METSÄTEHON
TIEDOTUS
METSÄTEHO REPORT

341

Kokopuuna korjuun taloudellisuus

ECONOMICALNESS OF HARVESTING OF WHOLE TREES

AIRI ESKELINEN
MARKKU MELKKO
HEIKKI VESIKALLIO

HELSINKI 1976

Metsätehon tiedotus — *Metsäteho Report* 341

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

KOKOPUUNA KORJUUN TALOUDELLISUUS

Economicalness of Harvesting of Whole Trees

Airi Eskelinen
Markku Melkko
Heikki Vesikallio

METSÄTEHO, Opastinsilta 8 B, 00520 HELSINKI 52

Oy Kirjapaino F.G. Lönnberg, Helsinki 1976 ISBN 951-673-031-0

ALKUSANAT

Seuraavat ulkopuoliset henkilöt ovat merkittävällä tavalla avustaneet tutkimuksen perustietojen keruuta: metsänhoit. Matti Ahonen, dipl.ins. Aaro Alestalo, metsänhoit. Seppo Jukkola, dipl.ins. Kimmo Karimo, metsänhoitajat Ilkka Lappalainen, Esko Leinonen ja Martin Lillandt, metsätekn. Juho Nykänen, fil.maist. Ilpo Palenius ja metsänhoit. Esa Rouhiainen. Metsätehossa Aarne Elovainio on toiminut asiantuntijana kokopuunkorjuun tuotos- ja kustannusperusteita koskevissa kysymyksissä. Lausumme heille sekä kaikille tutkimusta auttaneille parhaat kiitokset.

Airi Eskelinen on vastannut tutkimuksen laskentasysteemin atk-sovellutuksen laadinnasta ja Markku Melkko kokopuunkorjuun tuotosperusteiden kokoamisesta. Tutkimuksen toteutuksen on suunnitellut ja käsikirjoituksen laatinut Heikki Vesikallio.

METSÄTEHO

SISÄLLYS
Contents

	Sivu *Page*
TIIVISTELMÄ	6
1 JOHDANTO	7
1.1 Tutkimuksen tausta	7
1.2 Tutkimustehtävä	7
1.3 Tutkimuksen suoritus	8
1.4 Keskeiset käsitteet	8
2 KORJUUOLOSUHTEET, TUOTOS- JA KUSTANNUSPERUSTEET SEKÄ LASKENTAMENETELMÄ	9
2.1 Korjuuolosuhteet	9
2.1.1 Leimikkotyyppien määrittely	9
2.1.2 Leimikkoaineisto	9
2.1.3 Ainespuu-, runkopuu- ja oksamäärien laskenta	9
2.2 Puunkorjuun tuotos- ja kustannusperusteet	9
2.2.1 Korjuuketjuvaihtoehdot	9
2.2.2 Ihmis- ja konetyön kustannukset	10
2.2.3 Ihmis- ja konetyön tuotokset	11
2.2.4 Talteen saadut raaka-ainemäärät	11
2.2.5 Korjuuketjujen erilliskustannukset	13
2.3 Kaukokuljetuksen kustannusperusteet	14
2.4 Tehdashinnan ja puuraaka-ainekustannusten laskentaperusteet	14
2.5 Laskentamenetelmä	18
3 PIENPUURAAKA-AINEEN KORJUUKUSTANNUKSET	18
3.1 Vajaatuottoiset lehtipuumetsät	18
3.1.1 Avohakkuu	18
3.1.2 Harvennushakkuu	22
3.2 Ensiharvennusmetsät	22
3.2.1 Mänty- ja lehtipuuvaltainen leimikko	22
3.2.2 Kuusivaltainen leimikko	24
3.3 Kustannuslaskelmien epävarmuustekijät	26
4 PIENPUURAAKA-AINEEN TEHDASHINTA	26
4.1 Vajaatuottoiset lehtipuumetsät	26
4.1.1 Avohakkuu	26
4.1.2 Harvennushakkuu	27
4.2 Ensiharvennusmetsät	28
4.2.1 Mänty- ja lehtipuuvaltainen leimikko	28
4.2.2 Kuusivaltainen leimikko	31
5 PIENPUUN PUURAAKA-AINEKUSTANNUKSET	31
5.1 Vajaatuottoiset lehtipuumetsät	31
5.1.1 Avohakkuu	31
5.1.2 Harvennushakkuu	31
5.2 Ensiharvennusmetsät	33
5.2.1 Mänty- ja lehtipuuvaltainen leimikko	33
5.2.2 Kuusivaltainen leimikko	33
6 PÄÄTELMÄT	34
KIRJALLISUUTTA — *References*	36
Summary in English	38

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tehtävänä on kokopuuna korjuun taloudellisuuden selvittäminen. Laskelmat koskevat vajaatuottoisista lehtipuumetsistä ja ensiharvennusmetsistä korjattavissa olevaa pienpuuraaka-ainetta. Vajaatuottoisten lehtipuumetsien potentiaaliseksi kokonaisraaka-ainemääräksi on arvioitu noin 72 milj. kuorellista runkopuu-m^3. Ensiharvennusmetsien nykyinen korjuumäärä on noin 1.3 milj. kuorellista runkopuu-m^3 vuodessa. Ensiharvennusmetsien korjuumäärän on arvioitu kohoavan vuoteen 1985 mennessä noin 2.0 milj. kuorelliseen runkopuu-m^3:iin vuodessa ja vuoteen 2000 mennessä noin 5.0 milj. kuorelliseen runkopuu-m^3:iin vuodessa.

Vajaatuottoisten lehtipuumetsien keskeisiä metsikköryhmiä ovat harmaalepikot ja soitten hieskoivikot. Hakkuutavan perusteella vajaatuottoisissa lehtipuumetsissä on erotettu kaksi leimikkotyyppiä – avohakkuu- ja harvennushakkuuleimikko. Kokopuuna korjuu on katsottu taloudelliseksi, jos kokopuun puuraaka-ainekustannukset jäävät vaihtoehtoisten puuraaka-ainelajien vastaavia kustannuksia alhaisemmiksi.

Ensiharvennusmetsien leimikkotyyppeinä on laskelmissa erotettu mänty- ja lehtipuuvaltainen sekä kuusivaltainen leimikko. Ensiharvennusten suorittaminen on katsottu välttämättömäksi jo metsänhoidollisista syistä. Ensiharvennusmetsien leimikoissa kokopuuna korjuuta on verrattu perinteelliseen leimikon ainespuuosan talteenottoon perustuvaan korjuutapaan. Samoin kuin vajaatuottoisten lehtipuumetsien kohdalla korjuutapojen edullisuuskriteerinä on käytetty kokopuun ja ainespuun puuraaka-ainekustannuksia. Näitä laskettaessa on otettu huomioon raaka-aineen tehdashinta, jalostusprosessin edellyttämän esikäsittelyn kustannukset sekä raaka-aineen käyttöarvo esikäsittelyn jälkeen.

Kaikki tutkimuksessa esitetyt laskelmat on tehty välittömien puunhankinnasta aiheutuvien yritystaloudellisten kustannusten perusteella. Laskenta-ajankohtana on käytetty vuoden 1976 alkupuoliskolla vallinnutta kustannusten ja tekniikan tasoa.

Tutkimustulosten mukaan vajaatuottoisista lehtipuumetsistä kokopuumenetelmällä saadaan jo nykyisellä tekniikan tasolla puuraaka-ainekustannuksiltaan kilpailukykyistä raaka-ainetta massa- ja levyteollisuudelle, kun korjuu päästään suorittamaan avohakkuuolosuhteissa.

Ensiharvennusmetsien kuusivaltaisissa leimikoissa kokopuumenetelmällä hankitun raaka-aineen kustannukset eivät myöskään muodostu olennaisesti ainespuumenetelmällä hankitun raaka-aineen kustannuksia suuremmiksi. Kokopuumenetelmää käytettäessä talteen saadun raaka-aineen määrä lisäksi kasvaa ainespuumenetelmään verrattuna.

