ja lisäksi rinnankorkeusläpimitaltaan yli 13 cm:n puista tyvipölkyn valmistaminen tavaralajeiksi. Latvat ja rinnankorkeusläpimitaltaan alle 13 cm:n puut karsimattomina. Oksaisuusluokka 2, pituusluokka 2.

3 = Pienten puiden siirtelykaato, suurten puiden suunnattu kaato, tukkien valmistus 15 cm:n läpimittaluokkaan, tukkipuurunkojen latvaosien ja kuitupuurunkojen katkonta noin 5 m:n osapuiksi. Oksaisuusluokka 2, pituusluokka 3.

4 = Pienten puiden siirtelykaato, suurten puiden suunnattu kaato, tukkien valmistus, kuitupuuosuus karsimattomana ja katkomattomana.

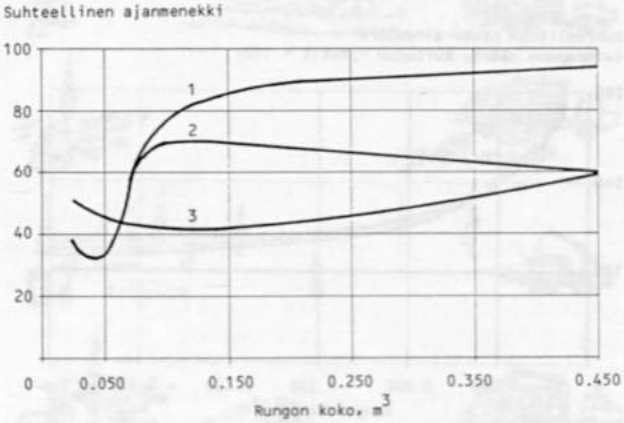


Kuva 5. Osapuunahakkuun suhteellinen ajanmenekki menetelmittäin rungon koon mukaan. Tavaralajimenetelmä (ranka kasoihin palstalle) = 100. Mänty

1 = Pienten puiden siirtelykaato, suurten puiden suunnattu kaato, tukkien valmistus ja kuitupuuosuuden karsinta 10 cm:n läpimittaan asti. Latvat ja rinnankorkeusläpimitaltaan alle 13 cm:n puut karsimattomina. Oksaisuusluokka 3 - 4, pituusluokka 2.

2 = Pienten puiden siirtelykaato, suurten puiden suunnattu kaato, tukkien valmistus ja lisäksi rinnankorkeusläpimitaltaan yli 13 cm:n puista tyvipölkyn valmistaminen tavaralajeiksi. Latvat ja rinnankorkeusläpimitaltaan alle 13 cm:n puut karsimattomina. Oksaisuusluokka 3 - 4, pituusluokka 2.

3 = Pienten puiden siirtelykaato, suurten puiden suunnattu kaato, tukkien valmistus 17 cm:n läpimittaluokkaan, tukkipuurunkojen latvaosien ja kuitupuurunkojen katkonta noin 5 m:n osapuiksi. Oksaisuusluokka 3, pituusluokka 3.

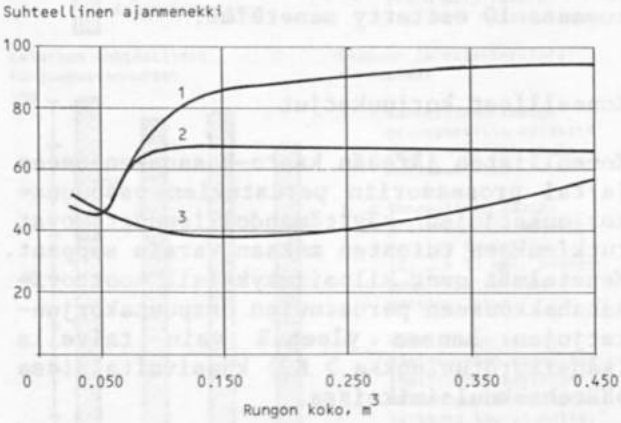


Kuva 6. Osapuunahakkuun suhteellinen ajanmenekki menetelmittäin rungon koon mukaan. Tavaralajimenetelmä (ranka kasoihin palstalle) = 100. Kuusi

1 = (Sama kuin kuvassa 5 kohta 1)

2 = (Sama kuin kuvassa 5 kohta 2)

3 = Pienten puiden siirtelykaato, suurten puiden suunnattu kaato, tukkien valmistus 19 cm:n läpimittaluokkaan, tukkipuurunkojen latvaosien ja kuitupuurunkojen katkonta noin 5 m:n osapuiksi. Oksaisuusluokka 2, pituusluokka 3.



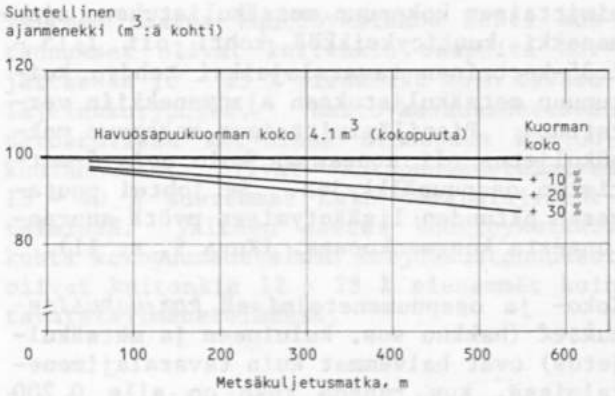
Kuva 7. Osapuunahakkuun suhteellinen ajanmenekki menetelmittäin rungon koon mukaan. Tavaralajimenetelmä (ranka kasoihin palstalle) = 100. Koivu

Eniten hakkuuaikaa säästyy luonnollisesti niiden puiden kohdalla, joille tehdään pelkkä siirtelykaato ja joita ei karsita eikä katkota lainkaan. Hakkuun suhteellinen ajanmenekki suurenee selvästi siitä rungonkokoluokasta lähtien, josta karsinta aloitetaan.

Hakkuussa pitäisi ottaa huomioon myös sitä seuraavat puunhankintavaiheet. Metsäkuljetuksen tuottavuutta parannetaan kasaamalla pienet puut siirtelykaatona. Jos karsimatonta osuutta ei haketeta välivarastolla vaan kuljetetaan autolla tehtaalle, on tärkeätä noudattaa katkontapituustavoitetta.

Metsäkuljetuksen tuottavuus koko- ja osapuunakorjuussa tavaralajimenetelmiin verrattuna riippuu luonnollisesti monista seikoista, kuten hakkuumenetelmästä, leimikko-olosuhteista jne. Yleensä koko- ja osapuunakorjuussa metsäkuljetuksen tuottavuus on huonompi kuin tavaralajimenetelmissä.

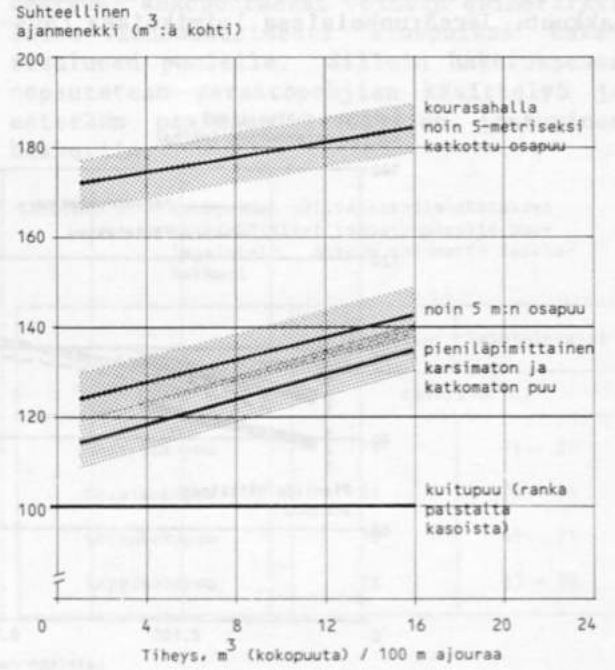
Käyttämällä kerroskuormia, joissa karsituilla puutavaralajeilla osapuita tiivistäen kuorman kokoa saadaan kasvatettua, voidaan metsäkuljetuksen tuottavuutta joissakin olosuhteissa parantaa. Metsäkuljetuksen tuottavuutta voidaan myös parantaa kuormatilaa suurentamalla. Kuormankoon suurentamisella on kuitenkin melko pieni merkitys paitsi pitkillä metsäkuljetusmatkoilla (kuva 8). Huonoimpaan tulokseen suhteellisesti päädytään sellaisissa oloissa, joissa puut kuormataan levältään (esim.



Kuva 8. Kuorman koon suurentamisen vaikutus havuosapuiden (tukkirunkojen latvat noin 5-metrisiksi katkottuina) metsäkuljetuksen ajanmenekkiin. Päätehakkuu

harvennukset), korjattava puusto on vahvaoksaista ja pientä eikä kerroskuormarakenteita voida hyödyntää.

Noin 5-metriseksi katkotun osapuun metsäkuljetuksen ajanmenekin lisääntymisestä (min/m^3) verrattuna kuitupuun kuljetuksen ajanmenekkiin 30 - 50 % johtuu pienemmästä kuormankoosta ja noin 30 % hitaammasta kuormauksesta ja purkamisesta. Verrattuna kuitupuun metsäkuljetuksen ajanmenekkiin osapuun metsäkuljetuksen ajanmenekki olikin 1.25 - 1.45-kertainen ja kourasahamenetelmässä osapuiden katkonnan ja metsäkuljetuksen ajanmenekki 1.75 - 1.85-kertainen, kun ajomatka oli 350 m. Pienilä-



Kuva 9. Osapuun metsäkuljetuksen suhteellinen ajanmenekki tiheyden mukaan. Tavaralajeilla ainespuun tiheys, osapuulla ainespuun + lisäraaka-aineen tiheys. Päätehakkuu, ajomatka 350 m

pimittaisen kokopuun metsäkuljetuksen ajanmenekki kuutioyksikköä kohti oli 1.15 - 1.35-kertainen tavaralajeiksi tehdyn kuitupuun metsäkuljetuksen ajanmenekkiin verrattuna. Pieniläpimittaisen kokopuun metsäkuljetus oli nopeampaa kuin noin 5-metristen osapuupölkkyjen. Se johtui puutavaran pituuden lisääntymisen myötä suurentuneesta kuormankoosta. (Kuva 9, s. 11).

Koko- ja osapuumenetelmissä *korjuukustannukset* (hakkuu sos. kuluineen ja metsäkuljetus) ovat halvemmat kuin tavaralajimenetelmissä, kun rungon koko on alle 0.200 dm^3:n (kuva 10). Kun leimikon korjuukustannukset kohdistetaan pelkästään ainespuuhun, saadaan ainespuu korjatuksi keskimäärin 0 - 5 mk/m^3 halvemmalla kuin tavaralajimenetelmässä. Pienikokoisten puiden siirtelykaadolla ja metsäkuljetuksella voidaan päästä jopa yli 10 mk:n/ainespuu-m^3 pienempiin korjuukustannuksiin kuin tavaralajimenetelmässä.

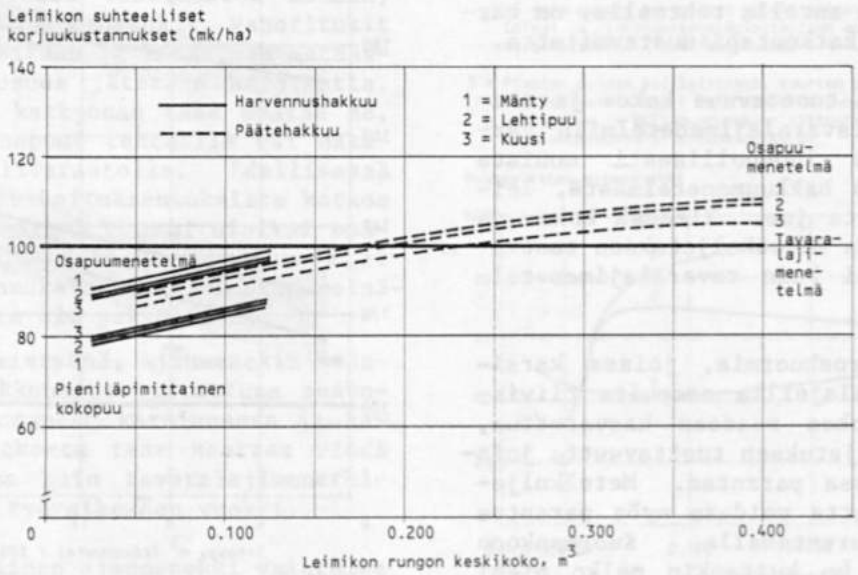
Kourasahamenetelmä on edullisempi kuin kuvassa 10 esitetty osapuumenetelmä sellaisissa leimikoissa, joista saadaan tai joissa tehdään vain vähän tukkeja kuten esimerkiksi harvennusleimikoissa tai pienirunkoisissa päätehakkuuleimikoissa. Niissäkään leimikoissa se ei ole kuitenkaan korjuukustannuksiltaan yhtä edullinen kuin siirtelykaatoon ja kokopuiden metsäkuljetukseen perustuva menetelmä.

Korjuun kannalta ensisijaisia ihmistyövaltaisen koko- ja osapuunakorjuun kohteita ovat pienirunkoiset harvennus- ja päätehakkuut. Järeärunkoisissa leimikoissa tavaralajeinakorjuu on halvempaa, mutta ero ei ole suuri. Kuitenkin jos osapuumenetelmiä verrataan halvimpaan tavaralajimenetelmään, esimerkiksi kuusivaltaisessa päätehakkuussa koneelliseen korjuuseen, osapuumenetelmät ovat kilpailukyvyltään huonompia kuin kuvassa 10 esitetty menetelmä.

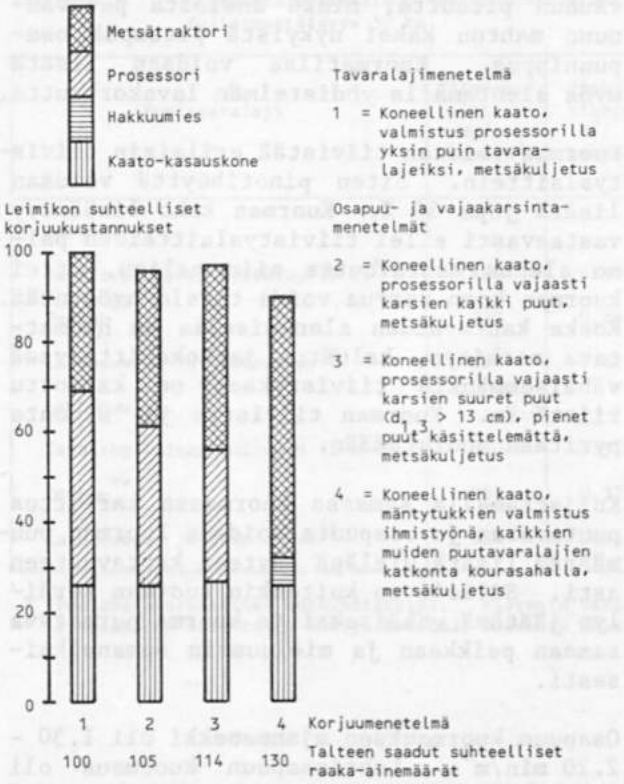
Koneelliset korjuuketjut

Koneellisten järeään kaato-kasauskoneeseen ja/tai prosessoriin perustuvien osapuunakorjuuketjujen käyttömahdollisuudet ovat tutkimuksen tulosten mukaan varsin suppeat. Menetelmät ovat kilpailukykyisiä moottorisahahakkuuseen perustuvien osapuunakorjuuketjujen kanssa yleensä vain talvella (kausikorotusluokka > K2) kuusivaltaisissa päätehakkuuleimikoissa.

Järeän kaatokoneen käyttöön perustuva osapuumenetelmä, jossa tukit valmistetaan ihmistyönä ja osapuut katkotaan kourasahalla, on kaatokoneeseen ja prosessoriin perustuvaan tavaralajimenetelmään verrattuna kilpailukykyinen kuitupuuvaltaisissa päätehakkuissa. Tukkipuuvaltaisessa päätehakkuussa on käytettävä menetelmää, jossa kaatokone lajittelee suuret ja pienet puut erilleen, jolloin pienet puut voidaan korjata karsimattomina. Suuret puut taas käsitellään prosessorilla. Tässä menetelmässä tuottavuus on 15 - 30 % suurempi kuin tavaralajimenetelmässä. Koko leimikon korjuukustannukset ovat samansuuruiset kuin tavaralajimenetelmässä, mutta raaka-ainetta saadaan enemmän talteen. (Kuva 11).