Vajaatuottoisten lehtipuumetsien harvennushakkuussa kokopuumenetelmällä korjatun raaka-aineen kustannukset nousevat nykytilanteessa vielä niin suuriksi, että raaka-aineen hankintaan näissä olosuhteissa on syytä suhtautua varauksellisesti. Ensiharvennusmetsien mänty- ja lehtipuuvaltaisissa leimikoissa ainespuumenetelmä näyttää myös vielä kokopuumenetelmää edullisemmalta korjuutavalta.

On kuitenkin huomattava, että kokopuunkorjuuseen perustuvan korjuutekniikan kehittäminen on vielä aivan alussa, joten tuotostason voidaan odottaa kohoavan eri työvaiheissa nopeaa vauhtia. Näin ollen kokopuumenetelmän kilpailukyky epäilemättä aikaa myöten paranee ja mahdollisesti jo lähivuosien aikana osa vajaatuottoisten lehtipuumetsien harvennushakkuuleimikoista saadaan taloudellisesti korjatuksi kokopuumenetelmän avulla. Samoin on mahdollista, että kaikentyyppiset ensiharvennusleimikot kannattaa korjata kokopuina.

Tutkimustuloksiin mahdollisesti sisältyvien virheiden osalta korostetaan erityisesti sitä, että kokopuun puuraaka-ainekustannusten määrittämisessä ei vielä saavuteta samaa tarkkuutta kuin ainespuun puuraaka-ainekustannusten määrittämisessä. Kysymyksessä on ensimmäinen suuntaa antava arvio, jota perustietojen karttuessa voidaan täydentää ja tarkentaa. Eri tehtaiden ja yritysten kokopuuraaka-aineen käyttöön ja leimikko-olosuhteisiin liittyvät kustannustekijät vaihtelevat myös niin huomattavasti, ettei tämän tutkimuksen keskimääräisiä tuloksia voida sellaisinaan käyttää hyväksi yksittäisissä yrityksissä.

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Metsäteollisuuden puuraaka-ainehuoltoon liittyvien riskitekijöiden jatkuvasti lisääntyessä on yhä enenevässä määrin tunnettu mielenkiintoa siihen, voitaisiinko vielä lähes kokonaan käyttämättä jäävistä kannoista, oksista ja latvuksista sekä ainespuun minimimittoja pienemmästä puusta saada lisäraaka-ainetta metsäteollisuudelle. Viime vuosien aikana erityisesti pieniläpimittaisen puun korjuumahdollisuudet ovat lisääntyneet kokopuunkorjuuseen perustuvan korjuutekniikan kehittämisen ja puuraaka-aineen alentuneiden laatuvaatimusten ansiosta. Perinteellisiä ainespuun korjuumenetelmiä käytettäessä varsinkin karsinta nostaa pienpuun korjuukustannuksia.

Kokopuunkorjuuseen soveltuvat nykyisellä tekniikan tasolla tekniseltä kannalta lähinnä seuraavat metsikkökohteet.

1 Vajaatuottoiset lehtipuuvaltaiset metsät
- harmaalepikot
- soitten hieskoivikot
- metsittyneet, vajaatuottoisiksi jääneet pelto- ja laidunmaat
- Pohjois-Suomen heikkolaatuiset lehtipuumetsät sekä
- Pohjanmaan merenrantavyöhykkeen lehtipuuvesakot

2 Ensiharvennusmetsät

3 Perattavat ja harvennettavat taimistot

Kokeilukohteena olevat lyhytkiertoviljelmät kuuluvat tulevaisuudessa lisäksi edellä mainittuun ryhmään.

Vajaatuottoisten lehtipuuvaltaisten pienpuustojen kokonaismääräksi on arvioitu valtakunnan metsien viidennen inventoinnin tulosten mukaan noin 1.1 milj. ha ja kuorelliseksi kuutiomääräksi noin 72 milj. runkopuu-m^3. Lehtipuun osuudeksi arvioidaan noin 75 %. Pienpuustojen vuotuisen kokonaiskasvun arvio on noin 3 milj. kuoretonta m^3.

Ensiharvennusmetsien nykyinen korjuumäärä on esitettyjen arvioiden mukaan noin 1.3 milj. kuorellista runkopuu-m^3 vuodessa. Korjuumäärän on arvioitu lisääntyvän vuoteen 1985 mennessä noin 2.0 milj. kuorelliseen runkopuu-m^3:iin vuodessa ja vuoteen 2000 mennessä noin 5.0 milj. kuorelliseen runkopuu-m^3:iin vuodessa.

Taimistojen perkauksissa ja harvennuksissa vuosittain maahan hakatun runkopuun nykyiseksi määräksi on arvioitu noin 1.5 milj. kuorellista m^3 vuodessa.

Kokopuuhakkeen teollinen käyttö on lisääntynyt tuntuvasti erityisesti USA:ssa ja Kanadassa ja on alkuvaiheessa myös Suomessa. Kokopuuna korjuun kustannuksista ei tiettävästi ole kuitenkaan julkaistu mitään kokonaisvaltaista selvitystä, joka antaisi tietoa tämän uuden korjuutekniikan käytön taloudellisuudesta eri olosuhteissa.

1.2 Tutkimustehtävä

Tutkimuksen tehtävänä on kokopuuna korjuun taloudellisuuden selvittäminen. Laskelmat koskevat vajaatuottoisista lehtipuumetsistä ja ensiharvennusmetsistä korjattavissa olevaa pienpuuraaka-ainetta. Muut pienpuuta sisältävät metsikkökohteet jätetään tämän tutkimuksen ulkopuolelle, koska käytettävissä ei ole vielä riittäviä perustietoja edes suuntaa antavien laskelmien suorittamiseksi.

Metsäteollisuusyritysten kannalta vajaatuottoiset lehtipuumetsät kannattaa ottaa korjuukohteiksi, jos näistä metsistä saadaan kustannuksiltaan edullista raaka-ainetta muihin puuraaka-ainevaihtoehtoihin verrattuna. Keskeisiksi kokopuumenetelmän käyttöön liittyviksi tutkimusongelmiksi on tällä perusteella katsottu

- kustannuksiltaan edullisimman kokopuunkorjuumenetelmän valinta eri leimikkoolosuhteisiin sekä
- edullisimmalla menetelmällä korjatun kokopuuraaka-aineen kustannusten määrittäminen ja vertaaminen vaihtoehtoisten puuraaka-ainelajien kustannuksiin.

Ensiharvennukset lienee tehtävä joka tapauksessa jo pelkästään metsänhoidollisista syistä silloinkin, kun raaka-aineen hankinta sinänsä tulee epätaloudelliseksi. Leimikon pelkän ainespuuosuuden talteenottoon perustuvien korjuumenetelmien ja kokopuumenetelmän keskinäisen edullisuuden voidaan myös olettaa vaihtelevan olosuhteiden mukaan. Ensiharvennusmetsien kohdalla keskeiseksi tutkimusongelmaksi onkin katsottu kokopuu- ja ainespuumenetelmän keskinäisen edullisuuden selvittäminen.

1.3 Tutkimuksen suoritus

Jos tehtaan tarvitsema määrä puuraaka-ainetta on saatavissa, eri puuraaka-ainelajien yksikköä kohti lasketut kustannukset ratkaisevat niiden korjuun ja käytön taloudellisuuden. Vaihtoehtoisten puuraaka-ainelajien kustannukset saadaan keskenään vertailukelpoisiksi, kun niiden tehdashintaan lisätään jalostusprosessin edellyttämän esikäsittelyn kustannukset sekä raaka-aineen käyttöarvo esikäsittelyn jälkeen.

Jos tehdas joutuu käymään vajaakapasiteetilla raaka-ainepulan vuoksi, on kokopuuraaka-ainetta tarkasteltava ns. marginaalieränä. Lisäraaka-aineen hankinta kokopuumenetelmällä tulee tässä tapauksessa epätaloudelliseksi vasta silloin, kun kokopuun puuraaka-ainekustannukset nousevat sellaiselle tasolle, ettei tästä raaka-aineesta valmistetun tuotteen arvo ylitä muuttuvien valmistuskustannusten määrää.

Metsiemme hakkuumahdollisuuksien voidaan katsoa olevan lähivuosien aikana likimäärin tasapainossa metsäteollisuuden puuntarpeen kanssa. Nykytilanteessa eri korjuutavoilla talteen saadun raaka-aineen määrä ei näin ole ratkaiseva tekijä niiden edullisuutta arvosteltaessa. Tässä tutkimuksessa kokopuuna korjuun taloudellisuutta tarkastellaankin pelkän yksikkökustannuskriteerin perusteella. Kokopuunkorjuu vajaatuottoisista lehtipuumetsistä on metsäteollisuusyritysten näkökulmasta taloudellista, jos kokopuun puuraaka-ainekustannukset jäävät vaihtoehtoisten puuraaka-ainelajien vastaavia kustannuksia alhaisemmiksi. Ensiharvennusmetsien kohdalla ainespuun ja kokopuun puuraaka-ainekustannusten oletetaan samoin määrittävän korjuutapojen keskinäisen edullisuuden.

Kokopuu- ja ainespuuraaka-aineen kustannukset vaihtelevat yrityskohtaisesti varsin paljon leimikoiden korjuuteknisten olosuhteiden ja ennen muuta kysymykseen tuleviin tehdasprosesseihin liittyvien kustannustekijöiden vaihtelun vuoksi. Tämän vuoksi kokopuuraaka-aineen keskimääräisten kustannusten määrittämiseen tähtäävät laskelmat eivät juuri sovellu yksittäisten yritysten käytettäviksi. Tutkimuksessa pyritäänkin ensi sijassa kehittämään sellainen menetelmä, jonka avulla eri puuraaka-ainelajien kustannuslaskelmia voidaan tehdä yrityskohtaisia kustannusperusteita käyttäen.

1.4 Keskeiset käsitteet

Kokopuu- ja ainespuuraaka-aineen kustannuksia laskettaessa tutkimuksessa otetaan huomioon vain välittömät yritystaloudelliset kustannukset. Kokopuuna korjuun välilliset vaikutukset metsikön ravinnetalouteen, metsätuhojen esiintymistodennäköisyyteen, metsien moninaiskäyttöön jne. ilmeisesti jossakin määrin poikkeavat pelkän ainespuunkorjuun seurausvaikutuksista. Metsätalouden kaikkien intressiryhmien tai kansantalouden näkökulmasta suoritettava tarkastelu edellyttääkin, että tässä tutkimuksessa huomioon otettujen yritystaloudellisten kustannusten lisäksi myös välillisten seurausvaikutusten määrällinen tai ainakin laadullinen arviointi sisällytetään laskelmiin.

Laskelmat on tehty vuoden 1976 alkupuoliskolla vallinneitten kustannusten ja korjuutekniikan tasolla.

Kokopuun haketuksessa saatavaa raaka-ainetta nimitetään kokopuuhakkeeksi. Kokopuuhakeirto-m^3 on muutettu kokopuu-m^3:ksi kertoimella 0.4. Runkopuu-m^3:llä tarkoitetaan puun runko-osan kuutiosisältöä. Ainespuu-m^3:llä tarkoitetaan puun rungon ainespuuosan m^3-sisältöä. Ainespuun minimiläpimittana käytetään lehtipuulla 7 cm:ä ja havupuulla 6 cm:ä kuoren päältä mitattuna.

Laskelmissa esitettävä raaka-aineen tehdashinta sisältää korjuun ja kaukokuljetuksen kustannukset erilliskustannukset mukaan luettuina sekä leimikon eri puuraaka-ainelajeista maksetun kantohinnan.

Puuraaka-ainekustannukset sisältävät tehdashinnan, jalostusprosessin edellyttämän esikäsittelyn kustannukset sekä raaka-aineen käyttöarvon esikäsittelyn jälkeen.

2 KORJUUOLOSUHTEET, TUOTOS- JA KUSTANNUSPERUSTEET SEKÄ LASKENTAMENETELMÄ

2.1 Korjuuolosuhteet

2.1.1 Leimikkotyyppien määrittely

Vajaatuottoisten lehtipuumetsien hakkuut jaetaan metsänhoidollisten näkökohtien mukaan kahteen leimikkotyyppiin, avohakkuuleimikkoon ja harvennushakkuuleimikkoon.

Avohakkuiden metsänhoidollisena tarkoituksena on puulajin vaihto. Niiden tärkein metsikköryhmä koostuu harmaalepikoista. Harvennushakkuissa kysymys on yleisimmin siitä, että osa puustosta jätetään suojaamaan alla jo olevaa tai alle kehittyvää taimistoa tai paras osa puustosta jätetään kasvamaan kuitupuun minimimitat täyttäväksi. Harvennushakkuiden tärkein metsikköryhmä koostuu soiden hieskoivikoista.

Selvien avo- ja harvennushakkuiden lisäksi vajaatuottoisissa lehtipuumetsissä suoritettavien hakkuiden tarkoituksena on varsin usein verhopuuston poistaminen. Kokemusten mukaan verhopuustojen poistoissa joudutaan siksi paljon varomaan alla olevaa taimistoa, että nämä leimikot on korjuuvaikeudeltaan rinnastettu harvennushakkuuleimikoihin.

Tavallisten ensiharvennusmetsien korjuussa puulaji vaikuttaa hakkuun ja metsäkuljetuksen tuotostasoon. Ensiharvennusmetsien hakkuut on jaettu vallitsevan puulajin perusteella mänty- ja lehtipuuvaltaiseen sekä kuusivaltaiseen leimikkoon.

2.1.2 Leimikkoaineisto

Vajaatuottoisten lehtipuumetsien avohakkuu- ja harvennushakkuuleimikoiden samoin kuin ensiharvennusmetsien korjuuolosuhteista ei ole käytettävissä sellaisia tilastoja, jotka antaisivat luotettavan kuvan leimikoiden keskimääräisistä korjuuteknisistä olosuhteista. Tutkimukseen on tämän vuoksi jouduttu valitsemaan esimerkkileimikoita kuvaamaan leimikkotyyppien mukaisia korjuuolosuhteita. Sitä missä määrin leimikkoaineiston valintamenettely rajoittaa tutkimustulosten yleistettävyyttä, tarkastellaan tutkimustulosten yhteydessä.

Vajaatuottoisten lehtipuumetsien avohakkuuolosuhteita kuvaava leimikkoaineisto sisältää Itä-Suomessa sijanneita harmaalepikoita noin 15 ha:n alueelta.

Vajaatuottoisten lehtipuumetsien harvennushakkuuolosuhteita kuvaava leimikkoaineisto sisältää Länsi-Suomessa sijainneita suokoivikoita noin 11 ha:n alueelta.

Ensiharvennushakkuiden olosuhteita kuvaava leimikkoaineisto on saatu pääosin Metsäntutkimuslaitoksen kasvu- ja tuotostutkimusten koeala-aineistosta.

2.1.3 Ainespuu-, runkopuu- ja oksamäärien laskenta

Leimikoiden runkopuun ja ainespuun kuutiomäärät on laskettu Metsätehossa kehitetyllä kuutiointiohjelmalla, jonka lähtötietoina käytetään puun rinnankorkeudelta mitattua läpimittaa, kapenemista ja pituutta sekä puulajia. Leimikoiden ainespuuosuus käsittää nimenomaan vain ainespuun teoreettisen määrän. Käytännössä osa ainespuun minimimitat täyttävästä runkojen latvaosasta jää runkohukkapuuksi. Korjuussa talteen saadun ainespuun määrä riippuu valmistettavasta tavaralajista ja on luonnollisesti vapaanpituista kuitupuuta tai rankaa valmistettaessa suurempi kuin määrämittaista kuitupuuta valmistettaessa.