Kuva 10. Leimikon suhteelliset korjuukustannukset (hakkuu sos.kuluineen ja metsäkuljetus). Tavaralajimenetelmä: ihmistyönähakkuu, ranka kasoihin palstalle; osapuumenetelmä: ihmistyönä kaato, tukkien valmistus, osapuiden katkonta noin 5-metrisiksi; pieniläpimittainen kokopuu: siirtelykaato ihmistyönä. Kaikissa menetelmissä metsäkuljetus tavanomaisella kuormatraktorilla



Kuva 11. Leimikon korjuukustannukset, järeään kaato-kasauskoneeseen perustuvat korjuuketjut. Kuusivaltainen päätehakkuu. Rungon keskikoko n. 0.170 m^3

Ihmistyönäkaadon jälkeen voidaan koneellista osapuumenetelmää soveltaa myös siten, että prosessorilla käsitellään vain suuret puut (esim. rinnankorkeusläpimitaltaan ≥ 15 cm) ja pienet puut korjataan karsimattomina. Tällä tavoin saadaan prosessorin tuottavuutta parannettua leimikon runkolukusarjan mukaan 5 - 20 % kaikkien puiden joukkokäsittelyyn verrattuna. Metsäkuljetuksen tuottavuus kuitenkin samalla huononee. Korjuukustannukset ovatkin tavaralajeinakorjuun kanssa samansuuruiset, joskin edellisessä menetelmässä saadaan raaka-ainetta 10 - 15 % enemmän talteen.

Harvennuksissa pieniläpimittaisen kokopuun tai osapuun koneellisten korjuumenetelmien tuottavuudet eivät ole yhtä hyviä kuin parhaiden vastaavien ihmistyövaltaisten korjuumenetelmien. Tavaralajimenetelmiin verrattuina koneelliset osapuumenetelmät eivät ole myöskään kustannuksiltaan kilpailukykyisiä.

Pienikokoisen harvesterin käyttöön perustuvassa osapuumenetelmässä, jossa puista valmistettiin noin 3 m:n tavaralajipölkky ja latvat korjattiin karsimattomina, ainespuun korjuukustannukset olivat 7 - 30 % suuremmat kuin tavaralajimenetelmässä. Talteen saatua kuutioyksikköä kohti kustannukset olivat kuitenkin osapuita korjattaessa 10 - 25 % pienemmät kuin tavaralajeinakorjuussa. Kaato-kasauskoneeseen perustuvissa ketjuissa ainespuun korjuukustannukset olivat kokopuumenetelmissä 15 - 40 % suuremmat kuin tavaralajimenetelmissä. Talteen saatua kuutioyksikköä kohti kokopuumenetelmän korjuukustannukset olivat kuitenkin 12 - 28 % pienemmät kuin tavaralajimenetelmässä.

2.1.4 Pieniläpimittaisen kokopuun haketus välivarastolla[1)]

Pieniläpimittaiset karsimattomat kokopuut yleensä haketetaan välivarastolla ennen kaukokuljetusta. Yleisin hakkurityyppi on kuorma-autoon asennettu laikkahakkuri. Laikkahakkurilla valmistettua haketta voidaankin seulonnan jälkeen syöttää useimpiin sulfaattiselluprosesseihin. Laikkahakkurin ongelmana ovat kuitenkin kokopuun haketuksen mukana teriin kulkeutuvat kivet. Edullisimmissa olosuhteissa terät pysyvät tyydyttävässä kunnossa 400 i-m^3:n haketuksen ajan. Kesällä, runsaasti maata ja kiviä sisältävien varastokasojen haketuksessa, terät joudutaan vaihtamaan jopa yhden kuormatilan täytön jälkeen.

Metsäkuljetuksessa ja varastojärjestelyissä tulee edellä mainittu ongelma ottaa huomioon ja parantaa siten hakkurin tuottavuutta. Ensimmäiset välivarastolle purettavat kokopuutaakat voidaan esimerkiksi latoa tiensuuntaisesti "aluspuiksi" haketusalueen puolelle. Silloin haketuksessa nopeutetaan varastopohjien käsittelyä ja estetään osaltaan irtokivien joutuminen hakkuriin.

TAULUKKO 2 Kokopuiden välivarastollahaketuksen keskimääräiset tehoajanmenekit puulajeittain. Autoon asennettu laikkahakkuri

Raaka-aine	Keskimäärin	Vaihtelurajat
	cmin/i-m^3	
Mäntykokopuu	74	71 - 87
Kuusikokopuu	84	74 - 98
Koivukokopuu	70	69 - 71
Leppäkokopuu	71	55 - 88

1) Tässä julkaisussa käytetään termejä haketus ja hake myös niissä tapauksissa, joissa tarkemmat termit olisivat murskaus ja murske

Haketuskustannusten kannalta on olennaista, kuinka suuri työmäärä hakkurille pystytään tarjoamaan. Hakkurin 50 000 - 60 000 i-m^3:n vuotuisen työmäärän mukaan harvennusleimikon korjuu kokopuuna ja sen haketaminen välivarastolla maksoi 8 - 13 % enemmän kuin saman leimikon pelkkä korjuu tavaralajeina (vrt. kuvaan 10, s. 12). Talteen saatua m^3:ä kohti kustannukset olivat kokopuumenetelmässä kuitenkin 17 - 30 % pienemmät kuin tavaralajimenetelmässä.

2.1.5 Kaukokuljetus

Autokuljetus

Osapuun hankinnan taloudellisuuden kannalta autokuljetus on tärkeä vaihe. Tähän mennessä autokuljetusta on kehitetty lähinnä karsitun puutavaran kuljettamista varten. Niinpä osapuun autokuljetuskokeiluissa on käytetty pyöreälle puutavaralle soveltuvaa kalustoa ja sen perusteella on tehty päätelmiä osapuun kuljetuskustannuksista ja kaluston kehittämistarpeista.

Osapuun autokuorman pinotiheydeksi ilman tiivistämistä saatiin 0.20 - 0.35 m^3/kehys-m^3. Pieniläpimittaisen kokopuun pinotiheys oli alhaisin. Havuosapuun pinotiheys oli alhaisempi kuin lehtiosapuun (koivun). Karsitun puutavaran pinotiheydet vaihtelivat 0.50:stä 0.70 m^3:iin/kehys-m^3.

Alhaisesta pinotiheydestä seuraa alhainen tilavuuspaino. Tuoreen osapuun tilavuuspaino vaihteli 180:stä 300 kg:aan/kehys-m^3 (karsitun puutavaran 460:stä 570 kg:aan/kehys-m^3). Pieniläpimittaisen havukokopuun tilavuuspaino oli pienin ja järeän havuosapuun sekä koivun suurin. Osapuun kuivuminen vaikutti luonnollisesti merkittävästi tilavuuspainoihin.

Osapuun alhainen pinotiheys ja tilavuuspaino aiheuttivat sen, että osapuukuorman koko rajoittui kokeiluissa pelkästään kuormatilan mukaan eli täysperävaunuauton kantavuutta ei täysin voitu hyödyntää. Siksi on tarpeen kuormankoon suurentamiseksi lisätä kuormatilaa. Karsitun puutavaran kuljetukseen tarkoitetun laidoin varustetun täysperävaunuauton osapuukuorman koot vaihtelivat 18:sta 32 m^3:iin/kuorma. Osapuun järeyden lisääntyminen ja koivun osuuden kasvu suurensivat kuorman kokoa. Tuoreen karsitun puutavaran kuorma oli noin 40 m^3.

Nykyisen tieliikennelainsäädännön rajoissa osapuukuorman kokoa on mahdollista nostaa 2 - 3 m^3. Siihen päästään lisäämällä perävaunun pituutta, minkä ansiosta perävaunuun mahtuu kaksi nykyistä pitempää osapuunippua. Kuormatilaa voidaan lisätä myös alentamalla yhdistelmän lavakorkeutta.

Kuormaa voidaan tiivistää erilaisin tiivistyslaittein. Siten pinotiheyttä voidaan lisätä jopa 30 %. Kuorman koko lisääntyy vastaavasti ellei tiivistyslaitteiden paino alenna kantavuutta niin paljon, ettei kuorman koon kasvua voida täysin hyödyntää. Koska kantavuuden alenemisella on huomattava merkitys, kaluston jatkokehittelyssä vähäisemmänkin tiivistyksen on katsottu riittävän. Kuorman tiivistys ja sidonta pyritään yhdistämään.

Kuljettamalla samassa kuormassa karsittua puutavaraa ja osapuuta voidaan kuorman puumäärää lisätä vieläpä täyteen kantavuuteen asti. Silloin on kuitenkin kuorman keräilyn jäätävä vähäiseksi ja kuorma purettava samaan paikkaan ja mieluummin samanaikaisesti.

Osapuun kuormauksen ajanmenekki oli 1.30 - 2.20 min/m^3. Lehtiosapuun kuormaus oli nopeampaa kuin havuosapuun. Lehtiosapuun kuormausaika oli noin 1.5-kertainen ja havuosapuun 2.0 - 2.5-kertainen verrattuna karsitun puutavaran kuormausaikaan. Kuormaaikojen ero ei ole kuitenkaan yhtä suuri, koska osapuukuormat ovat pienempiä. Osapuun kuormauksen valmistelun ja purkamisen ajanmenekki ei ollut juuri suurempi kuin karsitun puutavaran kuormauksen vastaava ajanmenekki. Ajoaikaa ei mitattu, mutta ajo saattaa kuorman keveyden vuoksi olla hieman nopeampaakin kuin karsitun puutavaran ajo.

Taulukkoon 3 on laskettu Veitsiluoto Oy:ssä tehdyn tutkimuksen perusteella osapuun ja pienikokoisen kokopuun kuljetuskustannukset ja niiden perusteet. Ne perustuvat karsitun puutavaran kuljetukseen tarkoitettuun kalustoon.

Havuosapuun kuljetuskustannukset olivat 67 % ja lehtiosapuun 24 % suuremmat kuin karsitun noin 5 m^3 pitkän kuitupuun eli havuosapuun 14 mk/m^3 ja lehtiosapuun 6 mk/m^3 suuremmat, kun kuljetusmatka oli 50 km. Kun kuljetusmatka oli pitempi, yksikkökustannusten ero karsitun puutavaran vastaaviin yksikkökustannuksiin suureni. Pieniläpimittaisen kokopuun kuljetuskustannukset olivat edellistä vieläkin suuremmat.

Osapuun autokuljetusta voi kuitenkin kehittää edullisemmaksi kehittämällä kalustoa niin, että suurempi kuorma on mahdollinen. Kuorman koko vaikuttaakin huomattavasti kuljetuskustannuksiin (kuva 12).

TAULUKKO 3 Puutavaralajeittaiset kustannusperusteet ja suhteelliset autokuljetuskustannukset. Kuljetusetäisyys 50 km

Puutavaralaji	Tilavuus-paino, kg/ kehys-m^3	Pino-tiheys, m^3/ kehys-m^3	Yhdis-telmän kokonais-paino, t	Kuorma			Kuorma-aika, h (kuljetus-etäisyys, 50 km)	Suhteelliset kuljetus-kustannukset	
				koko-puuta, m^3	aines-puuta, %	aines-puuta, m^3		mk/ m^3	mk/ aines-puu-m^3
Havupuu									
Tavoitepituinen kuitupuu (5 m)*	460	0.60	48.0	40.4	100	40.4	3.63	100	100
Osapuu**	230	0.29	41.0	24.7	75	18.5	3.75	167	223
Latvaosapuu ja pienosapuu**	180	0.22	36.7	18.7	55	10.3	3.48	210	381
Lehtipuu									
Tavoitepituinen kuitupuu (5 m)*	460	0.51	48.0	34.4	100	34.4	3.77	100	100
Osapuu**	290	0.32	46.1	27.3	85	23.2	3.67	124	146
Latvaosapuu ja pienosapuu**	220	0.25	40.1	21.3	70	14.9	3.55	156	223

* Puutavaravarusteinen autoyhdistelmä, kuormain varastolla
** Sivulaidoin varustettu autoyhdistelmä, kuormain mukana

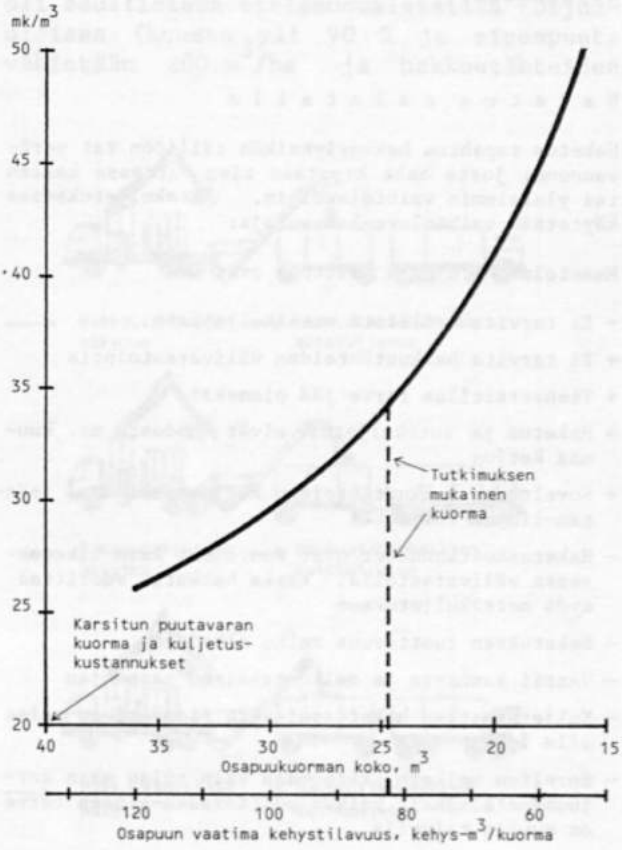
Osapuun kuljetuskustannukset jäävät kehittämisestä huolimatta 15 - 35 % karsitun puutavaran kuljetuskustannuksia suuremmiksi, koska

- sivulaitojen paino alentaa kantavuutta
- kuormaus on hitaampaa ja
- osapuuautokalusto on kalliimpi.

Osapuun autokuljetus vaatii puutavaran korjuulta enemmän kuin karsitun puutavaran kuljetus. Osapuut tulisi katkoa kuljetuksen vaatimiin pituuksiin mahdollisimman tarkasti tilansäästön vuoksi ja lähikuljetuksessa pinota huolellisesti. Varastoalueiden koon tulisi riittää isoille pinoille ja autokuljetuksen tulisi seurata pian korjuun jälkeen esimerkiksi talvella puiden jäätymisriskin vuoksi.

Vesitie- ja rautatiekuljetus

Karsimattoman koko- ja osapuun rautatie- tai vesitiekuljetusta ei tutkimuksessa kokeiltu. Vesitiekuljetuksessa tulisi teoriassa kysymykseen proomaus ja rautatiekuljetuksessa kuljetus korkealaitaisissa vaunuissa. Koska rautatie- ja vesitiekuljetus ovat taloudellisia vaihtoehtoja autokuljetukseen verrattuna nimenomaan pitkillä kuljetusmatkoilla, korostuisi kuorman koon vaikutus vieläkin enemmän kuin lyhyillä kuljetusmatkoilla. Tämä puolestaan huonontaisi edelleen näiden kuljetusvaihtoehtojen kilpailukykyä autokuljetukseen verrattuna.



Kuva 12. Kuorman koon vaikutus havuosapuun kuljetuskustannuksiin. Kuljetusetäisyys 50 km

Tutkimuksessa kokeiltiin sen sijaan pienikokoisista kokopuista valmistetun hakkeen kuljetusta moottoriproomulla. Kokeilu osoitti, että tällaisen omalla moottorilla kulkevan proomun käyttö hakkeen kuljetuksessa voisi olla varteen otettava vaihtoehto proomaukseen soveltuvien vesistöjen rannoilta ja saarista pitkillä kuljetusmatkoilla. Käytännössä sitä rajoittavat kuitenkin proomauskaluston vähäisyys ja kuljetuksen pysähtyminen talvikaudeksi, jolloin mm. hakkeen energiakäyttö on suurimmillaan.

2.2 Hakkuutähteiden hankinta

2.2.1 Korjuumenetelmät

Hakkuutähteiden korjuussa kyseeseen tulevat lähinnä haketukseen perustuvat menetelmät. Hakkuutähdehake soveltuu teknisesti parhaiten metsäteollisuuden ja alueellisten lämpölaitosten ym. suurten käyttökohteiden polttoaineeksi, joissa se joutuu kilpailemaan lähinnä raskaan polttoöljyn, jyrsin- ja palaturpeen sekä kivihiilen kanssa.

Haketus voidaan tehdä joko palstalla, välivarastolla tai haketerminaalissa/käyttöpaikalla.

H a k e t u s p a l s t a l l a

Haketus tapahtuu hakkuriyksikön säiliöön tai perävaunuun, josta hake kipataan tien varressa kasaan tai yleisimmin vaihtolavoihin. Autokuljetuksessa käytetään vaihtolava-hakeautoja.