Mänty- ja kuusirunkojen oksien kuutiomäärät on laskettu Metsäntutkimuslaitoksen laskentamallilla rinnankorkeusläpimitaltaan yli 6 cm:n puista. Tätä pienempien puiden oksien kuutiomäärä on laskettu puuston rinnankorkeusläpimittaluokkien keskimääräisten oksaprosenttien perusteella.

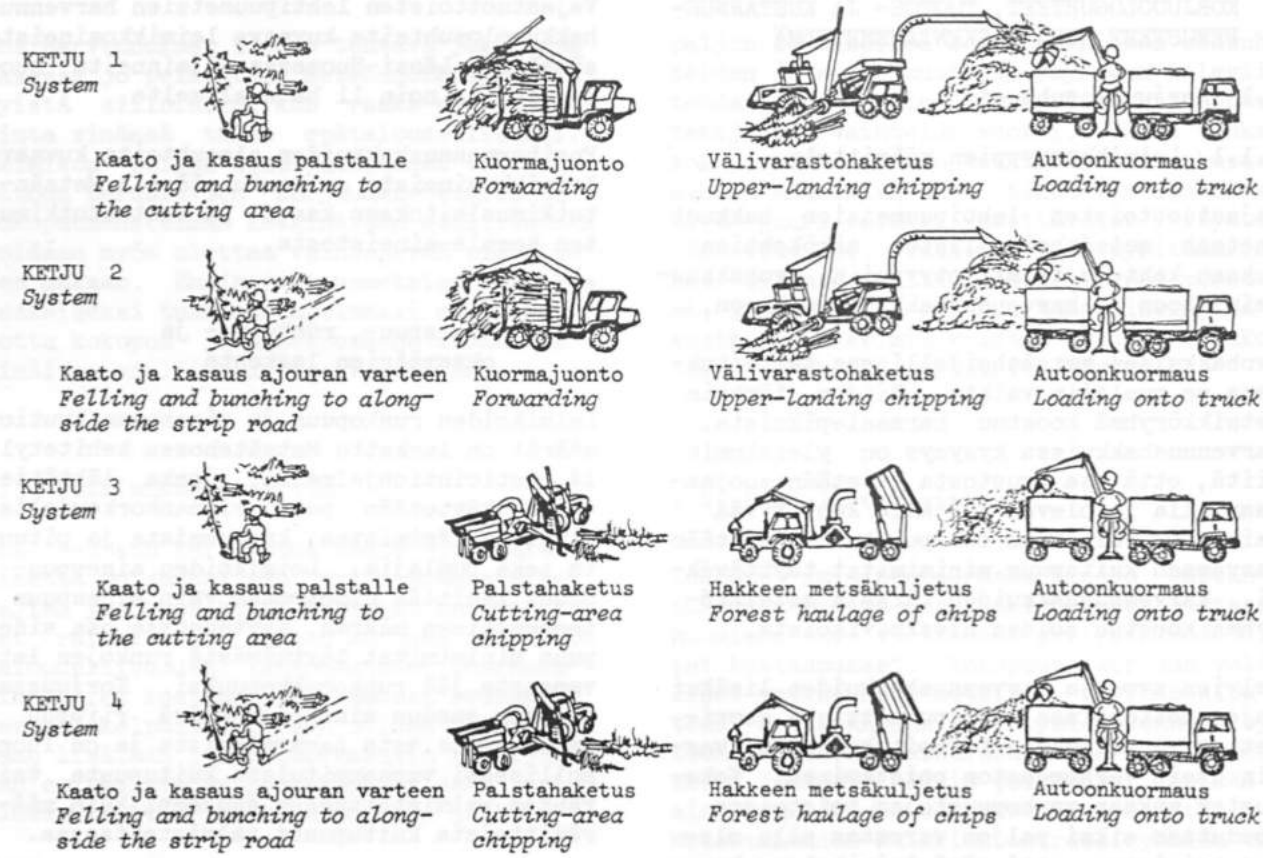
Lehtipuurunkojen oksien määrä on laskettu puuston rinnankorkeusläpimittaluokkien keskimääräisten oksaprosenttien perusteella.

2.2 Puunkorjuun tuotos- ja kustannusperusteet

2.2.1 Korjuuketjuvaihtoehdot

Laskelmien kokopuunkorjuuketjut sisältävät vain palstalla tai välivarastolla tapahtuvaan haketukseen perustuvia vaihtoehtoja. Yleisen käsityksen mukaan kokopuun haketus metsässä on ainakin tällä hetkellä tehtaalla tapahtuvaa haketusta edullisempaa. Tämä käsitys ei kuitenkaan perustu yksityiskohtaisiin vertailulaskelmiin, joissa olisi otettu huomioon hankintaketjun kaikki vaiheet.

Toisena valintakriteerinä on pidetty mahdollisuuksien mukaan sitä, että korjuu-



Kuva 1. Kokopuuhaketukseen perustuvat korjuuketjut

Fig. 1. Harvesting systems based on whole-tree chipping

vaihtoehtojen tuotos- ja kustannusperusteista on riittävästi perustietoja todellisuutta vastaavien laskelmien suorittamiseksi. Laskelmissa käytetyt vaihtoehtoiset korjuuketjut on esitetty kuvassa 1.

Hakkuun työmenetelmävaihtoehtoina ovat ihmistyövaltainen kaato kevyellä moottorisahalla ja puiden siirtely kouraisutaakkoihin palstalle tai ihmistyönä suoritettava kasaus ajouran varteen. Hakkuu sisältää myös pitkien (yli 6 m:n) puiden katkonnan, sillä niitä on vaikea kuljettaa tavallisella kuormatraktorilla ilman kuormatilan pidennystä.

Kaatoa ja kasausta varten on jo käytettävissä myös koneellisia vaihtoehtoja. Näistä vaihtoehdoista ei kuitenkaan vielä ole käytettävissä riittäviä perustietoja tätä tutkimusta varten.

Metsäkuljetuksen ainoaksi vaihtoehdoksi on valittu kuormajuonto kuormatraktorilla. Jos puut on hakattu kouraisutaakkoihin palstalle, esikasaus oletetaan suoritettavaksi kuormatraktoriin asennetun pitkän, ajouran keskeltä noin 10 m:n etäisyydelle ulottuvan liukupuomin avulla.

Haketuksen vaihtoehtoina ovat ajouralla tapahtuva palstahaketus tai välivarastohaketus. Palstahakkurit samoin kuin kaato-kasauskoneet ovat vielä kokeilu- ja kehittelyasteella. Nykyisessä muodossaan palstahakkurit pystyvät toimimaan tyydyttävästi vain I ja II maastoluokan olosuhteissa. Tämän vuoksi palstahaketuksen käyttö on rajoitettu näihin olosuhteisiin.

Pelkän ainespuun ainoaksi korjuuketjuvaihtoehdoksi on valittu ensiharvennusmetsissä hakkuumiehestä ja metsätraktorista muodostuva korjuuketju. Pitemmälle koneellistetut vaihtoehdot ovat nykyisin tätä korjuuketjua kalliimpia.

2.2.2 Ihmis- ja konetyön kustannukset

Eri korjuuketjuissa käytettävien koneiden valinta on ongelmallinen, sillä taloudel-

TAULUKKO 1 Korjuuketjuissa käytettyjen koneiden käyttötuntikustannukset
Table *Per-hour operating costs of machines used in harvesting systems*

Kone – *Machine*	Käyttötuntikustannukset, mk *Per-hour operating costs, marks*
Palstahakkuri liukupuomikuormaimella varustettuna *Cutting-area chipper with slide boom loader*	184,50
Palstahakkuri tavallisella kuormaimella varustettuna *Cutting-area chipper with conventional loader*	180,30
Välivarastohakkuri *Upper-landing chipper*	217,10
Kuormatraktori liukupuomikuormaimella varustettuna *Forwarder with slide boom loader*	80,10
Kuormatraktori tavallisella kuormaimella varustettuna *Forwarder with conventional loader*	75,90

lisimmista konetyypeistä ei vielä kaikilta osin olla selvillä. Lähinnä tuotostietojen saantimahdollisuuksien vuoksi välivarastohaketuksessa on oletettu käytettävän suhteellisen järeää hakkuria. Palstahaketusta koskevat laskelmat perustuvat tähän asti käytössä olleista hakkureista koottuihin kokemustietoihin. Kokopuiden metsäkuljetus on oletettu suoritettavaksi keskikokoisella kuormatraktorilla.

Korjuuketjuihin kuuluvien koneiden käyttötuntikustannukset on laskettu noudattaen nykyisten ohjemaksuperusteiden laskentatapaa vuotuisen ajankäytön, korkokustannusten, käyttöasteen ja poistojen suhteen. Käyttötuntikustannukset on esitetty taulukossa 1.

Ihmistyönä suoritettavassa hakkuussa hakkuumiehen päiväkustannukset on arvioitu palkkatilastojen perusteella sosiaalikustannukset mukaan luettuina 175 mk:ksi. Tuntikustannuksia laskettaessa päivittäisen työajan pituutena on käytetty 6.6 tuntia.

2.2.3 Ihmis- ja konetyön tuotokset

Ihmis- ja konetyön tuotosperusteet on laadittu kokopuunkorjuusta julkaistuihin tutkimustuloksiin sekä käytännöstä saatuihin tietoihin nojautuen. Tuotostason määrittelyssä on tukeuduttu pääasiassa käytännön kokemuksiin ja olosuhdetekijöiden vaikutuksen määrittelyssä kokopuunkorjuuta koskeviin tutkimustuloksiin. Leimikkokohtaisiin tuotoksiin vaikuttavina olosuhdetekijöinä on otettu huomioon

- rungon koko
- puulaji
- leimikon tiheys
- hakkuun ja metsäkuljetuksen maastoluokka sekä
- metsäkuljetusmatka.

Kokopuunkorjuun tuotosyksikkönä on kokopuu-m^3. Olosuhdetekijöitä on kuvattu siten, että rungon koon ja leimikon tiheyden määrittelyssä yksikkönä on runkopuu-m^3. Leimikon koko on esitetty kokopuu-m^3:einä.

Vajaatuottoisten lehtipuumetsien ja ensiharvennusmetsien harvennushakkuuolosuhteissa sekä vajaatuottoisten lehtipuumetsien avohakkuuolosuhteissa käytetyt tuotosperusteet on esitetty rungon koon funktiona taulukossa 2.

Ensiharvennusmetsissä vertailukohteena olevassa ainespuun korjuussa valmistettavaksi tavaralajiksi on valittu pinnanmyötäisesti karsittu 2-metrinen kuitupuu. Hakkuun tuotosperusteet on esitetty taulukossa 2. Kuitupuun metsäkuljetuskustannuksiin vaikuttavana olosuhdetekijänä on otettu huomioon metsäkuljetusmatkan pituus. Metsäkuljetuksen käyttötuntituotoksen on arvioitu laskevan 0.040 runkopuu-m^3:n rungonkokoluokassa 12.3 ainespuu-m^3:stä 7.4 ainespuu-m^3:iin, kun metsäkuljetusmatka pitenee 100 m:stä 500 m:iin.

Taulukon 2 tuotoksia määritettäessä harvennushakkuiden ajouravälinä on käytetty 25...30 m:ä ja tiheytenä 45 runkopuu-m^3:ä/ha. Jotta hakkuutavan vaikutusta tuotokseen voitaisiin arvioida samoissa olosuhteissa, myös avohakkuuleimikoiden tuotokset vastaavat tiheyttä 45 runkopuu-m^3/ha. Maastoluokaksi on oletettu hakkuun ja metsäkuljetuksen ohjemaksusopimusten mukainen I...II luokka ja metsäkuljetusmatkan pituudeksi 300 m.

2.2.4 Talteen saadut raaka-ainemäärät

Kokopuumenetelmilläkään leimikon koko teoreettista raaka-ainemäärää ei saada talteen.

TAULUKKO 2
Table

Korjuun tuotosperusteet
Output bases for harvesting machines and methods

Leimikkotyyppi *Type of stand marked for cutting*	Työvaihe – *Work phase*	Rungon koko, m^3 – *Stem size, m^3 (solid)*							
		0.003	0.005	0.010	0.020	0.040	0.080	0.150	0.200
Ensimmäinen harvennushakkuu ja vajaatuottoisten lehtipuumetsienharvennushakkuu *First thinning and thinning of unproductive hardwoods stands*	KOKOPUUNKORJUU – *WHOLE-TREE HARVESTING*	MÄNTY, LEHTIPUU – *PINE, HARDWOODS*							
	Hakkuu – *Cutting*	kokopuu-m^3/työmaatunti – *whole-tree m^3(s)/working-site hour*							
	palstalle *to the cutting area*	0.3	0.6	1.6	2.3	2.9	3.6	4.0	4.1
	ajouran varteen *to alongside the strip road*	0.2	0.3	0.7	1.2	1.5	1.6	1.7	1.7
	Metsäkuljetus – *Forest haulage*	kokopuu-m^3/käyttötunti – *whole-tree m^3(s)/ operating hour*							
	kuormaus palstalta *loading from the cutting area*	3.0	3.2	3.5	4.0	5.0	6.3	7.8	8.4
	kuormaus ajouran varresta *loading from alongside the strip road*	3.6	3.7	3.9	4.4	5.6	7.2	8.9	9.3
	Palstahaketus – *Cutting-area chipping*								
	palstalta *from the cutting area*	1.6	1.9	2.3	2.8	3.4	4.3	5.2	5.7
	ajouran varresta *from alongside the strip road*	2.0	2.4	2.9	3.5	4.3	5.0	6.0	6.6
	Välivarastohaketus – *Upper-landing chipping*	10.6	13.5	14.3	16.0	17.4	18.4	19.5	20.0
	AINESPUUNKORJUU – *HARVESTING OF INDUSTRIAL WOOD*	ainespuu-m^3/työmaatunti – *industrial-wood m^3(s)/ working-site hour*							
	Hakkuu ajouran varteen *Cutting to alongside the strip road*	–	–	–	0.7	0.9	1.1	1.5	1.7
	KOKOPUUNKORJUU – *WHOLE-TREE HARVESTING*	KUUSI – *SPRUCE*							
	Hakkuu – *Cutting*	kokopuu-m^3/työmaatunti – *whole-tree m^3(s)/working-site hour*							
	palstalle *to the cutting area*	0.3	0.6	1.6	2.3	2.9	3.6	4.0	4.1
	ajouran varteen *to alongside the strip road*	0.2	0.3	0.7	1.1	1.4	1.5	1.6	1.6
	Metsäkuljetus – *Forest haulage*	kokopuu-m^3/käyttötunti – *whole-tree m^3(s)/operating hour*							
	kuormaus palstalta *loading from the cutting area*	2.6	2.8	3.1	3.5	4.4	5.5	6.8	7.4
	kuormaus ajouran varresta *loading from alongside the strip road*	3.2	3.3	3.4	3.9	4.9	6.3	7.8	8.1
	Palstahaketus – *Cutting-area chipping*								
	palstalta *from the cutting area*	1.4	1.7	2.1	2.5	3.1	3.9	4.7	5.1
	ajouran varresta *from alongside the strip road*	1.8	2.2	2.6	3.2	3.9	4.5	5.4	5.9
	Välivarastohaketus – *Upper-landing chipping*	9.5	12.2	12.9	14.4	15.7	16.6	17.6	18.0
	AINESPUUNKORJUU – *HARVESTING OF INDUSTRIAL WOOD*	ainespuu-m^3/työmaatunti – *industrial-wood m^3(s)/ working site hour*							
	Hakkuu ajouran varteen *Cutting to alongside the strip road*	–	–	–	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3
Vajaatuottoisten lehtipuumetsienavohakkuu *Clear cutting of unproductive hardwoods stands*	KOKOPUUNKORJUU – *WHOLE-TREE HARVESTING*	LEHTIPUU – *HARDWOODS*							
	Hakkuu – *Cutting*	kokopuu-m^3/työmaatunti – *whole-tree m^3(s)/working-site hour*							
	palstalle *to the cutting area*	0.6	1.0	1.8	3.5	5.3	6.8	8.3	9.0
	ajouran varteen *to alongside the strip road*	0.3	0.8	1.2	2.4	3.6	5.0	6.4	7.0
	Metsäkuljetus – *Forest haulage*	kokopuu-m^3/käyttötunti – *whole-tree m^3(s)/operating hour*							
	kuormaus palstalta *loading from the cutting area*	3.9	4.3	5.0	6.0	7.2	8.3	9.5	10.2
	kuormaus ajouran varresta *loading from alongside the strip road*	5.1	5.5	6.1	6.9	7.8	8.9	10.1	10.8
	Palstahaketus – *Cutting-area chipping*								
	palstalta *from the cutting area*	4.3	4.7	5.2	6.0	6.7	7.4	8.1	8.5
	ajouran varresta *from alongside the strip road*	5.4	5.9	6.6	7.2	7.7	8.3	9.0	9.5
	Välivarastohaketus – *Upper-landing chipping*	10.6	13.5	14.3	16.0	17.4	18.4	19.5	20.0