Menetelmän etuja ja haittoja ovat mm:

+ Ei tarvita erillistä metsäkuljetusta
+ Ei tarvita hakkuutähteiden välivarastointia
+ Tienvarsitilan tarve jää pieneksi
+ Haketus ja autokuljetus eivät muodosta ns. kuumaa ketjua
+ Soveltunee hakkuutähteiden korjuussakin ns. isännän-linjan korjuuksi
– Haketuskustannukset ovat suuremmat kuin haketuksessa välivarastolla, koska hakkuri suorittaa myös metsäkuljetuksen
– Haketuksen tuottavuus melko alhainen
– Vaatii kantavan ja melko tasaisen maapohjan
– Kuljetusmatkan haketuspaikalta tienvarteen tulee olla lyhyt
– Soveltuu melkein yksinomaan vain sulan maan korjuumenetelmäksi, vaikka polttoraaka-aineen tarve on suurin talvella
– Työmaasiirrot ovat hitaita
– Tehokkaiden hakkuutähteiden hakettamiseen soveltuvien palstahakkurien puute toistaiseksi

H a k e t u s v ä l i v a r a s t o l l a

Hakkuutähteet kuljetetaan ainespuun hakkuun jälkeen metsätraktorilla kasoihin autotien varteen, jossa ne haketetaan varastohakkurilla joko suoraan odottavan auton kuormatilaan, vaihtoperävaunuihin tai -lavoihin tai maahan. Autokuljetuksessa käytetään kiinteälavaisia tai vaihtolava-hakeautoja.

Menetelmän etuja ja haittoja ovat mm:

+ Mahdollistaa isot työmaat ja työmaakeskittymät sekä kaluston tehokkaan ympärivuotisen käytön
+ Haketuksen tuottavuus on suuri
+ Mahdollistaa korjuun tehokkaan operatiivisen suunnittelun (mm. välivarastojen ketjuttaminen polttoraaka-aineen tarpeen mukaan) sekä polttoraaka-aineen varmuusvarastoinnin
+ Mahdollistaa melko tasaisen polttoraaka-ainevirran metsästä käyttöpaikoille
+ Autoalustaisten varastohakkureiden siirrot työmaalta toiselle ovat nopeita
+ Mahdollistaa metsätraktoreille marginaaliajon
+ On toistaiseksi yksikkökustannuksiltaan edullisin hakkuutähteiden korjuumenetelmä
– Kuuma korjuuketju edellyttää haketuksen ja autokuljetuksen saumatonta niveltämistä
– Edellyttää kantavia tienpohjia
– Tienvarsitilan tarve on suuri
– Huonot varastojärjestelyt heijastuvat koko ketjuun, jolloin odotusajat ja kustannukset suurenevat
– Ongelmina ovat järeän hakkuriyksikön tehokas vuotuinen työllistäminen sekä hakeautojen määrän optimointi vuositasolla

H a k e t u s t e r m i n a a l i s s a / k ä y t t ö p a i k a l l a

Hakkuutähteet kuljetetaan ainespuun hakkuun jälkeen metsätraktorilla kasoihin välivarastoon, josta ne kuormataan erillisellä kuormaajalla tai autokohtaisella kuormaimella kuljetusyksikön kuormatilaan ja kuljetetaan sellaisinaan haketusterminaaliin tai käyttöpaikalle. Haketus tapahtuu joko liikkuvalla varastohakkurilla tai kiinteällä tehdashakkurilla kasaan, siiloon tai suoraan ajoneuvon kuormatilaan.

Menetelmän etuja ja haittoja ovat mm:

+ Haketuksen tuottavuus on suuri
+ Haketuskustannukset ovat alhaiset
+ Mahdollistaa tasaisen ja ympärivuotisen polttohakkeen hankinta- ja jakelutoiminnan
+ Mahdollistaa polttoraaka-aineen varmuusvarastoinnin
+ Polttohakkeen jakelumenetelmät ja -tekniikka yksinkertaistuvat

+ Mahdollistaa kokonaisvaltaisen puunkäsittelyn eli integraation edut (osapuiden, kokopuiden, hakkuutähteiden ym. käsittely ja jakelu, seulonta)

± Raaka-ainehävikki kasvaa ajan ja kuivumisen funktiona, mutta toisaalta polttoarvo paranee

– Hakkuutähteiden autokuljetuskustannukset ovat suuret

– Soveltuvan autokuljetuskaluston kehittämis- ja rakentamiskustannukset ovat suuret (esim. erikoislaidat, tiivistämislaitteet, suurennetut kuormatilat jne. tai hakkuutähteiden paalaus välivarastolla)

– Terminaalin pääomakustannukset ovat suuret

– Varastotilan tarve vastaanottoalueella on suuri (hakkuutähteet/hake ja mahdollisesti muut puutavaralajit)

– Hakkuutähteiden uudelleenkäsittely ja varastointi aiheuttaa hävikkiä ja sekoittaa "luontevia" kouraisutaakkoja

– Mahdolliset mittausviipymät

Melu, pöly jne. saattavat aiheuttaa korjuun eri vaiheissa paikallisia ympäristöhäiriöitä, jotka jo hankinnan suunnittelussa olisi otettava huomioon.

Hakkuutähdetutkimusten painopiste oli haketukseen välivarastolla perustuvissa menetelmissä, koska hakkuutähteiden korjuu teollisuuden työmailla perustuu nykyään valtaosin monitoimikoneellahakkuun jälkeisten hakkuutähdekasojen kuljettamiseen autotien varteen välivarastolle, jossa ne haketetaan varastohakkurilla suoraan odottavan auton kuormatilaan (kuva 13).

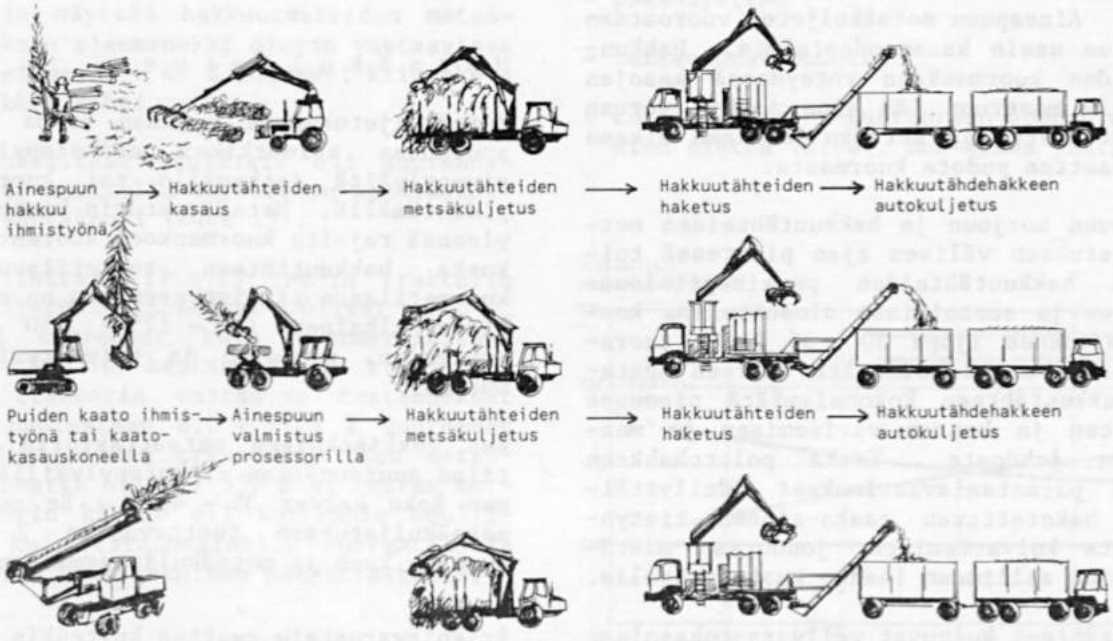
2.2.2 Korjuukohteet ja -kertymät

Teknis-taloudellisesti edullisimpia hakkuutähteiden korjuukohteita ovat kuusivaltaiset, järeärunkoiset, monitoimikoneella käsitellyt päätehakkuutalvileimikot. Talteen saatavan hakkuutähteen suhteellinen määrä on suurin, jos hakkuutähde korjataan talvella heti ainespuun korjuun yhteydessä.

Hakkuutähteiden metsäkuljetukselle edullisimmat monitoimikonetyypit ovat ajourien sivulle, yksittäisiin kasoihin karsivat tai sivuille, jonomaisiin muodostelmiin karsivat monitoimikoneet. Näin ainespuut ja hakkuutähteet saadaan pysymään erillään, eivätkä ne haittaa toistensa kuormaamista ja kuljettamista samoja ajouria pitkin.

Jos hakkuutähdettä kerätään ihmistyönähakkuun jäljiltä, ylimääräisenä työnvaiheena tarvitaan jonkinlaista esikasausta, koska hakkuutähde on jakautunut melko tasaisesti levälleen koko hakkuualueelle.

Hakkeena talteen saatu hakkuutähdemäärä oli edullisissa eteläsuomalaisissa korjuuoloissa (kuusta yli 90 % ja ainespuuta vähintään 200 m^3/ha ja hakkuutähteiden



Kuva 13. Hakkuutähteiden korjuuketjut välivarastohaketukseen perustuvin menetelmin

metsäkuljetus heti ainespuun hakkuun jälkeen) 17 - 22 % leimikon ainespuumäärästä (kiintotilavuuksien suhde), keskiarvon ollessa 19 % eli 35 - 45 m^3/ha. Hehtaarikohtainen hakkuutähdemäärä vastasi siis täysperävaunullisen auton kuormaa eli 80 - 100 i-m^3:ä haketta.

Pohjoissuomalaisissa korjuuoloissa talteen saatu hakkuutähdemäärä vaihteli 15 %:sta 29 %:iin ainespuun määrästä keskiarvon ollessa noin 21 %. Se edustaa 20 - 35 m^3:n hakekertymää hehtaaria kohti.

Aiempien tutkimusten mukaan (Mäkelä 1977) talteen saatu leimikoittainen hakkuutähdemäärä kuusivaltaisilla monitoimikonetyömailla oli keskimäärin 16 % hakatusta runkopuun määrästä vaihteluvälin ollessa 13 - 20 %.

Talteen saatu hakkuutähdemäärä oli puolestaan keskimäärin 38 % hakkuutähteiden laskennallisesta kokonaismäärästä vaihteluvälin ollessa 20 - 55 %. Talvileimikoissa, joissa hakkuutähteiden metsäkuljetus suoritettiin heti ainespuun monitoimikoneellahakkuun jälkeen, talteen saatu hakkuutähdemäärä oli huomattavasti suurempi kuin muutoin samoissa leimikko-oloissa kesällä ja oli parhaimmillaan 75 % lasketusta hakkuutähteiden kokonaismäärästä.

Monitoimikoneellahakkuun yhteydessä aiheutuu korjuutappioita, kun osa neulasista ja pienoksista katkeilee ja varisee maahan ja osa suuremmastakin hakkuutähteestä jää varsinaisten hakkuutähdekasojen ulkopuolelle. Ainespuun metsäkuljetus vuorostaan hajottaa usein kasamuodostelmia. Hakkuutähteiden kuormauksen yhteydessä kasojen pohjille maastoon jää aina jonkin verran hakkuutähdettä ja metsäkuljetuksen aikana sitä saattaa pudota kuormasta.

Ainespuun korjuun ja hakkuutähteiden metsäkuljetuksen välisen ajan pidetessä toisaalta hakkuutähteiden puuainepitoisuus suurenee ja suotuisissa olosuhteissa kosteus pienenee (jopa 30 - 35 %:iin tuoremassasta), mutta toisaalta talteen saatavan hakkuutähteen kokonaismäärä pienenee neulasten ja kuoren varisemisen ja maatumisen johdosta. Koska polttohakkeen laadun parantamisvaatimukset edellyttäisivät haketettavan raaka-aineen tietynasteista kuivattamista, joudutaan määrätappioita sallimaan laadun kustannuksella.

Hakkuutähteet kuivuvat välivarastokasoissa huonosti, koska kuivumista tapahtuu yleensä vain kasojen pintakerroksissa ja lisäksi lahoaminen, tiivistyminen ym. lisäävät useimmiten kasojen sisäosien kosteutta.

Siitä syystä, jos hakkuutähteiden kosteutta halutaan olennaisesti vähentää, hakkuutähteiden on annettava kuivua levällään maastossa sääolojen mukaan ainakin pari kuukautta hakkuun jälkeen huolimatta kertymätappioista.

Metsäkuljetuksen lisäksi hakkuutähdettä jää korjuutappiona varastolle, koska sitä hieman maahan jättämällä vältetään kivien ja maa-aineksen joutuminen hakkuriin. Yhteensä korjuutappio varastolla sekä hakkuutähteenä että hakkeena oli arviolta 3 - 5 % hakkuutähteen kokonaismäärästä.

2.2.3 Hakkuutähteiden korjuu

E s i k a s a u s

Hakkuumiestyömailla hakkuutähde joudutaan kasaamaan ennen metsäkuljetusta. Kasauslaitteena voidaan käyttää esimerkiksi yksikköä, joka on varustettu pitkäulotteisella puomilla, hakkuutähdekouralla tai -haravalla, tai kasaukseen voidaan käyttää erillistä pientraktoria.

Metsätehon aiempien tutkimusten mukaan hakkuutähteiden kasauksen tuottavuus keskimääräisissä päätehakkuuolosuhteissa oli 8 - 14 m^3/h.

Kasauskustannukset ovat melko suuret ja hakkuutähteiden esikasaus suurentaakin korjuukustannuksia olosuhteiden mukaan 20 - 30 %.

M e t s ä k u l j e t u s

Metsäkuljetuksessa kuorman kokoa voidaan suurentaa esimerkiksi erikoispylväillä, sivupylväitä jatkamalla tai kuormatilaa pidentämällä. Metsätraktorin kantavuus ei yleensä rajoita kuormankoon suurentamista, koska hakkuutähteen tuoretilavuusmassa kuormatilassa tiivistyneenäkin on suhteellisen alhainen (80 - 125 - 150 kg/i-m^3 kosteuden, puulajin ja tiivistymisasteen mukaan).

Kun keskikokoisen metsätraktorin kuormatilaa suurennetaan erikoispylväillä, kuorman koko kasvaa 35 - 40 %. Se suurentaa metsäkuljetuksen tuottavuutta 2 - 15 % kasojen koon ja metsäkuljetusmatkan mukaan.

Erikoisvarustelu saattaa kuitenkin aiheuttaa lisäkustannuksia, jos hakkuutähteiden ajo on varsinaisesti kyseisen traktorin marginaaliajoa. Metsätraktori kannattaa kuitenkin varustaa hakkuutähdekouralla

(6 - 8 piikkiä, piikkien välilevyt poistettu) tavanomaisen puutavarakouran sijasta.

Taloudellisimmaksi metsätraktorityypiksi todettiin keskikokoinen metsätraktori, joka oli varustettu hakkuutähdekouralla ja jonka sivupylväitä oli jatkettu lisäpylväin.

Hakkuutähdekuorman kehystilavuus oli 1.5 - 1.9-kertainen traktorin kuormatilaan verrattuna eli kuorman koko vaihteli 33:n ja 42 kehyskuution välillä. Kun vastaavat kuormat mitattiin haketuksen yhteydessä, saatiin kuormien kooksi (hakkeena) noin 4.5 - 5.0 m^3 eli noin 3.5 - 4.0 tonnia tuoremassaa. Silloin ei otettu huomioon metsäkuljetuksen ja välivarastoinnin aikana tapahtunutta korjuuhävikkiä.

Ajanmenekkilukujen mukaan laskettu metsäkuljetuksen tuottavuus oli 7.0 - 11.5 m^3 tehotunnissa, kun kuorman koko oli noin 5 m^3 hakkuutähdettä.

Kun traktorissa käytettiin tavanomaista puutavarakouraa hakkuutähdekouran sijasta, tuottavuus pieneni noin 15 %.

Jos hehtaarikohtainen hakkuutähdemäärä pieneni 40 m^3:stä 30 m^3:iin, metsäkuljetuksen tuottavuus aleni lähes 20 %. Vastaavasti määrän kasvu 40 m^3:stä 50 m^3:iin suurensi tuottavuutta 15 - 18 %.