TAULUKKO 3 Kokopuunkorjuussa talteen saadut raaka-ainemäärät
Table Quantities of raw material recovered in whole-tree harvesting

Korjuuketju *Harvesting system*	Vajaatuottoiset lehtipuumetsät *Unproductive hardwoods forests*		Ensiharvennusmetsät *First-thinning forests*
	Avohakkuu *Clear cutting*	Harvennushakkuu *Thinning*	Harvennushakkuu *Thinning*
	Raaka-ainekertymä, % leimikon teoreettisesta raaka-ainemäärästä *Raw-material yield, % of the theoretical raw material quantity of the marked stand*		
Hakkuu palstalle – kuormajuonto – välivarastohaketus *Cutting to the cutting area – forwarding – upper-landing chipping*	94	92	92
Hakkuu ajouran varteen – kuormajuonto – välivarastohaketus *Cutting to alongside the strip road – forwarding – upper-landing chipping*	95	93	93
Hakkuu palstalle – palstahaketus *Cutting to the cutting area – cutting-area chipping*	95	93	93
Hakkuu ajouran varteen – palstahaketus *Cutting to alongside the strip road – cutting-area chipping*	95	94	94

Korjuuvaiheessa talteen saadut raaka-ainemäärät eri kokopuunkorjuuketjuja käytettäessä on arvioitu käytettävissä olevien tietojen perusteella taulukon 3 mukaisiksi.

Korjuuvaiheessa metsään jäävä osa kokopuuraaka-aineesta sisältää kuitenkin varsin paljon sellaisia raaka-ainelajeja (esim. neulasia ja lehtiä), joiden poistuminen parantaa talteen saadun raaka-aineen laatua. Korjuun suorittaminen niin, että mahdollisimman suuri osa neulasista, lehdistä ja kuoresta jää metsään, on edullista myös metsikön ravinnetalouden kannalta, sillä puun nämä osat sisältävät puuaineeseen verrattuna moninkertaisen määrän ravinteita.

2.2.5 Korjuuketjujen erilliskustannukset

Leimikkokohtaisina korjuuketjujen käyttöön liittyvinä erilliskustannuksina laskelmissa on otettu huomioon suunnittelu- ja valvontakustannukset, varastopaikan valmistuskustannukset sekä koneiden siirtokustannukset. Käytännön kokemuksen mukaan leimikoiden suunnittelu- ja valvontakustannukset tulevat ensiharvennusmetsien ja vajaatuottoisten lehtipuumetsien harvennushakkuissa kokopuunkorjuuketjuja käytettäessä likimain saman suuruisiksi kuin ainespuunkorjuuketjuja käytettäessä. Vajaatuottoisten lehtipuumetsien avohakkuussa suunnittelu- ja valvontakustannukset ovat noin 50 % harvennushakkuun vastaavista kustannuksista.

Suunnittelu- ja valvontakustannukset on laskettu ensimmäisessä harvennushakkuussa ja vajaatuottoisten lehtipuumetsien harvennushakkuussa 2 mk:ksi/kokopuu-m^3 ja vajaatuottoisten lehtipuumetsien avohakkuussa 1 mk:ksi/kokopuu-m^3.

Varastokustannusten määrittämisessä on lähdetty siitä, että hake puhalletaan tai puretaan välivarastoille puskurivarastoihin kiviltä, soralta ja muilta epäpuhtauksilta suojaavan alustan päälle. Tämä edellyttää varastopaikan tasaamista ja alusmateriaalin käyttöä sulan maan aikana. Varastotilan tarve riippuu leimikon koosta ja on palstahaketukseen perustuvia korjuuketjuja käytettäessä pienempi kuin välivarastohaketukseen perustuvia korjuuketjuja käytettäessä. Kokemuksesta saatujen tietojen perusteella varastokustannukset on laskettu palstahaketukseen perustuvien korjuuketjujen käytössä 1,20 mk:ksi/kokopuu-m^3 ja välivarastohaketukseen perustu-

via korjuuketjuja käytettäessä 3,00 mk:ksi/ kokopuu-m^3.

Ainespuun korjuuketjun käytön edellyttämät erilliskustannukset on laskettu Metsätehon puunkorjuun kehittämislaskelmaa varten koottujen tilastojen perusteella ensiharvennusmetsien mänty- ja lehtipuuvaltaisessa leimikossa 3,75 mk:ksi/ainespuu-m^3 ja kuusivaltaisessa leimikossa 3,70 mk:ksi/ ainespuu-m^3.

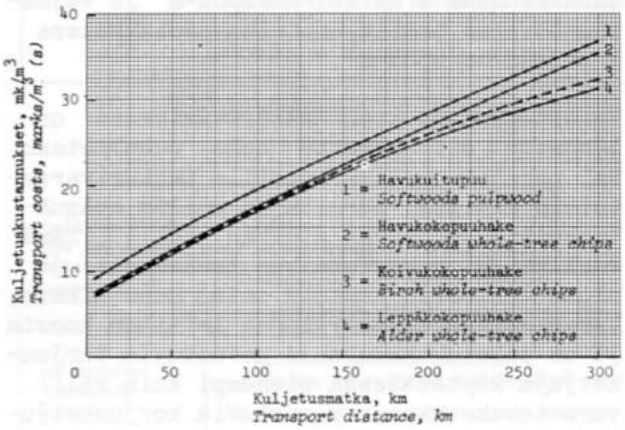
2.3 Kaukokuljetuksen kustannusperusteet

Kokopuuhakkeen kaukokuljetusta koskevissa laskelmissa ainoa kuljetusvaihtoehto on autokuljetus. Kuljetuskalustoksi on valittu täysperävaunuauto, jonka kuljetuskyky on noin 80 i-m^3. Kuormauksen on oletettu tapahtuvan hakekouralla varustetulla nivelpuomikuormaimella. Kuljetuskustannusten määrittäminen perustuu tuotosperusteiltaan Metsätehon tutkimuksiin. Kustannukset on laskettu ohjemaksusopimusten mukaisesti.

Kaukokuljetuksessa ei ole oletettu syntyvän oleellisia raaka-ainehäviöitä.

Ainespuun kaukokuljetuskustannukset on määritetty voimassa olevan ohjemaksusopimuksen perusteella.

Kokopuuhakkeen ja ainespuun kaukokuljetuksen edellyttämien suunnittelu- ja valvontakustannusten määräksi on laskettu Metsätehon jäsenyrityksistä koottujen tietojen perusteella 1,50 mk kokopuu- ja ainespuu-m^3:ä kohti.



Kuva 2. Kokopuuhakkeen ja kuitupuun kaukokuljetuskustannukset

Fig. 2. Long-distance transport costs of whole-tree chips and softwoods pulpwood

Kokopuuhakkeen ja kuitupuun kuljetuskustannukset näkyvät kuljetusmatkan funktiona kuvasta 2. Välittömiin kuljetuskustannuksiin on lisätty eri kaukokuljetusmatkoilla edellä mainitut suunnittelu- ja valvontakustannukset.

2.4 Tehdashinnan ja puuraaka-ainekustannusten laskentaperusteet

Eri kuitupuulajien kantohintoina on käytetty seuraavia kustannuslukuja.

Lehtikuitupuu	42	mk/ainespuu-m^3
Mäntykuitupuu	50	-"-
Kuusikuitupuu	52	-"-

Leimikon lisäraaka-aineosan kantohintana on käytetty 2,00 mk:aa/kokopuu-m^3.

Nykyisellä jalostustekniikan tasolla kokopuuhaketta voidaan käyttää lähinnä massa- ja levyteollisuudessa purun, sahanhakkeen ja kuitupuuhakkeen vaihtoehtona. Yksinkertaisin tapa käyttää kokopuuhaketta massateollisuudessa on ajaa sitä karkean seulonnan ja puhdistuksen jälkeen normaalihakkeen joukkoon. Puuraaka-aineen laatutaso edellyttää nykyisin, ettei kuoripitoisuus saa ylittää 1...2 %:a.

Kokopuuhakkeessa kuoren ja viheraineksen osuus vaihtelee puulajin, korjattavan puuston koon ja korjuutavan mukaan karkeasti 20 %:sta 40 %:iin hakkeen painosta. Tämän vuoksi kokopuuhakkeen sisältämistä epäpuhtauksista on seulottava tehtaalla pois sellainen määrä, ettei raaka-aineseoksen kuoripitoisuus ylitä mainittua ylärajaa. Seulonnan ja puhdistuksen jälkeenkin varsinkin pieniläpimittaisesta puusta valmistettu kokopuuhake on käyttöarvoltaan selvästi huonompaa raaka-ainetta kuin vastaavan puulajin kuoreton kuitupuu- tai sahanhake.

Massateollisuuden asiantuntijoiden mukaan paras kokopuuhakkeen käyttötapa olisi sen valmistaminen massaksi omalla erillisellä keittolinjalla, minkä jälkeen se sekoitetaan sahanhake- tai kuitupuumassaan. Kun tämänkaltainen kokopuuhakkeen käyttö massateollisuuden raaka-aineena tulee mahdolliseksi, kokopuuraaka-aineen käyttöarvo todennäköisesti paranee merkittävästi nykytilanteeseen verrattuna.

Kuitulevyteollisuudessa kokopuuhaketta voidaan käyttää sellaisenaan jopa yksinomai-

TAULUKKO 4 Kokopuuhakkeen käyttö massateollisuuden raaka-aineena
Table *Use of whole-tree chips as raw material by the pulp industry*

Kustannustekijä *Cost factor*	Lehtikokopuuhake *Hardwoods whole-tree chips*	Mäntykokopuuhake *Pine whole-tree chips*	Kuusikokopuuhake *Spruce whole-tree chips*
Raaka-ainehäviö seulonnassa ja puhdistuksessa, % koko raaka-ainemäärästä *Raw material loss in the screening and cleaning process, % of the toal raw material quantity*	10	15	15
Seulonta- ja puhdistuskustannukset, mk/kokopuu-m^3 *Screening and cleaning costs, marks/whole-tree m^3 (s)*	9	15	15
Leimikon kuutiomääräosuudella painotettu keskiläpimitta, cm ($d_{1,3}$) *Mean diameter, weighted by the volume share of the marked stand, cm ($d_{1.3}$)*	Arvo, % vastaavan puulajin kuorettomaan kuitupuuhakkeeseen verrattuna — *Value, % compared with bark-free pulpwood chips of the corresponding tree species*		
≤ 7.0	50	70	60
7.1...10.0	70	80	70
> 10.0	90	90	80

sena raaka-aineena. Lastulevyteollisuudessa kokopuuhaketta on mahdollista käyttää levyn keskikerrosten valmistamiseen. Keskikerrosten paksuuden mukaan kokopuuhakkeen määrä voi olla 20...60 % koko raaka-ainemäärästä. Kokopuuhakkeen käyttöarvoon vaikuttavat levyteollisuudessa varsinkin puun koko ja puulaji. Yleensä käyttöarvo jää jonkin verran tärkeintä perinteellistä puuraaka-ainelajia, sahanhaketta, alhaisemmaksi.

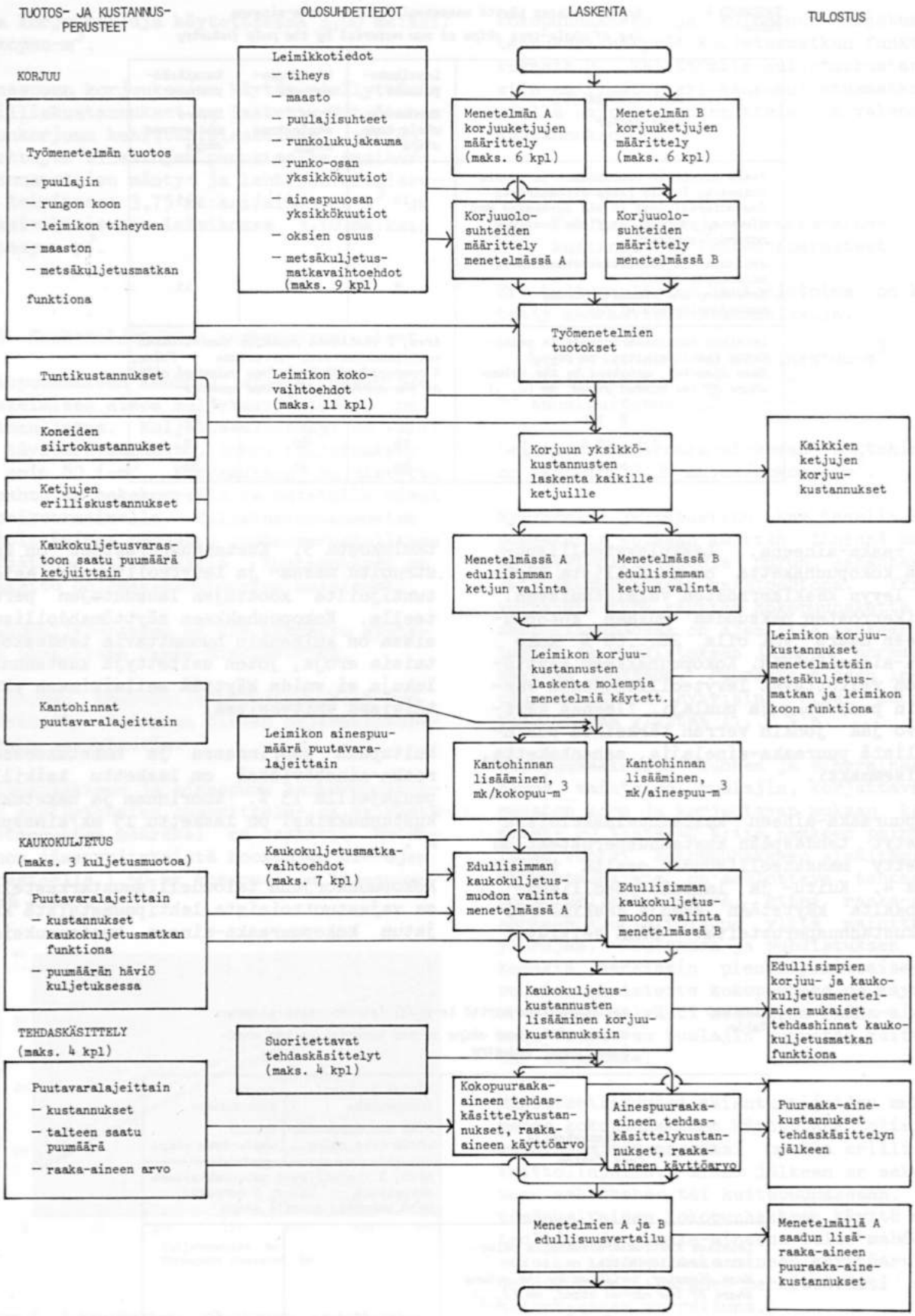
Kokopuuraaka-aineen kustannuslaskelmissa käytetyt tehdaspään kustannusperusteet on esitetty massateollisuuden osalta taulukossa 4. Kuitu- ja lastulevyteollisuuden osalta käytetään samoja keskimääräisiä kustannusperusteita. Nämä selviävät taulukosta 5. Kustannusperusteet on konstruoitu massa- ja levyteollisuuden asiantuntijoilta koottujen lausuntojen perusteella. Kokopuuhakkeen käyttömahdollisuuksissa on kuitenkin huomattavia tehdaskohtaisia eroja, joten esitettyjä kustannuslukuja ei voida käyttää sellaisinaan yksittäisissä yrityksissä.