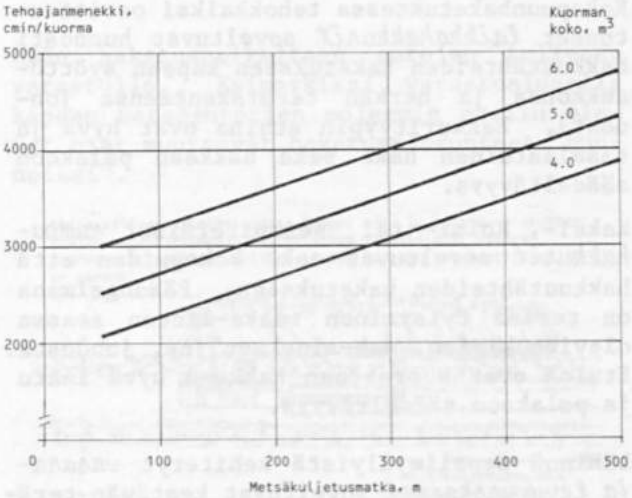
Verrattuna Metsätehon suorittamiin havukuitupuun metsäkuljetuksen ajanmenekkiselvityksiin näyttää hakkuutähteiden metsäkuljetuksen ajanmenekki olevan vastaavissa olosuhteissa 35 - 40 % suurempi kiintokuutioyksikköä kohti.

Kustannuksiltaan edullisin oli suurennetulla kuormatilalla varustettu keskikokoinen metsätraktori (kuva 15).

Kuormatilaltaan 12 - 15 i-m^3:n traktorin metsäkuljetuskustannukset olivat 2.0 - 11.5 % suuremmat kuin kuormatilaltaan 21 - 23 i-m^3:n keskikokoisen traktorin. Suuren traktorin vastaavat kustannukset olivat puolestaan 8.0 - 15.5 % suuremmat kuin edullisimman traktorin. Kun metsäkuljetusmatka oli yli 350 m:n, suuren metsätraktorin käyttö oli kuitenkin edullisempaa kuin tavanomaisella kuormatilalla varustetun keskikokoisen metsätraktorin.

V a r a s t o l l a h a k e t u s

Tutkimuksen ja kehittämisen yhtenä päätavoitteena oli saada markkinoille sellaisia

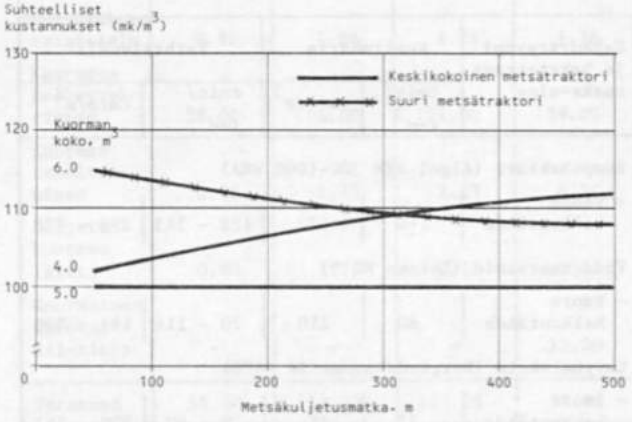


Kuva 14. Hakkuutähteiden metsäkuljetuksen tehoajanmenekki. Hakkuutähdekouralla varustettu metsätraktori. Maastoluokka 1 - 2

varastohakkuriyksikköjä, jotka täyttäisivät tuottavuudeltaan ja käyttövarmuudeltaan niille hakkuutähteiden haketuksessa asetettavat erityisvaatimukset.

Hakkuutähteen rakenteen johdosta sitä työstävältä hakkurilta tai murskaimelta vaaditaan erityisesti:

- suurta tehoa (äkilliset syötön vaihtelut ja rasitushuiput)
- pakkosyöttöä
- tukkeutumattomuutta
- kohtuullista hakkuutähteen epäpuhtauksien sietoa (kivet, maa-aines jne.).



Kuva 15. Hakkuutähteiden suhteelliset metsäkuljetuskustannukset kuorman koon mukaan. Maastoluokka 1 - 2

Kokopuunhaketuksessa tehokkaiksi osoittautuneet *laikkahakkurit* soveltuvat huonosti hakkuutähteiden haketukseen kapean syöttöaukkonsa ja herkän terärakenteensa johdosta. Hakkurityypin etuina ovat hyvä ja tasalaatuinen hake sekä hakkeen palakoon säädeltävyys.

Kaksi-, kolmi- tai useampiteräiset *rumpuhakkurit* soveltuvat sekä kokopuiden että hakkuutähteiden haketukseen. Pääongelmana on terien tylsyminen raaka-aineen seassa olevien kivien, maa-aineksen jne. johdosta. Etuina ovat vuorostaan hakkeen hyvä laatu ja palakoon säädeltävyys.

Lähinnä sepelimyllyistä kehitetyt *vasara- ja levymurskaimet* soveltuvat kestävän terärakenteensa vuoksi hyvin hakkuutähteiden murskaamiseen. Ongelmana on palojen leikkuusärmien murskautuminen ja siten hakkeen huonohko laatu. Etuina ovat tunnottomuus raaka-aineen seassa oleville epäpuhtauksille ja hakkeen jonkinasteinen palakoon säätö seula-arinaa vaihtamalla.

Aikatutkimusten mukaan hakkuutähteiden haketuksen ajanmenekit hake-m^3:ä kohti ovat 1.3 - 2.0-kertaiset kokopuiden haketukseen verrattuina. Tuoreen hakkuutähteen haketuksen ajanmenekki on yleensä huomattavasti pienempi kuin ylivuotisen hakkuutähteen (taulukko 4).

Kun eri hakkurityyppejä ja -merkkejä verrataan toisiinsa, eivät ajanmenekit hakkeen irtotilavuusyksikköä kohti välttämättä ole toisiinsa verrannollisia. Paitsi puulaji, haketettava tavaralaji, varastointiaika ja kosteuden vaihtelut vaikuttavat hakkeen kiintotilavuusprosenttiin hakkurityyppi, terien kunto, hakkeen kuormaustapa (puhallusputki, hihnakuljetin) jne. Välivarastollahaketuksen ajanmenekkiin vaikuttavat lisäksi olennaisesti varastojärjestelyt, varastopaikkojen kantavuus, varastokasojen laatu ja koko, hiekkaantuminen ja epäpuhtaudet, kuljettajan kokemus ja työtaito sekä talvella lumisuus ja jäätyminen.

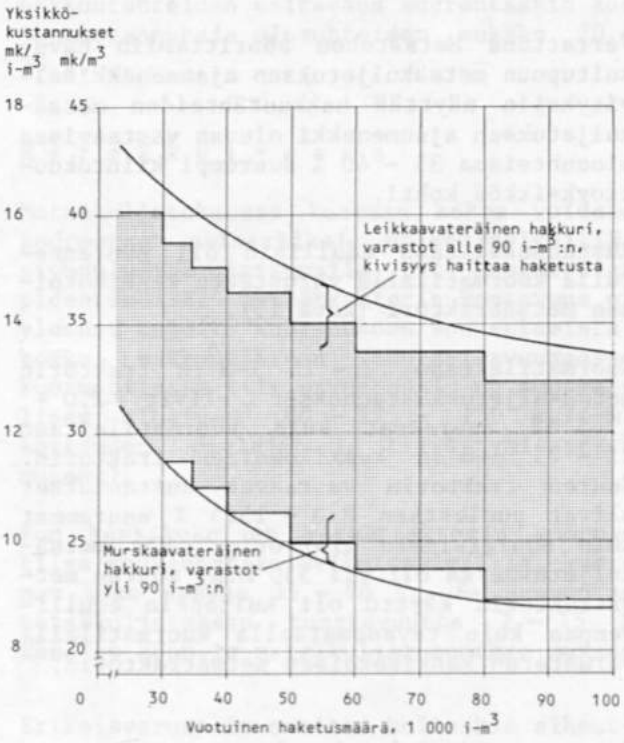
TAULUKKO 4 Keskimääräiset tehoajanmenekit ja niiden vaihteluvälit kuusivaltaisen hakkuutähteen haketuksessa välivarastolla

Hakkurityyppi ja haketettava raaka-aine	Keskimäärin		Vaihteluväli	
	cmin/ i-m^3	cmin/m^3	cmin/ i-m^3	cmin/m^3
Rumpuhakkuri (Algol HEM 300-1000 WEA)				
- vanha hakkuutähde	160	372	128 - 185	298 - 430
Vasaramurskain (Lokomo MS 9)				
- tuore hakkuutähde	80	210	70 - 114	184 - 300
Levymurskain (Morgårdshammar SK 2800)				
- tuore hakkuutähde	75	214	70 - 90	200 - 257
- vanha hakkuutähde	95	287	85 - 110	257 - 333

Esimerkiksi rumpuhakkureilla päästäneen lähelle kokopuun haketuksen ajanmenekkejä, kun haketetaan huolellisesti varastoitua, kivetöntä ja tuoretta pienikokoista mäntyhakkuutähdettä.

Keskeytysten osuus haketuksen tuotantoajasta ilman siirtokuormauksesta ja kaukokuljetuksesta johtuvaa odotusta oli keskimäärin 17 - 28 % eli 30 - 35 cmin/i-m^3.

Hakkuutähteiden haketuksen tuottavuutta ja teknistä käyttöastetta tutkittiin myös seurantatutkimuksena vuonna 1983. Tutkimuskohteina olivat Algol HEM 300-1000 WEA ja TT 910 R -rumpuhakkurit sekä Lokomo MS 9 -vasaramurskaimet. Seuranta-aika vaihteli yksiköittäin 4:stä 26:een viikkoon. Rumpuhakkurien keskimääräinen käyttötuntituotoksen vaihteluväli oli viikoittain 32.0 - 46.5 i-m^3 ja vasaramurskainten 44.0 - 54.0 i-m^3. Rumpuhakkurien suurin viikoittainen käyttötuntituotos kokopuuta haketettaessa oli 75.0 i-m^3. Kun hakkuutähteiden osuus oli yli 90 %:n, rumpuhakkurien suurin viikoittainen käyttötuntituotos oli 47.0 i-m^3 ja vasaramurskainten vastaavasti 86.0 i-m^3.



Kuva 16. Hakkuutähteiden varastollahaketuksen yksikkökustannusalueet varasto-olosuhteiden ja hakkureiden mukaan

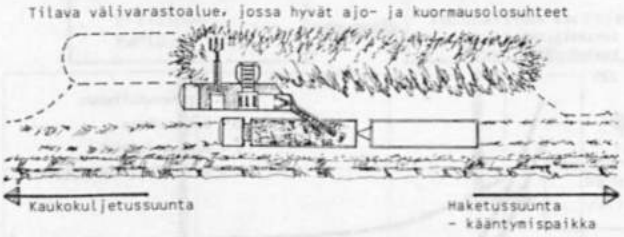
Koska haketusyksiköt olivat tyypeiltään sarjojensa ensimmäisiä ja niiden käyttökokeilut olivat vielä osittain kesken, keskimääräiset tekniset käyttöasteet viikkoa kohti jäivät alhaisiksi eli 52 - 70 %:ksi.

Kuvassa 16 on esitetty hakkuutähteiden haketuksen yksikkökustannusalueet, kun haketetaan järeillä varastohakkureilla eri varasto-oloissa suoraan odottavan auton kuormatilaan.

2.2.4 Hakkuutähteiden kaukokuljetus

Hakkuutähteiden korjuu välivarastolla-haketus-menetelmää käyttäen johtaa yleensä ns. kuumaan ketjuun, jossa hake johdetaan suoraan hakkurista odottavan auton kuormatilaan. Menetelmä edellyttää haketuksen ja kaukokuljetuksen saumatonta niveltämistä sekä välivarastojen operatiivista ketjuttamista, koska jo yhden työnvaiheen tai koneen häiriö heijastuu koko korjuu-kuljetusketjuun ja aiheuttaa ylimääräisiä odotusaikoja ja kustannuksia.

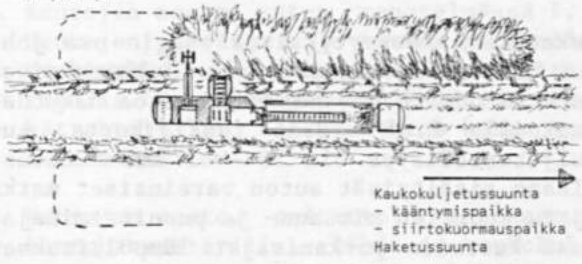
Haketuspaikka on yleensä valittava siten, että täysperävaunuyhdistelmällä pääsee aivan hakkurin lähelle ja että perävaunun siirtely varastolla on mahdollista. Aikatutkimustulosten perusteella haketuspaikka olisi lisäksi valittava siten, että täysperävaunuauto voitaisiin kuormata hakkurin vieressä perävaunua irrottamatta, jos se hakkurin rakenteen puolesta on mahdollista.



Tilavilla varastoilla vaihtoperävaunun käyttö on edullista erityisesti lyhyillä kuljetusmatkoilla.

Ahtailla varastoilla joudutaan yleensä käyttämään kiinteälavaista perävaunutonta autoa tai vaihtolavoilla varustettua autokalustoa, jolloin vaihtolavat on kuormattava siirtokuormauksena. Jos ahtaissa, mutta muuten hyvissä ajo-olosuhteissa on mahdollista kääntää perävaunu varastoalueella aivan ennen hakkuria, voidaan käyttää myös kiinteälavaista täysperävaunuautoa. Jos autojen kääntymispaikkaa tai vaihtolavojen siirtokuormaustilaa ei voida järjestää varaston kaukokuljetussuunnan puolelle, hakkuri joudutaan aina siirtämään haketuspaikaltaan autojen tullessa varastolle. Esimerkiksi varastoalueella kapean metsäautotien molemmin puolin olevat ojat muuttavat haketusolosuhteet "huonoiksi".

Ahdas välivarastoalue, jossa huonot ajo- ja kuormausolosuhteet. Eräitä hakkurityyppejä käytettäessä varastokasat voidaan kuormata molemmilta puolilta tietä, jolloin haketustilanne on parempi.



Taulukossa 5 on esitetty erilaisten hakkeen kuormausmenetelmien ajanmenekkejä ilman siirtokuormauksesta ja varsinaisesta kaukokuljetuksesta johtuvaa odotusta.

Jos hakkuutähteet kuormattiin sitä vastoin hakettamattomina auton omalla kuormaimella ajoneuvon kuormatilaan, ajanmenekki oli Forskningsstiftelsen Skogsarbetenin tulosten mukaan 130 min/kuorma, kun kuorman koko oli 21.6 m^3 (100 i-m^3). Kun kuormaimella samalla tiivistettiin kuormaa, ajanmenekki oli 145 min/kuorma ja kuorman koko oli 24.2 m^3 (100 i-m^3).

TAULUKKO 5 Hakkeen autoonkuormauksen ajanmenekki eri menetelmin. Murskaavateräinen hakkuri

Työnvaihe	Haketus suoraan odottavaan			Hakkeen kuormaus maasta kiinteälavaiseen autoon
	telausajoneuvoon	vaihtolavaautoon	kiinteälavaiseen autoon	
	min/kuorma			
Kääntyminen	1.90	4.44	4.44	4.44
Kuormauksen valmistelu	0.90	1.26	1.26	1.26
Kuormaus keskeytyksineen	55.00	104.00	121.00	59.00
Kuorman tasoittaminen	0.90	1.43	1.43	0.50
Kuljetuskuntoon laitto	0.80	1.12	1.12	1.12
Kuormaimen irrotus + kiinnitys	-	-	-	12.00
Yhteensä	59.50	112.25	129.25	78.32
Kuorman koko, i-m^3	45	90	105	50
m^3	17.0	33.8	39.5	21.0

Välivarastollahaketuksessa varsinaisen siirtokuormauksen ajanmenekki, kun käytettiin vaihtolavakalustoa, oli keskimäärin 27.5 min/kerta 300 m:n matkalla ja 11 min/kerta 20 - 35 m:n matkalla. Siirtokuormauksen ajanmenekkiin sisältyivät perävaunun irrotus ja kiinnitys, vaihtolavojen käsittely sekä varsinainen siirtoajo.

Haketuksen keskeytyksistä suurin osa johtui auton odottamisesta. Tutkimuksissa hakkuri odotti täysperävaunuautoa haketuspaikoilla 2.05 - 2.15 tuntia/kerta, kun kuljetusetäisyys oli 35 - 45 km. Odotusaikaan sisältyivät auton varsinaiset matka-ajat, kuormien mittaus- ja punnitsemisajat sekä kuormien purkamisajat lämpölaitoksen vastaanottokentällä.

Tyydyttävän, 65 000 - 70 000 i-m^3:n vuosituotoksen saavuttaminen hakkuutähdehakkurilla edellyttää 80 km:n kuljetusmatkalla kahden täysperävaunuauton tai kolmen perävaunuttoman auton käyttöä. Lyhyillä, alle 40 km:n matkoilla riittää kaksi perävaunutonta autoa. Vaihtolavallinen täysperävaunuauto on perävaunutonta autoa edullisempi poikkeuksetta yli 40 km:n kuljetusetäisyyksillä sekä myös sitä lyhyemmillä matkoilla, jos perävaunu voidaan tuoda kytkettynä aivan haketuspaikan lähelle. (Kuva 17)

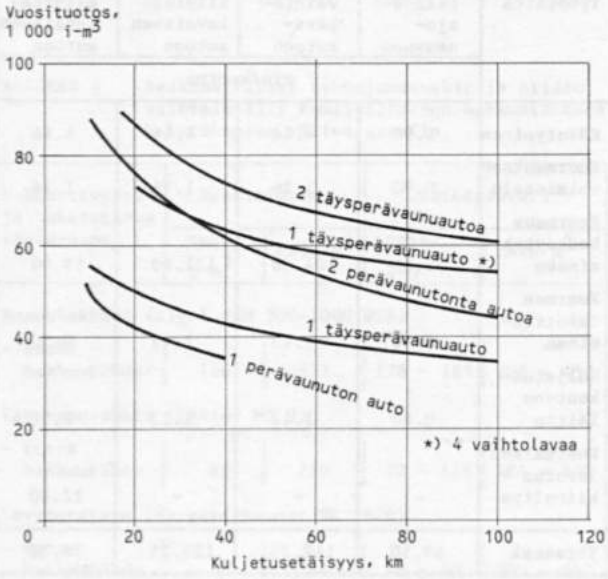
Kuvassa 18 on esitetty hakkuutähdehakkeen ja kokonaisten hakkuutähteiden sekä kokopuuhakkeen suhteelliset yksikkökuljetuskustannukset 5 m havukuitupuun kuljetuskustannuksiin verrattuina.

Hakkuutähderaaka-aineen hankintakustannukset käyttöpaikalle saadaan, kun korjuun ja kaukokuljetuksen kustannuksiin lisätään mahdollinen kantohinta ja hankintatoiminnan yleiskustannukset (metsäyhteis- ja hallintokulut). Eri osakustannukset vaihtelevat huomattavasti hankintaolosuhteiden mukaan.

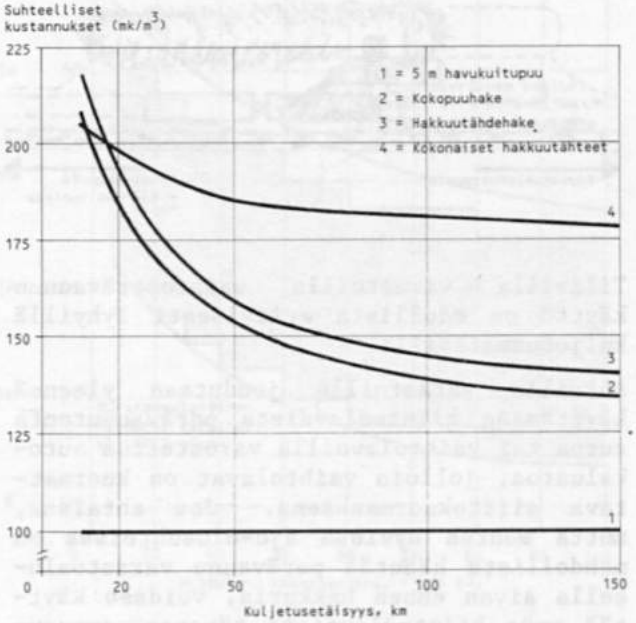
	%
Kantohinta	5 - 7
Metsäkuljetus (alle 300 m)	18 - 23
Haketus	22 - 24
Kaukokuljetus (50 km)	30 - 33
Yleiskustannukset	18 - 19
Yhteensä	100

Hankintakustannukset käyttöpaikalle olivat loppuvuoden 1983 kustannuksien mukaan 50 kilometrin etäisyydeltä 102 - 113 mk/kiintokuutiometri.

Kokonaisuudessaan hakkuutähteiden korjuun kannattavuus riippuu olennaisesti korjuun kustannusrakenteen kehittymisestä, prosessikäyttöön saatavan lisäraaka-aineen määrästä ja laadusta sekä hakkuutähteen polttoarvoyksikön hinnasta käyttöpaikalla verrattuna edullisimpaan vaihtoehtoiseen polttoaineeseen.



Kuva 17. Hakkurin vuosituotoksen riippuvuus hakeautojen määrästä sekä kuljetusetäisyydestä (hyvät varasto-olosuhteet)



Kuva 18. Eri puutavaralajien suhteelliset autokuljetuskustannukset käytettäessä kiinteälavaista täysperävaunuautoa (tuoreen 5 m havukuitupuun kuljetuskustannukset = 100)

2.3 Kantopuun hankinta

2.3.1 Menetelmät ja kalusto

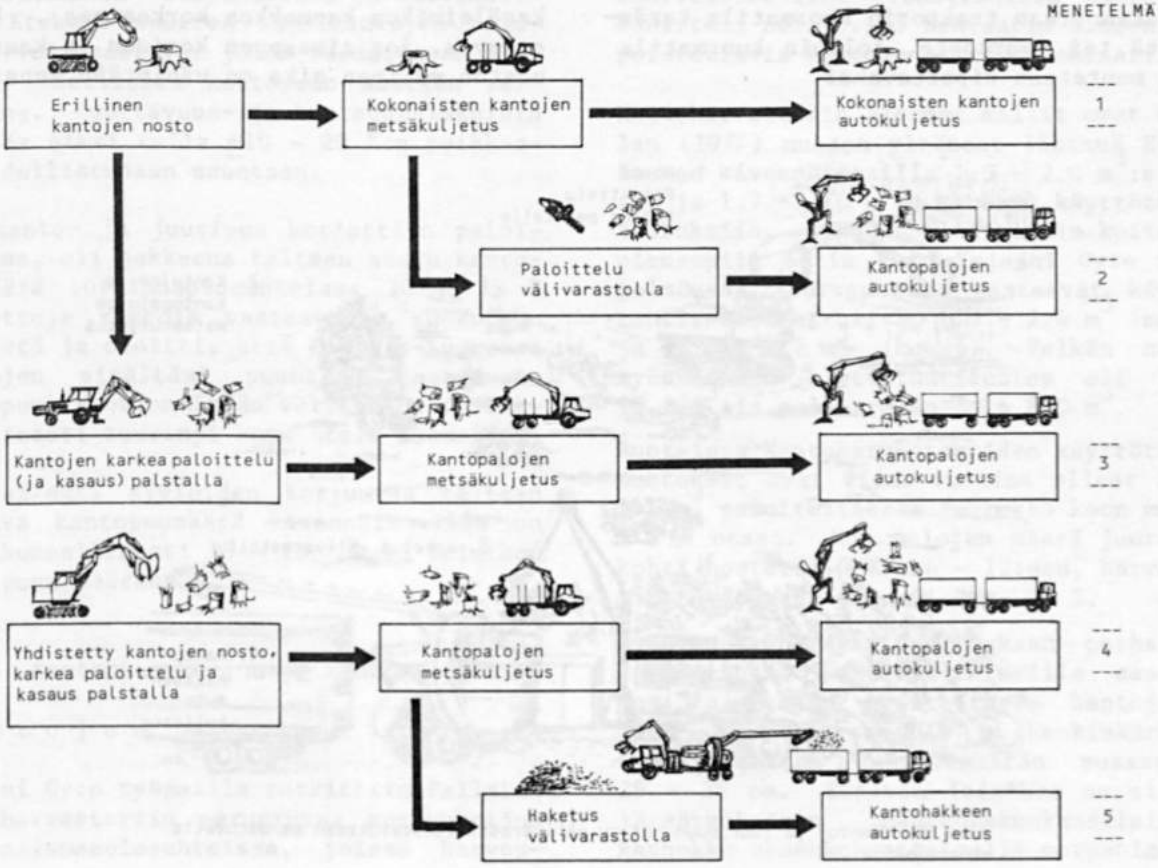
Viime vuosina kanto- ja juuripuuta on käytetty Suomessa pääasiassa energian tuottamiseen, jolloin hankintamenetelmät ovat perustuneet

- puhdistamattomien kantojen tai kantopalojen hankintaan käyttöpaikalle tai
- kantohakkeen hankintaan käyttöpaikalle, jolloin lopputuote (hake) tuotetaan metsäpäässä.

Hankintamenetelmät on kuvattu alla olevassa asetelmassa.

Hankintamenetelmien selitykset:

1. Kantojen nosto kaivukoneeseen tai kaatokasauskoneeseen asennetulla kantokoukulla tai pyöräkuormaajan kantokauhalla. Lähikuljetus metsätraktorilla. Kokonaisten kantojen kaukokuljetus täysperävaunullisella kuorma-autolla tai maataloustraktorilla.
2. Kantojen nosto ja lähikuljetus kuten menetelmässä 1. Kantojen paloittelu välivarastolla moottorisahalla, traktorikaivuriin asennetulla paloittelijalla tai kantoloukulla. Kantopalojen kaukokuljetus täysperävaunullisella hakeautolla, jonka laidat on vahvistettu.
3. Kantojen nosto kuten menetelmässä 1. Kantojen paloittelu ja kasaus palstalla traktorikaivuriin asennetulla paloittelijalla. Kantopalojen lähikuljetus metsätraktorilla. Kaukokuljetus kuten menetelmässä 2.
4. Kantojen nosto, paloittelu ja kasaus kantoharvesterilla. Lähi- ja kaukokuljetus kuten menetelmässä 3. Lähikuljetus voidaan lyhyillä kuljetusmatkoilla tehdä myös kantoharvesterilla, joka on varustettu kipattavalla perälaatikolla tai perävaunulla.
5. Kantojen nosto, paloittelu ja kasaus sekä lähikuljetus kuten menetelmässä 4. Kantopalojen haketus välivarastolla kantohakkurilla suoraan odottavan hakeauton kuormatilaan. Kantohakkeen kaukokuljetus täysperävaunullisella hakeautolla.



Kivennäismailla yleisimmät käytössä olevat menetelmät perustuvat Pallarin kantoharvesterin käyttöön. Kantoharvesteri on kantojen käsittelyyn suunniteltu laite, jolla on mahdollista irrottaa juurakko maasta, puhdistaa se karkeasti ja paloitella haluttuun palakokoon sekä kasata palat palstalle lähikuljetusta varten. Työnvaiheiden tarkoituksena on mahdollisimman tarkka irtaimen maa- ja kiviaineksen poistaminen kantopuusta ja kantojen paloitteleminen kuljetukselle edullisempaan muotoon.

Turvemailla pintakantojen irrottamiseen käytetään myös traktorikaivuria tai puskutraktoria. Polttoturvesoilla turpeen sisällä oleva kanto- ja liekopuu nostetaan ja kasataan telapuskutraktorin vetämällä kannonnostokoneella.

Tavanomainen keskikokoinen tai suuri metsätraktori soveltuu hyvin sekä kokonaisten kantojen että pitkien kantopalojen lähikuljetukseen. Koska kantopuukuorman pinotiheys on alhainen (keskimääräinen kiintotilavuus: kokonaiset kannot 9 - 12 %, enimmäismitaltaan 30 x 50 x 70 cm:n kantopalat 25 - 36 % ja pienet kannot yhdessä korkeintaan 150 cm pitkien kantopalojen seassa 15 - 24 %), traktorin kuormatila pyritään saamaan mahdollisimman suureksi. Keinot ovat samoja kuin hakkuutähteiden kuljetuksessa: sivupylväitä jatketaan, käytetään erikoispylväitä, pidennetään kuormatilaa tai rakennetaan traktorin kuormatila teräslevystä tai -verkosta, jolloin kuormatila usein muutetaan kipattavaksi.

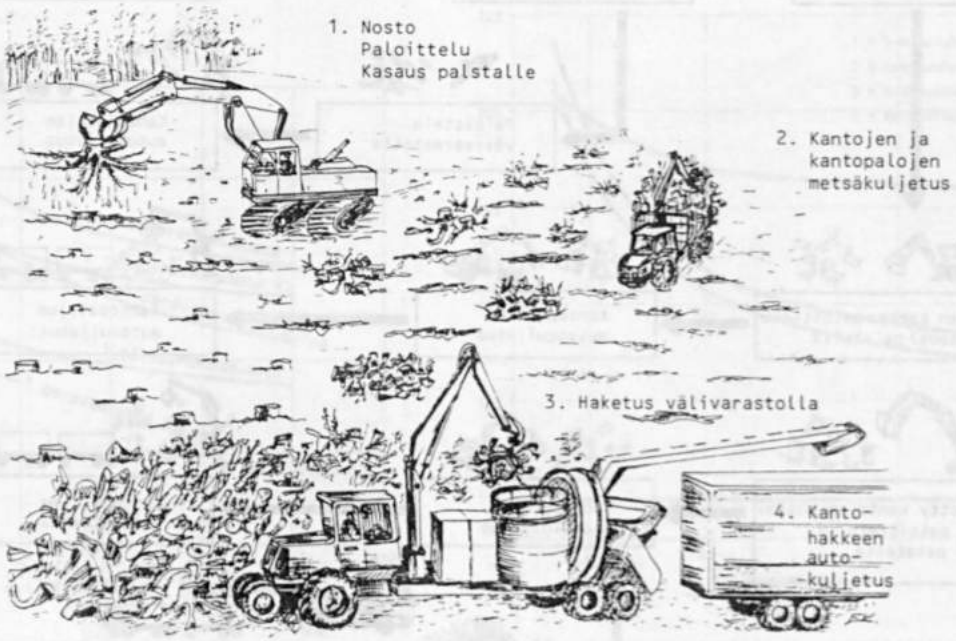
Kantojen ja kantopalojen kaukokuljetukseen käytetään yleisimmin täysperävaunullisia hakeautoja, joiden kuormatilojen laidat on vahvistettu. Kuormatilan koko on yleensä ollut 80 - 105 i-m^3 (Ruotsissa jopa 140 i-m^3). Myös osapuun kuljetukseen rakennetut puutavara-autot soveltunevat kantojen kaukokuljetukseen.

Koska kokonaisten kantojen ja kantopalojen hankinnasta on olemassa kohtuullisen runsaasti tutkimustietoa, tämän projektin kantopuututkimuksissa keskityttiin haketusmenetelmään, jossa kantoharvesterilla nostetut, paloitellut ja kasatut kantopuut kuljetettiin metsätraktorilla välivarastolle ja haketettiin Kajaani Oy:n kehittämällä hakkurilla. Raaka-aine haketettiin suoraan odottavan hakeauton kuormatilaan energialaitokselle kuljettamista varten (kuva 19).

Menetelmä poikkesi siis aiemmista kantopuun korjuu- ja kuljetusketjuista siinä, että lopputuote (polttohake) tuotettiin jo metsäpäässä.

2.3.2 Korjuukohteet ja -kertymät

Edullisimmat kivennäismaan kantojen korjuukohteet ovat kantoläpimitaltaan järeähköt, ohutkuntaisilla ja vähäkivisillä moreenimailla olevat "kuusikantoleimikot", joiden ainespuu on korjattu talvella päätehakkuuna (lumen vuoksi kannokko on yleensä kesäleimikon kannokkoa korkeampaa). Etuna on myös, jos ainespuun korjuun ja kantojen noston välinen aika on vähintään vuosi.



Kuva 19. Kanto- ja juuripuun korjuu välivarastollahaketukseen perustuvalla menetelmällä

Kanto- ja juuripuun korjuussa talteen saatava puuainemäärä riippuu olennaisesti korjuumenetelmästä ja -kalustosta. Nostovaiheessa on teknisesti mahdollista saada ylös lähes kaikki kanto- ja juuripuu. Kantojen nostossa on rajoituttu käytännössä vain läpimitaltaan yli 20 cm:n havupuukantojen nostoon.

Kokonaisten kantojen hankintaketjuissa korjuutappio on yleensä hyvin vähäinen. Sen voidaan olettaa olevan alle 5 % nostetusta kantopuun määrästä.

Metsässä paloiteltujen kantojen hankintaketjuissa korjuutappiot syntyvät lähinnä kantojen paloittelun ja kasauksen sekä metsäkuljetuksen yhteydessä. Lähikuljetuksen korjuutappiota voidaan pienentää kytkemällä perälaatikko tai -vaunu paloittelukoneeseen. Silloin korjuutappio jäänee aiempien tutkimusten mukaan 5 - 6 %:iin kantopuun kokonaismäärästä.

Korjuukertymän ja -tappion määrittämisen vaikeuksina ovat kantojen noston, metsäkuljetuksen sekä haketuksen ja kaukokuljetuksen ajoittuminen yleensä eri vuosille. Lisäksi kantojen tilavuuden määrittämisessä joudutaan käyttämään lähinnä eteläsuomalaisten kivennäismaan kantopuiden läpimittaluokittaisia kuutioimistaulukkoja. Taulukkoarvot antavat kuitenkin liian alhaisia kantopuumääriä pohjoissuomalaisissa "kantoleimikko"-olosuhteissa ja turvemailla. Etenkin suurten kuusikantojen tilavuusarvot saattavat jäädä huomattavan pieniksi todelliseen kantopuun määrään verrattuna. Tuottavuus- ja kustannuslukuihin saattaa siksi tulla ±10 - 20 %:n poikkeamat edullisempaan suuntaan.

Kun kanto- ja juuripuu korjattiin paloiteltuna, oli hakkeena talteen saatu kantopuumäärä tutkimusolosuhteissa 30 - 39 % nostettuja kantoja vastaavasta runkopuun määrästä ja osoitti, että Pohjois-Suomessa kantojen sisältämä puumäärä vastaavaan runkopuun kuutiomäärään verrattuna on suhteellisesti suurempi kuin Etelä-Suomessa.

Varovaisesti arvioiden korjuussa talteen saatava kantopuumäärä kivennäismailla on valtakunnallisesti 15 - 20 % koko leimikon runkopuun määrästä.

2.3.3 Kantopuun korjuu ja kaukokuljetus

K a n t o j e n n o s t o

Kajaani Oy:n työmailla tutkittiin Pallarin kantoharvesteriin perustuvaa korjuuketjua kivennäismaaolosuhteissa, joissa harvesteri nosti kuusivaltaisilla päätehakkuualueilla yli 20 cm:n läpimittaiset kannot irti maasta ja paloitteli suuret kannot 2 - 3 osaan. Noston ja paloittelun lisäksi harvesteri ravisteli irtilähtevän kivi- ja maa-aineksen pois kannoista sekä kasasi kantopalat palstalla työpisteittäin kasoihin metsäkuljetusta varten.

Kantoharvesterin tuotantoajasta kului keskimäärin 91 % kantojen nostoon, paloitteluun ja kasaamiseen, 8 % kasojen välisiin siirtymisiin sekä 1 % keskeytyksiin. Kantokohtainen aika työpistesiirtoineen vaihteli 0.9 min:sta 1.7 min:iin sen mukaan, mikä oli kantoläpimitta ja kantojen määrä hehtaarilla. Kokonaisajanmenekkiin vaikuttavat kantoläpimitan ja "kantoleimikon" tiheyden lisäksi myös puulaji sekä työmaan maalaji ja kivisyys. Pienet kuusenkannot sekä turvemailla männynkannot voidaan yleensä nostaa kokonaisina, mutta suuret kuusenkannot joudutaan usein irrottamaan sivujuuri kerrallaan irti maasta. Kivennäismailla kuusen kantoläpimitan suuretessa 29 cm:stä 45 cm:iin noston, paloittelun ja kasauksen ajanmenekki suurenee 1.0 min:sta 1.7 min:iin kantoa kohti.

Kantoharvesterin tuottavuus kivennäismaan kuusikantojen käsittelyssä oli keskimäärin 4.5 - 5.9 m^3 kantopuuta tehotunnissa työpistesiirtoineen. Parhaimmilla kantotyömailla harvesteri ylsi noin 7.0 m^3:n tehotuntituotoksiin. Tehotunnissa harvesteri käsitteli noin 0.165 hehtaarin alueen, kun poistettavia kantoja oli 300 hehtaarilla.

Kantoharvesterin aiemmat mallit ovat Hakkilan (1977) mukaan yltäneet lähinnä Etelä-Suomen kivennäismailla 1.5 - 2.0 m^3:n (mänty) ja 1.7 - 3.0 m^3:n (kuusi) käyttötuntituotoksiin. Kannot paloiteltiin kuitenkin pienempiin osiin kuin Kajaani Oy:n menetelmässä. Turvemailla vastaavat käyttötuntituotokset olivat 1.5 - 2.4 m^3 (mänty) ja 1.7 - 3.7 m^3 (kuusi). Pelkän nostotyönvaiheen käyttötuntituotos oli 7.3 - 13.2 m^3 ja paloittelun noin 8.0 m^3.

Ruotsissa kantoharvestereiden käyttötuntituotokset ovat viime vuosina olleet 2.5 - 5.5 m^3 paloiteltaessa juurakko koon mukaan 2 - 5 osaan. Kun palojen määrä juurakkoa kohti nostettiin 8:aan - 12:een, harvesterin tuottavuus pieneni 20 - 25 %.

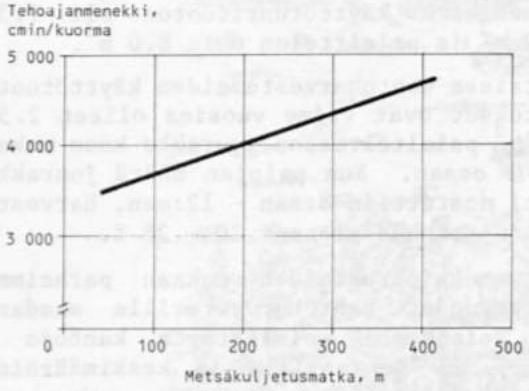
Ajanmenekkiperusteiden mukaan parhaimmat tuottavuudet kantoharvesterille saadaan, jos leimikossa poistettavia kantoja on 250 - 350 hehtaarilla ja keskimääräinen kantoläpimitta kappalemäärän mukaan on 29 - 35 cm. Sopivin leimikko on silloin järeärunkoisen päätehakkuukuusileimikon kannokko ohuehkokuntaisella moreenimaalla.

Metsäkuljetus

Pienet kannot ja pitkät kantopalat kuljetettiin tavallisella pankkovarusteisella metsätraktorilla välivarastoon. Kasat olivat kuljetukselle verraten edullisissa muodostelmissa. Hakkilan kuutiointilukujen mukaan kantokasojen koko oli 0.8 - 1.5 m^3. Kantopuukuorman kehystilavuus oli 1.0 - 1.3-kertainen traktorin kuormatilaan verrattuna. Kun kuormat mitattiin haketuksen yhteydessä, saatiin kuormien kooksi (hakkeena) 4.1 - 4.3 m^3, kun traktorin kuormatilan kehystilavuus oli 26.0 i-m^3, ja 2.6 - 2.7 m^3, kun kehystilavuus oli 16.5 m^3.

Hakkuutähdekouran käyttö vähensi taakkakohtaista ajanmenekkiä kuormauksessa 13 % ja purkamisessa 15 % puutavarakouran käyttöön verrattuna. 300 metrin kuljetusmatkalla suuremman metsätraktorin kokonaisajanmenekistä kului noin 2/3 kantokuorman kuormaamiseen, kuormausajoon ja purkamiseen. Kuormattuna-ajonopeus oli keskimäärin hieman suurempi kuin suuren metsätraktorin kuormattuna-ajonopeus, kun se ajoi havusahatukkia ja pitkää kuitupuuta vastaavassa maastoluokassa. Syinä olivat ehkä "kannoton" maasto ja aiemmat, hyvin tasoittuneet ainespuun ajon ja kannonnoston jälkeiset valmiit ajourat. Kantojen kuljetuksen ajonopeus riippui kuitenkin huomattavasti kuormaanladonnan onnistumisesta, koska maaston huonontuessa ja ajonopeuden kasvaessa kantopaloja putoili kekomaisesta kuormasta.

Metsäkuljetuksen kokonaistehoajan riippuvuus kuljetusmatkasta on esitetty kuvassa 20. Ajanmenekkilukujen mukaan laskettu metsäkuljetuksen tuottavuus oli 5.5 - 7.0 m^3 tehotunnissa, kun kuorman koko oli 4.0 - 4.5 m^3 kantopuuta.



Kuva 20. Kantopuiden metsäkuljetuksen tehoajanmenekki. Suuri metsätraktori, hakkuutähdekoura. Kuorman koko 4.2 m^3. Maastoluokka 2

Kantopalojen haketus ja hakkeen kaukokuljetus

Kantopalat haketettiin välivarastolla suoraan odottavan hakeauton kuormatilaan. Hakkurina käytettiin Kajaani Oy:n aloitteesta ja myötävaikutuksella rakennettua kantohakkuria, jonka ensimmäiset laajamittaiset käyttökokeilut aloitettiin tutkimuksen aikana.

Kantohakkuri oli rakennettu suuren metsätraktorin päälle ja yksikön ulkomitat olivat: pituus 14.0 m, leveys 2.5 m ja korkeus 4.0 m. Yksikön kokonaispaino oli 25 000 kg.

Hakkurin toiminta perustui esileikkurin, puhdistusrummun ja jälkileikkurin (leikkaavat kiekot) toisiinsa jatkuvatoimisesti synkronoituun paloittelu/seulonta-kiertoon. Esileikkuri paloitteli kannot ja kantopalat (suurin läpimitta 2.5 m) sopiviksi kappaleiksi jälkikäsittelyä varten. Puhdistusrummussa karkea kantohake eroteltiin kivistä, maa-aineksesta ja lumesta/jäästä. Hyväksytty jae otettiin kiekkoseulan avulla talteen, ohjattavaksi kuormattavaan autoon. Sitä vastoin ylisuuret kappaleet joutuivat edelleen paloiteltaviksi kiekkoeli jälkileikkuriin, jonka jälkeen valmis kantohake ohjattiin kuormauskuljettimelle ja autoon.

Kantohake oli erittäin karkeaa, mutta suurimmatkin kappaleet olivat palakooltaan alle 150 mm:n (32 - 150 mm:n "hakkeen" osuus oli 88 %). Kantopuun laajemman poltto- ja jalostuskäytön ongelmana olevaa juurakoiden ja kantojen ympärillä ja sisällä kulkeutuvaa kivi- ja maa-aineksen määrää saatiin myös ratkaisevasti vähennettyä. Kajaani Oy:n suorittamat kantohakkeen seulonta- ja kivennäismaa-analyysit osoittivat kivennäismaapitoisuuden jääneen alle 1 %:n. Toisaalta hakkeeseen joutui kantojen mukana eloperäistä kunttaa sekä hakkurin läpipäästämät yli 15 cm:n kivet.

Hakkurin tuotantoajasta yli puolet kului erilaisiin konekeskeytyksiin. Tehoajasta vuorostaan yli 90 % kului haketukseen. Hakkurin tehoajanmenekki työpistesiirtoineen oli kivennäismaakantoja haketettaessa keskimäärin 1 100 cmin/m^3 ja turvemaakantoja haketettaessa 1 200 cmin/m^3.

Koska kantohakkuri oli ensimmäinen laatuaan ja sen käyttökokeilut alkuvaiheessaan, esitetyt tutkimustulokset ovat suuntaa antavia ja tarkoitettu lähinnä kyseisen korjuuketjun ja kaluston kehittelyn perustaksi.

Prototyypiksi hakkuri toimi suhteellisen tyydyttävästi, vaikkakin siitä löytyi runsaasti kehiteltävää haketuksen varmuuden ja tuottavuuden lisäämiseksi. Tuottavuus kivennäismaan kuusikantoja haketettaessa oli 14 - 15 i-m^3 eli 5.0 - 6.0 m^3 tehotunnissa (kiintotilavuus 39 - 40 %). Turvemaan mäntykantoja haketettaessa tuottavuus oli keskimäärin 16 - 17 i-m^3 eli 4.5 - 5.0 m^3 tehotunnissa (0.30 - 0.32). Hakkuriin tehtyjen alustavien muutostöiden jälkeen tehotuntituotos on noussut lähelle 10 m^3:ä.

Kantohakkuri tekee osin jo pelkästään esileikkurin ansiosta kannonnoston kantoharvesterilla entistä taloudellisemmaksi, koska paloittelu jää vähäisemmäksi, sekä ennen kaikkea nostaa autokuljetuksen kuljetustaloudellisuutta huomattavasti verrattuna kokonaisten kantojen tai kantopalojen kuljettamiseen.

Kantohakkeen autokuljetuskalustona voidaan käyttää tavanomaisia, kippaamalla purettavia hakeautoja. Auton kantavuus saattaa rajoittaa kuormatilan hyväksikäyttöä, kun kuljetetaan tuoretta kantohaketta. Tuoreiden kantojen haketus tulee kuitenkin kyseeseen vain poikkeustapauksissa.

Kanto- ja juuripuuhakkeen kosteuden vaikutusta autokuljetusyksikön kuorman massaan on tarkasteltu taulukossa 6. Kosteuden lisäksi laskelmassa on otettu huomioon kantojen varastointi-iän vaikutukset hakkeen palakokoon (kiintotilavuuteen).

TAULUKKO 6 Kuusikantohakkeen kosteuden vaikutus autokuljetuskuorman massaan

Kosteus, %	Kuiva-tuore-tiheys, kg/m^3	Tuore-tiheys, kg/m^3	Tuore-massa, kg/i-m^3	Kuormatilavuus, i-m^3 80	100
				kuorman massa, t	
	varastoitu 2 - 3 vuotta ennen hakettamista				
30	432	617	200	16.0	20.0
	tuoreena haketettu				
40	432	720	252	20.1	25.2
45	432	786	315	25.2	31.5
50	432	864	345	27.6	34.5

Kantohakkeen hankintakustannusten suhteellista jakautumista on tarkasteltu seuraavassa asetelmassa. Koska kantohakkeen kaukokuljetuskustannukset ovat osaltaan suoraan riippuvia kantohakkurin tuottavuudesta ja käyttövarmuudesta, perusteena olevat kustannusluvut pohjautuvat oletukseen, että kuormausaika olisi 2.5 tuntia (kantohakkuria kehittämällä päästäisiin tavoitteena olevaan tuottavuuteen 40 i-m^3/käyttötunti). Eri osakustannukset vaihtelevat kuitenkin huomattavasti hankintaolosuhteiden mukaan.

	%
Kantojen nosto	27 - 29
Metsäkuljetus (alle 300 m)	20 - 23
Haketus	18
Kaukokuljetus (50 km)	23 - 26
Yleiskustannukset	6 - 8
Yhteensä	100

Kantopuun hankintakustannukset olisivat tuottavuuslukujen perusteella 135 - 155 mk/m^3. Silloin on otettava huomioon, että toisaalta kantopuusta ei ole maksettu kantohintaa ja toisaalta kantopuu on jo polttoon soveltuvassa muodossa saapuessaan lämpölaitoksen vastaanottokentälle. Kantohinnan poisjättämistä puoltaa kantojen nostosta metsämaalle aiheutuva positiivinen muokkausvaikutus sekä mm. hyönteisvahinkoja vähentävä vaikutus.

Onnistuessaan välivarastohaketukseen perustuva kantopuun hankintaketju mahdollistaisi kivennäismaiden kantopuun laajahkon massakäsittelyn ja nostaisi hankintaketjun eri osavaiheiden tuottavuutta ja taloudellisuutta.

Koska mm. kantohakkuri on vielä laajan kehittämistyön alaisena, kokonaisuudessaan kanto- ja juuripuun hankinta keskittynee lähivuosina edelleen polttoturvesoiden aumoihin kuljetetun kantopuun hyödyntämiseen.

3 ENERGIAPUUN MITTAUS

3.1 Ongelmat

Puunhankinnan laajentuminen perinteisen ainespuun hankinnasta energiapuun hankintaan on aiheuttanut mittausongelmia.

Ainespuun sisältö on puulajista, rungon koosta tai sijainnista rungossa riippumatta lähes vakio; siinä on puuainetta noin 88 % ja kuorta 12 %. Kokopuun ja metsätähteiden raaka-ainejakauma vaihtelee runsaasti, eniten hakkuutähteen kohdalla.

Eri raaka-aineosien kuiva-tuoretiheydet vaihtelevat uusissa raaka-aineissa runsaasti, jopa saman raaka-aineosan sisällä. Se vaikeuttaa painomittausta ilman useasti toistuvia tiheys- ja kuivamassamäärityksiä.

Ainespuun muoto on niin säännöllinen, että muutaman tunnusluvun mittaamisella on mahdollista määrittää kappaleen tilavuus.

Uusien raaka-aineiden muoto puolestaan on niin epäsäännöllinen, ettei vastaava tilavuusmittaus ole mahdollinen.

Ainespuu saadaan korjattua talteen lähes 100-prosenttisesti. Hakkuutähdettä voidaan enimmillään saada talteen vain 70 - 80 %. Siten potentiaalinen ja talteensaatava määrä on eri asia.

3.2 Mittausmenetelmät

Pieniläpimittaisen *kokopuun* hakkuun, lähikuljetuksen ja joskus myös kantorahan maksuperusteina käytettävä määrätieto saadaan linjoittaisin ympyräkoealamittauksin. Mittauksessa selvitetään puuston pituus- ja rinnankorkeusläpimitta sekä elävän latvuksen osuus puun pituudesta. Palstan runkoluvun määrittää hakkuumies hakkuun yhteydessä. Puulajeittaiset ja läpimittaluokittaiset runkopuumäärät kuutioidaan kannosta latvaan. Näin saatuun runkopuumäärään lisätään puulajeittain latvussuhteen perusteella oksien puumäärät kokopuukertoimien avulla. Kertoimien avulla saadaan kokopuun potentiaalinen määrä eli pystyssä olevien puiden määrä kaikkine viheraineineen, kuorineen ja oksineen. Kuitenkin korjuussa ja kuljetuksessa syntyvä korjuutappio saattaa pienentää huomattavasti talteen saatavaa raaka-ainemäärää potentiaaliseen saantoon verrattuna.

Haketuksen ja kaukokuljetuksen raaka-ainemäärät selvitetään kokopuuna korjuussa yleensä mittaamalla hakkeen kehysmitta kuljetusvälineessä. Kiintomittaan päästään kiintotilavuusprosentin avulla. Kiintotilavuusprosenttina käytetään yleensä useammin 40:tä, joskus myös 45:tä.

Tutkimusten tulokset ovat osoittaneet, että kokopuuhakkeen kiintotilavuusprosentti vaihtelee huomattavasti haketettavan puulajin ja hakkurin mukaan. Mäntykokopuuhakkeen kiintotilavuudeksi on aiemmissa tutkimuksissa saatu kuljetuksen jälkeen 34 - 49 %. Toisiaan vastaavissa olosuhteissa männyn kiintotilavuusprosentiksi on mitattu 42, koivun 39 ja lepän 48. Ennen kaukokuljetusta kiintotilavuudet ovat olleet 1 - 3 prosenttiyksikköä alhaisemmat.

Kokopuuhakkeen kiintotilavuusprosentin vaihtelut ovat niin merkittäviä, että ne tulisi ottaa huomioon hakkeen mittauksessa. Yksi mahdollisuus on määrittää jokaiselle hakkurille ja puulajille oma kiintotilavuusprosenttinsa.

Kolmas kokopuiden mittausmenetelmä pysty- ja hakkeenamittauksen lisäksi on kokopuiden kehysmittaus välivarastokasassa. Menetelmä on kuitenkin tarkkuudeltaan huonompi kuin muut mittaustavat.

Jos kuljetetaan kokonaisia puita tai osapuita käyttöpaikalle, voidaan käyttää seuraavaa mittausmenettelyä: Leimikko mitataan pystyyn ennen korjuuta; puutavaran vastaanoton yhteydessä jokainen kuorma punnitaan ja osasta kuormia määritetään tilavuus upotusmittauksella; punnittujen tuoremassojen ja tilavuusotannan antaman tuoretilavuuspainon avulla saadaan koko leimikon kuutiomäärät; sen ja pystymittauksen antaman ainespuumäärän erotus on latvusten ja oksien määrä.

Osapuunakorjuussa, jossa pienet rungot käsitellään tiettyyn läpimittaan asti kuten kokopuut ja suurista puista otetaan ainespuupölkky tai -pölkkyjä tyvestä ja loppu käsitellään karsimattomana, mitataan leimikko ensin pystyyn. Ainespuun määrät saadaan pystymittauksen perusteella. Kokopuut sekä isojen puiden latvat kuljetetaan joko sellaisinaan käyttöpaikalle, jolloin ne mitataan kuten edellä kerrottiin tai haketetaan. Haketusvaihtoehdossa latvojen ja oksien määrät selvitetään hakemäärien perusteella tai käyttämällä kokopuuprosentteja.

Hakkuutähteen hankinnan eri vaiheissa tarvittava määrätieto perustuu hakkeenamittaukseen. Hake mitataan kaukokuljetuksen jälkeen käyttöpaikalla irtotilavuutena.

Hakkuutähteen hakekuutiometrin raaka-ainemäärä vaihtelee melkoisesti. Hakkeen kiintotilavuus riippuu hakkurista, raaka-ainesisällöstä ja kuormausmenetelmästä. Rumpuhakkureiden kiintotilavuusprosentiksi on saatu tässä ja aiemmissa tutkimuksissa 42 - 52 ja laikkahakkureiden 32 - 43 silloin, kun hakkurit puhaltavat hakkeen kuormatilaan. Murskaavateräisellä hakkurilla tehdyn hakkeen kiintotilavuus on ollut tämän tutkimuksen mukaan 37 - 39 %, kun se on siirretty kuormaan hihnakuljettimella.

Hakkuutähdehakkeen tiiviys vaihtelee niin paljon, ettei mittauksen lopputuloksena tulisi käyttää hakekuutiometriä eikä mahdollisessa kiintotilavuudeksi muuntamisessa vakioprosenttia. Koska hakkuutähdekuormat punnitaan ja hakkeesta otetaan jo tätä nykyä sen polttoonkäytön vuoksi useasti kosteusnäytteet, voitaisiin hakkeen kuivamassan avulla määrittää työmaittaiset kiintotilavuusprosentit edellyttäen, että hakkeen lähtöraaka-aineen laatu

tunnetaan. Kehysmitan ja kiintotilavuusprosentin avulla päästäisiin hakkeen todelliseen kiintotilavuuteen.

Kanto- ja juuripuun korjuun nosto- ja esipaloitteluvaiheessa tarvittava määrätieto saadaan laskemalla kantojen hehtaarikohtainen luku sekä määrittämällä kantoläpimittajakauma otannalla. Pystyyn mitatuista leimikoista vastaavat tiedot saadaan muuntamalla rinnankorkeusläpimitat kantoläpimitoiksi kertoimella 1.33. Hehtaarikohtainen kantopuumäärä saadaan kantojen läpimittaluokittaisten kuutiomäärien avulla.

Kantojen tai kantopalojen lähikuljetus ja haketus tai murskaus perustuvat kantohakkeen mittauksessa saatavaan määrätietoon. Hakkeen kehysmitta muutetaan kiintotilavuudeksi yleensä myös prosenttikertoimella 40.

Kantohakkeen kiintotilavuusprosentti on vaihdellut tässä ja aiemmissa tutkimuksissa 33:sta 41:een. Kantopalojen kuljetuksessa kiintotilavuusprosentti vaihteli 28:sta 41:een paloittelutavan mukaan.

Kanto- ja juuripuun määrätietojen tulisi kaikissa korjuun osavaiheissa perustua kantohakkeena mittaukseen (kehys- ja/tai painomittaus). Kehysmitta tulisi muuntaa kiintotilavuudeksi erilaisista kantoraakaaineista (mänty-, kuusi-, kivennäismaa-, suokannot) määritettyjen kiintotilavuusprosenttien avulla.

4 ENERGIAPUUN HANKINNAN JA JAKELUN ORGANISOINTI

Energiapuun hankinnan ja jakelun organisointia selvitettiin Metsätehon jäsenyrityksiin kohdistunein tiedusteluin ja haastatteluin.

4.1 Energiapuun hankintaorganisaatiolle asetettavat vaatimukset

1. Toimitusvarmuus ja jatkuvuus

Energiankäyttäjän kannalta olennaisimpia hankintaorganisaatioon kohdistuvia vaatimuksia on ehdoton varmuus toimitussopimusten mukaisista polttoraaka-ainemääristä ja hankinnan ajallisesta ja määrällisestä jatkuvuudesta pitkällä aikavälillä.

2. Energiapuun kilpailukyky käyttöpaikalla

Energiapuun tulisi olla käyttöpaikalle hankittuna yhtä edullista tai mieluummin edullisempaa kuin vaihtoehtoinen polttoaine. Hankintaorganisaatiolla tulee olla energiapuun hankinnan taitotieto ja sen pitää hallita kustannusten muodostumiset kaikissa hankinnan eri vaiheissa ja nähdä eri muutosten vaikutukset. Energiapuun hankinnassa tämä korostuu, koska hakkeen käyttöpaikkahinnasta yli 80 % on korjuusta ja kuljetuksista johtuvia kustannuksia. Energiapuun hankinnan yhdistämisellä ainespuun hankintaan mahdollistetaan valtaosin energiapuun potentiaalinen kilpailukyky käyttöpaikalla. Kokonaisvaltainen korjuu alentaa toisaalta energiapuun yksikkökustannuksia käyttöpaikalla ja toisaalta vaikuttaa myönteisesti polttoon ohjattavan puun energiakäyttöön sekä ainespuun hakkuumahdollisuuksien ja niiden rakenteen kehittymiseen.

3. Joustavuus kysynnän kausivaihteluihin

Eri lämpölaitosten hakkeenkäytön ajalliset vaihtelut poikkeavat vuosittain huomattavastikin. Aluelämpölaitokset ovat tyypillisiä talvikäyttäjiä huipun ollessa pakkasten aikana. Organisoinnin kannalta tavoitteena on sellainen laitos, jolla on tasainen ympärivuotinen käyttö. Optimikäyttäjiä ovat teollisuuden energiavoimalat sekä pienkäyttäjistä meijerit, joiden energiankäyttö on kesäkautena jopa talvikäyttöä suurempi.

4. Kehittyvän hankintatekniikan hallinta

Kustannusherkän energiapuun hankinnan organisoimiseksi on hankintaorganisaation hallittava energiapuun korjuuseen soveltuvat uudet, vähän ihmistyötä vaativat ja joukkokäsittelyyn perustuvat menetelmät ja hankintatekniikka. Ainespuun ja energiapuun hankintaketjujen yhdistämisellä on saatavissa kustannussäästöjä ja sillä turvataan henkilöstön ja kaluston tehokas työllistäminen ympäri vuoden.

5. Laadun valvonta

Kun hankinnan organisoijan pitäisi lähteä teknis-taloudellisesti tehokkaimmasta korjuu- ja kuljetusketjuvaihtoehdosta, ei siihen ole mahdollisuuksia toimittaessa erikseen pienten, hajallaan olevien energialaitosten kanssa. Vaihtoehdoksi jäävät silloin yhteistyömahdollisuuksien selvittely ja mahdollisten lisäkäyttäjien etsintä. Kun lisäksi energialaitosten vastaanotto-, kuljetin- ja polttolaitteistot poikkeavat huomattavastikin toisistaan, eri toimituspisteisiin ohjattavat polttohakemäärät on lajiteltava paitsi määrän myös annettujen palakoko- ja kosteusvaatimusten mukaan.

Laadun valvonnassa on edelleen otettava huomioon energialaitosten toisistaan poikkeavat polttoaineiden tekniset polttomahdollisuudet (rankahake, kokopuuhake, hakkuutähdehake, kantopala ja -hake sekä neulas- ja kuoriseulontajäte).

6. Työ- ja luovutusmittaus

Mittaukset ovat välttämättömiä hankinnan eri vaiheissa. Energiapuun työ- ja luovutusmittauksen organisoinnin tavoitteena pitäisi olla, että yhdellä mittauksella pystytään luotettavasti täyttämään kaikki mittaustarpeet eri osapuolia tyydyttävällä tavalla.

7. Varastoimisongelmien ratkaisu

Hankinnan kustannuksia suurentavana on otettava huomioon varastoinnista johtuvat korkokustannukset. Energiapuun hankkijan ja käyttäjän kannalta varastointiin liittyviä ongelmia ovat yleensä myös määrä- ja laatutappiot. Esimerkiksi jo muutaman kuukauden varastointiaika energialaitosten vastaanottokentillä aiheuttaa polttohakkeeseen biologisen eliötoiminnan seurauksina 5 - 10 %:n kuiva-ainehäviöt.

4.2 Metsäteollisuuden osuus energiapuun hankinnassa

Metsähaketta teollisuuden käyttöön hankkivilla yrityksillä on jo nyt organisatoriset ja tekniset valmiudet energiapuun hankinnan kokonaisvaltaiseen hoitamiseen.

Teollisuus on lisännyt energiapuun käyttöä omassa energiahuollossaan hankkimalla ainespuun korjuuseen kytkeytyen metsähaketta, hakkuutähdehaketta, kanto- ja juuripuuhaketta sekä viime aikoina osapuumenetelmien ja muiden kehittyneiden hankintamenetelmien avulla jalostukseen kelpaavaa lisäraaka-ainetta ja merkittävästi uutta polttoraaka-ainetta. Samalla kyseiset menetelmät ovat tuoneet ja tuovat lisävalmiuksia polttohakkeen jakeluun teollisuuden omille ja ulkopuolisille käyttäjille.

Käyttöpaikalla metsähake seulotaan, jolloin kuorta, oksakappaleita ja neulasia sisältävä seulontajäte poltetaan ja seulottu hake käytetään teollisuuden raaka-aineeksi. Metsähakkeen hankinnan yhteydessä tulee myös hake-eriä, jotka sopivat vain polttokäyttöön.

Energiapuun toimittaminen teollisuuden ulkopuolisille käyttäjille edellyttää kuitenkin paikallista yhteistyötä ja toimitussopimuksia polttohakkeen käyttäjien ja hankintaorganisaatioiden kesken. Tehokkaalla organisaatiolla, jolla on sekä ainespuun että energiapuun hankinnan taitotieto hallussaan, varmistetaan polttoraaka-aineen saanti käyttäjille kaikissa olosuhteissa. Tämä on erityisen tärkeää toimitettaessa polttoraaka-ainetta teollisuuden energiavoimaloille sekä kunnallisille aluelämpökeskuksille, meijereille ja muille vastaavankokoisille laitoksille, joissa tarvittavat polttoainevirrat ovat huomattavia.

Aluelämpölaitokset ovat yleensä teholtaan 3 - 5 MW ja niissä polttohakkeen vuosikäyttö on 10 000 - 20 000 i-m^3. Samantehoinen, koko vuoden energiaa käyttävä meijeri tarvitsee vuodessa kaksinkertaisen hakemäärän. Vastaavasti esimerkiksi teollisuuden energiavoimaloissa 50 MW:n tehon kehittäminen vaatii noin 1 800 i-m^3 haketta vuorokaudessa.

Metsänhoitotöiden yhteydessä saatava energiapuu soveltuu puolestaan hyvin maatilojen itse korjattavaksi puuenergian saamiseksi osin tilojen omaan käyttöön sekä ylijäävän osan toimittamiseksi esimerkiksi hankintakauppana metsäteollisuudelle tai muille käyttäjille.

Tällöin metsänhoitoyhdistysten tietämys paikallisista hankintakohteista ja yhteistyö metsänomistajiin ja teollisuuden hankintaorganisaatioihin on erittäin tärkeää käyttökelpoisen energiapuun saamiseksi markkinoille.

Vuonna 1982 Suomen Metsäteollisuuden Keskusliitto ry:n jäsenyrityksiin kohdistetun kyselytutkimuksen mukaan ainespuun laatuvaatimukset täyttämätöntä pienpuuta, oksia ja latvuksia sekä kanto- ja juuripuuta käytettiin vuonna 1981 12 yrityksessä kaikkiaan 154 700 m^3. Energiapuun käyttömääräksi vuonna 1982 arvioitiin 14 yrityksessä kaikkiaan 274 000 m^3. Yritykset toimittivat lisäksi ulkopuolisille käyttäjille energiapuuta samana vuonna kaikkiaan 162 400 m^3. Suurimmat toimittajat olivat Vapo Oy ja Osuuskunta Metsäliitto.

Tiivistäen voidaan todeta, että energiapuu on yleensä taloudellisinta hankkia ainespuun hankinnan yhteydessä samaa hankintaorganisaatiota ja korjuukalustoa käyttäen sekä erikseen hankittuna metsänhoitotöiden yhteydessä.

Koska energiapuun hankinta ja kokonaisuudessaan puuenergian kilpailukyky on erittäin kustannusherkkää, erillisten, pelkästään energiapuuta hankkivien organisaatioiden muodostaminen nostaisi hankinta-

kustannuksia ja siten energiapuun hintaa käyttöpaikalla ja vähentäisi ehkä ratkaisevasti energiapuun kilpailukykyä muihin energiavaihtoehtoihin verrattuna.

5 PÄÄTELMÄT JA TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN

Projektiin liittyvät tutkimukset ja selvitykset ovat osoittaneet, että energiapuun hankinta (korjuu ja kuljetus) on sekä teknisesti mahdollista että taloudellisesti perusteltua kytkeä metsäteollisuuden ainespuuraaka-aineen hankintaan. Tätä puoltavat seuraavat seikat.

1. Kaikesta kotimaisesta raakapuusta metsäteollisuus hankkii noin 70 %.

2. Energiapuu kertyy pääosin ainesraakapuun hankinnan sivutuotteena samoista leimikoista.

3. Metsäteollisuuden puunhankintaorganisaatioilla on sekä ammatilliset että tekniset valmiudet energiapuun hankintaan.

4. Energiapuu voidaan korjata ja kuljettaa pääosin olemassa olevalla korjuu- ja kuljetuskalustolla.

5. Energiapuun hankinnan liittäminen ainesraakapuun hankintaan parantaa molempien raaka-ainelajien taloudellisia talteenotto- ja käyttöedellytyksiä.

6. Metsäteollisuus tarvitsee paljon energiaa ja voi hyödyntää energiaraaka-aineen omissa laitoksissaan ja/tai toimittaa sitä muille käyttäjille.

7. Jalostus- ja energiakäytön suhdetta säätelemällä voidaan vaikuttaa puunhankinnan tasaisuuteen, mikä puolestaan mahdollistaa mm. tasaisen työllisyyden ylläpitämisen.

Tähän projektiin liittyvät tutkimukset ovat merkittävästi vaikuttaneet koko- ja osapuiden sekä metsätähteen korjuu- ja kuljetustekniikan kehittymiseen. Edellytyksenä tämän tekniikan taloudellisuudelle on mahdollisuus saada katetta prosessiin kelpaamattomalle osalle energian tuottamisessa. Jos tätä mahdollisuutta ei ole tai energiapuun hankinta irrotetaan muusta puunhankinnasta erilliseksi operaatioksi ja se ohjataan käytettäväksi ainoastaan erillisissä laitoksissa, huononevat metsätähteen taloudelliset talteenotto- ja käyttömahdollisuudet olennaisesti.

Tutkimukset ovat myös osoittaneet, että energiapuun hankinnan ketjussa on vielä sellaisia kohtia, jotka kaipaavat kehittämistä ja osittain myös jatkotutkimuksia. Sellaisia kohtia muun muassa ovat:

- Metsä- ja autokuljetuksessa kuormaus olisi saatava nopeammaksi ja kuorma suuremmaksi erityisesti osa- ja kokopuuta kuljetettaessa.

- Rautatie- ja vesitiekuljetusmahdollisuuksien arviointi kaipaa lisäselvityksiä.

- Metsätähdepuun mittaus on sekä kauppahinnan että työpalkan määrittämistä varten vielä ratkaisematta. Ongelma koskee sekä määrän että laadun mittausta. Asia vaatii sekä tutkimista että laitteiden kehittelyä.

- Energiapuun ja teollisuuspuun yhteishankinta ja jakelu keskitetyn terminaalin kautta on yleisen mielenkiinnon kohteena, mutta tietoa vaihtoehdon todellisen kannattavuuden laskemiseksi ja toiminnan organisoimiseksi ei vielä ole riittävästi.

Tällä tutkimusprojektilla on hankittu runsaasti sellaista perustietoa, jota voidaan hyödyntää energiapuun hankinnan suunnittelussa ja toteuttamisessa. Erillisenä osana julkaistavan suunnittelumallin avulla ja kerätyn numeerisen tiedon pohjalta on mahdollista tehdä taloudellisia vaihtoehtovertailuja ja -laskelmia erilaisille hankinta- ja käyttöympäristöille energiapuun hankinnan käytännön järjestämisessä.

Tulosten perusteella näyttää joka tapauksessa siltä, että metsätähteen korjuun ja kuljetuksen perusteknologia on ratkaistu. Koneiden ja laitteiden sekä niihin liittyvien menetelmien edelleen kehittelyä tarvitaan, mutta pääosa tästä työstä voidaan toteuttaa käytännön toiminnan osana. Metsätähteen taloudelliset käyttömahdollisuudet energian tuottamiseen ja/tai jalostamiseen ovat luonnollisesti kiinni vaihtoehtoisten raaka-aineiden saannista ja hinnoista. Tätä nykyä näyttää hakkuutähteiden käyttö energian tuottamiseen olevan ainakin edullisissa tapauksissa taloudellisesti kannattavaa. Karsimattoman koko- ja osapuun yhdistetty energia- ja jalostuskäyttö näyttää myös lupaavalta, mutta kanto- ja juuripuun taloudellinen käyttö edellyttäisi nykytilanteessa selvästi halvempaa korjuu- ja kuljetustekniikkaa. Taloudellisten arvojen lisäksi joudutaan vastaisuudessa kiinnittämään huomiota myös metsätähteiden korjuun ekologisiin vaikutuksiin.

KIRJALLISUUTTA
REFERENCES

Projektista julkaistu kirjallisuus
Project References

Metsätehon tiedotukset
Metsäteho Reports

HÄGGBLOM, R. 1983. Monitoimikoneiden käyttömahdollisuudet hankittaessa havupuuvaltaista kokopuuta tavaralajikorjuun yhteydessä. Summary: The Possibilities of Using Multipurpose Logging Machines for Whole-Tree Harvesting in Connection with Shortwood. Metsätehon tiedotus - Metsäteho Report 379. Helsinki

HÄGGBLOM, R. & PENNANEN, O. 1983. Osapuun korjuu ja autokuljetus tukkipuuvaltaisesta leimikosta. Summary: Harvesting and Truck Transport of Part-Trees from a Clear-Cutting Stand. Metsätehon tiedotus - Metsäteho Report 380. Helsinki

KAHALA, M. 1982. Osapuumenetelmä miestyönä tehtävässä havupuuvaltaisen puuston korjuussa. Summary: The Part-Tree Method in Manual Harvesting of Softwood-Dominated Growing Stock. Metsätehon tiedotus - Metsäteho Report 374. Helsinki

KUITTO, P.-J. 1984. Kantopuun korjuu kivennäismailla. Summary: Harvesting of Stump and Root Wood in Mineral Soil. Metsätehon tiedotus - Metsäteho Report 385. Helsinki

PENNANEN, O. 1983. Osapuun autokuljetus. Summary: Truck Transport of Part-Trees. Metsätehon tiedotus - Metsäteho Report 382. Helsinki

Metsätehon katsaukset
Metsäteho Reviews

KAHALA, M. 1982. Tutkimuksia pieniläpimittaisen kokopuun korjuusta Pohjois-Suomessa. Summary: Studies on the Harvesting of Small-Diameter Whole Trees in North Finland. Metsätehon katsaus - Metsäteho Review 18/1982. Helsinki

KUITTO, P.-J. & NISSI, I. 1984. Hakkuutähdehakkurit ja -murskaimet: Algol HEM 300-1000 WEA, Lokomo MS 9, TT 910 R, Morgårdshammar SK 2800 (Algol HEM 300-1000 WEA, Lokomo MS 9, TT 910 R and Morgårdshammar SK 2800 Logging Waste Chippers and Crushers). Metsätehon katsaus - Metsäteho Review 8/1984. Helsinki

NISSI, I. & SALMINEN, J. 1983. Moottoriproomujen käyttömahdollisuudet kokopuuhakkeen kuljetuksessa. Summary: Utilisation of Motor Barges for Transport of Full-Tree Chips. Metsätehon katsaus - Metsäteho Review 11/1983. Helsinki

RUMPUNEN, H. 1982. Korjuumenetelmäkokeita Makeri-monitoimikoneilla männikön ensiharvennuksessa. Metsätehon katsaus 4/1982. Helsinki
Harvesting Method Experiments with Makeri Multipurpose Logging Machines in the First Thinning of a Pine Stand. Metsäteho Review 4 A/1982. Helsinki

-"- 1982. Osapuukorjuuseen perustuva puunhankinta. Summary: Wood Procurement Based on Part-Tree Harvesting. Metsätehon katsaus - Metsäteho Review 10/1982. Helsinki

Metsätehon monisteet
Preliminary Reports

KUITTO, P.-J. 1982. Kanto- ja juuripuun metsäkuljetus. Väliraportti. Tutkimusseloste 8.1.1982. Helsinki

-"- 1982. Hakkuutähteiden korjuun tuottavuus pohjoissuomalaisissa korjuuolosuhteissa. Metsätehon moniste 26.3.1982. Helsinki

-"- 1982. Hakkuutähteiden metsäkuljetus Pika 75 -monitoimikonehakkuun jälkeen. Metsätehon moniste 6.5. 1982. Helsinki

-"- 1983. Hakkuutähteiden korjuu monitoimikonehakkuun jälkeen. Metsätehon moniste 25.1.1983. Helsinki

KUITTO, P.-J. 1983. Algol HEM 300-1000 WEA -välivarastohakkuri. Metsätehon moniste 25.7.1983. Helsinki

-"- 1983. Algol-hakkurin tekninen tuotostaso. Tutkimusseloste 19.10.1983. Helsinki

-"- 1984. Hakkuutähteiden välivarastointi. Metsätehon moniste 21.5. 1984. Helsinki

KUITTO, P.-J. & VASKO, P. 1984. Hakkuutähdehakkeen autoonkuormauksen vaihtoehdot. Käsikirjoitus. Helsinki

MÄKELÄ, M. 1983. Metsätähteen mittausmenetelmät. Metsätehon moniste 30.9.1983. Helsinki

NISSI, I. 1984. Lokomo MS 9 -energiapuumurskaimen seurantatuloksia. Raportti valmistajille ja käyttäjille 15.2.1984. Helsinki

-"- 1984. Algol HEM 300-1000 WEA -välivarastohakkurin seurantatuloksia. Raportti valmistajille ja käyttäjille 20.2.1984. Helsinki

NISSI, I. & SALMINEN, J. 1983. Pienistä kokopuista valmistetun hakkeen laatu. Metsätehon moniste 18.4.1983. Helsinki

RAJALA, P.S. & RUMPUNEN, H. 1982. Karsimattomien osapuiden autokuljetuksesta sekakuormina tukkien kanssa. Osaraportti tutkimuksesta: Energiakäyttöön soveltuvan lisäraaka-aineen korjuu ja autokuljetus lastulevyteollisuuden puunhankinnan yhteydessä. Metsätehon moniste 16.3. 1982. Helsinki

Muu kirjallisuus
Other References

HAKKILA, P. 1977. Kantopuu metsäteollisuuden raaka-aineena. Summary: Stumpwood as Industrial Raw Material. Metsäntutkimuslaitos - Institutum Forestale Fenniae, Folia Forestalia 292. Helsinki

JÄMSÉN, T. 1981. Kantojen hyödyntäminen polttoaineeksi. Tutkimusraportti. Kajaani Oy. Kajaani

KAHALA, M. 1981. Pieniläpimittaisen lehtikokopuun metsäkuljetus. Summary: Forest Haulage of Small-Diameter Hardwood Whole-Trees. Metsätehon katsaus - Metsäteho Review 6/1981. Helsinki

KUITTO, P.-J. 1983. Lokomo MS 9 -energiapuumurskain. Tutkimusseloste 24.8. 1983. Helsinki

KUITTO, P.-J. & RAJALA, P.S. 1982. Kokopuiden välivarastohaketus ja metsähakkeen autokuljetus. Summary: Landing Chipping of Whole Trees and Truck Transport of Chips. Metsätehon tiedotus - Metsäteho Report 372. Helsinki

KYTTÄLÄ. T. & LARSSON, M. 1981. Sönderdelning av trädrester med Morgårdshammars skivkross SK 2800. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten - Logging Research Foundation, Teknik Nr - Report No. 6. Stockholm

MÄKELÄ, M. 1977. Leimikoittainen metsätähdemäärä. Summary: The Amounts of Logging Residues and Stump and Root Wood at Certain Work Sites. Metsäntutkimuslaitos - Institutum Forestale Fenniae, Folia Forestalia 316. Helsinki

RUMPUNEN, H. 1980. Hakkeenakorjuu tavaralajikorjuun yhteydessä. Summary: Harvesting as Chips in Connection with Shortwood Harvesting. Metsätehon tiedotus - Metsäteho Report 365. Helsinki

-"- 1982. Metsätehon järjestämä opintomatka Ruotsiin 25. - 28.5.1982. Teema: Osapuun korjuu, kuljetus, vastaanotto ja tehdaskäsittely. Metsätehon moniste 16.9.1982. Helsinki

Suomen Metsäteollisuuden Keskusliitto ry. 1983. Energiapuun hankinta ja käyttö. Tavoiteohjelma. Helsinki

HARVESTING OF ENERGY WOOD IN CONNECTION WITH THE HARVESTING OF INDUSTRIAL ROUNDWOOD

S u m m a r y

It would be possible to obtain approximately 3 million solid cubic meters of energy wood per year while harvesting industrial roundwood. Of that amount, about 0.5 million m^3 (s) would come as a result of first thinning, another 0.5 million m^3 (s) from logging waste after multipurpose logging machines, and 2 million m^3 (s) from stumps after final cuttings. Approximately 1.3 million solid m^3 of energy raw material would be available from branches and tops if 20 % of other cuttings for industrial wood were done by the part tree method. — According to research results, harvesting trees as un-delimbed in first thinning increases the yield in the form of branches, tops, and unmerchantable wood by about one-third. Harvesting as part trees (as partly delimbed or un-delimbed logs) in other cuttings increases the yield by about one-fourth. Logging waste after multipurpose logging machines amounts to about 20 % of the industrial roundwood total in final cutting spruce stands, and the amount as stumps to about 15 % of the total in final cutting sawtimber stands.

A change from the shortwood method to the whole tree method in first thinning decreases the cutting time expenditure to about one-half, and a change-over to the part tree method in other thinnings and in pulpwood-dominated final cuttings to about two-thirds for the same amount of stem wood. The time expenditure for forest haulage, however, increases in whole and part tree haulage compared with pulpwood haulage by about 25 - 45 % depending on factors affecting the haulage time. If the whole or part trees are bucked to transport lengths by using a grapple saw attached to the loader of a forest tractor, the time expenditure increases by about 80 %. The effective time expenditure in chipping of whole or part trees at intermediate landing is 70 - 85 cmin/loose m^3 of chips. The tree species and the storage time as well as the type of the chipping unit have the greatest effect on the time expenditure. Procurement as whole or part trees seems to be a sensible as well as economically feasible alternative if the additional raw material can be used economically.

When a forest tractor equipped with a logging waste grapple and heightened stakes is used, the time expenditure in the forest haulage of logging waste loaded from bunches left by multipurpose logging machines is 35 - 40 % greater than that in the forest haulage of 3-m pulpwood. — The time expenditure of chipping logging waste at intermediate landing varies from 80 to 150 cmin/loose m^3 of chips. The time expenditure per solid cubic meter is 1.3 - 2.0 times that of chipping whole or part trees. The loose density of the logging waste chips is 0.35 - 0.40 solid m^3/loose m^3 of chips, and that of the whole tree chips 0.40 - 0.44 solid m^3/loose m^3 of chips. The type of chipping machine or wood crusher, the tree species, the storage time of the material to be chipped as well as storage arrangements have the greatest effect on chipping time expenditure.

When using a stump harvester, studies have proven that the effective time expenditure of stump extracting and simultaneous cutting into pieces is an average of 10 - 13 minutes per stump cubic meter (solid m^3) in a sawtimber dominated spruce stump area in mineral soil. The size of the stumps and their number per hectare have the greatest effect on time expenditure. — The load size of stump pieces in forest haulage when using average haulage equipment is slightly more than 4 m^3 (s), and the effective time expenditure thus on a 300 meter distance is somewhat over 10 min/m^3 (s).

Long distance transport of energy wood consists mainly of truck transport of whole or part trees, of chips, or crushed wood, or stump pieces. The size of a whole or part tree load in a truck equipped with side boards was 55 - 75 % of a 5-m pulpwood load (tops and branches included). However, the differences in the times per turn on a 50 km distance were slight. The truck transport costs for part trees were 1.5 - 2.0 times those of delimbed timber. — The productivity of long distance transport of chips is significantly affected by the loading method and the quality of the raw material. When loading by blowing straight from the chipper, the truck transport of whole and

part tree chips for distances between 50 and 100 km is 1.5 - 1.3 times as expensive as transport of long pulpwood, and truck transport of logging waste chips 1.6 - 1.4 times as expensive. The truck transport costs of crushed stumps (rough chips) were even higher. If loading is done from ready made chip piles, there are no significant differences in the transport costs of the various chip types.

The measurement problem for energy wood has not yet been solved satisfactorily. The basic problem in measuring small-sized whole trees in the cutting phase is the high cost of standing tree (sample) measurement, and in forest haulage the inexactitude of the present volume figures which are based on tree length and "branch-percentage". The amounts of part trees, logging waste, and stumps must at present be calculated on the basis of the loose density of the chips or crushed wood. The basic problem in weight measurement is the great variation in the amounts and moisture contents of the various raw material components (tree species; mix of wood, bark and needles). The Finnish Forest Research Institute is currently planning a research project concerned with the amounts of branches and needles for the various tree species, so that it will be possible to draw up country-wide tables or functions for calculating the amount of branch and top wood material for instance in conjunction with the measurement system of standing trees.

The researches and results of the energy wood harvesting project have proven that it is both technically and economically feasible to link the procurement (harvesting and transport) of energy wood to industrial wood procurement. The following arguments support these conclusions.

1. Approximately 70 % of all domestic roundwood is procured by the forest industry.

2. Energy wood is mainly a by-product of industrial roundwood from the same tree stands (work sites).

3. The wood procurement organisations of the forest industry have both the skills and technical knowhow for procurement of energy wood.

4. To a great extent, energy wood can be harvested and transported with existing harvesting and transportation equipment.

5. The linking of energy wood procurement to industrial roundwood procurement improves the possibilities for economical harvesting and utilisation of both types of raw material.

6. The forest industry needs a great deal of energy and can utilise the energy raw material either in their own mills and factories and/or deliver it to other users.

7. By regulating the ratio between the processing and the energy uses, the wood procurement fluctuations can be reduced, thus making, e.g., more even employment possible.

ISBN 951-673-091-4
ISSN 0356-7257