Kuitupuun kuorinnassa ja haketuksessa raaka-ainehäviöksi on laskettu kaikilla puulajeilla 13 %. Kuorinnan ja haketuksen kustannuksiksi on laskettu 15 mk/ainespuu-m^3.

Kokopuunkorjuun taloudellisuustarkastelussa vajaatuottoisista lehtipuumetsistä korjatun kokopuuraaka-aineen kustannuksia

TAULUKKO 5 Kokopuuhakkeen käyttö levyteollisuuden raaka-aineena
Table *Use of whole-tree chips as raw material by the wood-based panel industry*

Kustannustekijä *Cost factor*	Mänty- ja lehtikokopuuhake *Pine and hardwoods whole-tree chips*	Kuusikokopuuhake *Spruce whole-tree chips*
	Arvo, % kuorelliseen sahanhakkeeseen verrattuna — *Value, % compared with unbarked sawmill chips*	
Leimikon kuutiomääräosuudella painotettu keskiläpimitta, cm ($d_{1,3}$) *Mean diameter, weighted by the volume share of the marked stand, cm ($d_{1.3}$)*		
≤ 7.0	60	60
7.1...10.0	90	80
> 10.0	100	90



Kuva 3. Laskennan periaatekaavio. A = kokopuumenetelmä, B = ainespuumenetelmä

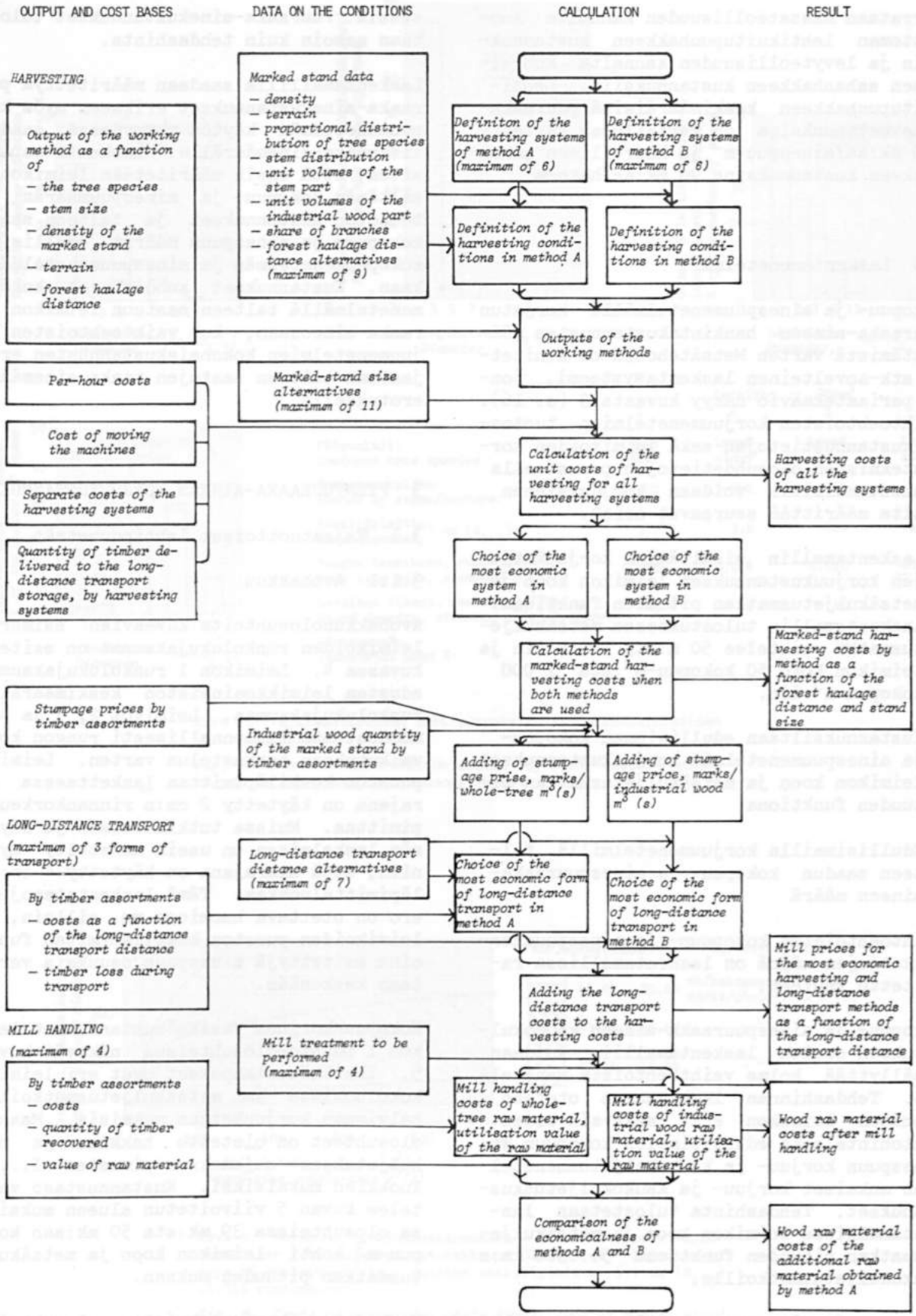


Fig. 3. Calculation principles. A = whole-tree method, B = industrial wood method

verrataan massateollisuuden kannalta kuorettoman lehtikuitupuuhakkeen kustannuksiin ja levyteollisuuden kannalta kuorellisen sahanhakkeen kustannuksiin. Lehtikuitupuuhakkeen keskimääräisinä puuraaka-ainekustannuksina on vertailussa käytetty 130 mk:aa/ainespuu-m^3 ja kuorellisen sahanhakkeen kustannuksina 90 mk:aa/hake-m^3.

2.5 Laskentamenetelmä

Kokopuu- ja ainespuumenetelmällä korjatun puuraaka-aineen hankintakustannusten määrittämistä varten Metsätehossa on kehitetty atk-sovelteinen laskentasysteemi, jonka periaatekaavio näkyy kuvasta 3 (s. 16). Vaihtoehtoisten korjuumenetelmien tuotos- ja kustannustietojen sekä leimikoiden korjuuteknisten olosuhdetietojen perusteella laskentamallilla voidaan korjuuvaiheen osalta määrittää seuraavat asiat.

- Laskentamallin sisältämien korjuuketjujen korjuukustannukset leimikon koon ja metsäkuljetusmatkan pituuden funktiona. Laskentamallin tulostuksessa metsäkuljetusmatka vaihtelee 50 m:stä 500 m:iin ja leimikon koko 50 kokopuu-m^3:stä 1 000 kokopuu-m^3:iin.

- Kustannuksiltaan edullisimman kokopuu- ja ainespuumenetelmän korjuukustannukset leimikon koon ja metsäkuljetusmatkan pituuden funktiona

- Edullisimmilla korjuumenetelmillä talteen saadun kokopuu- ja ainespuuraaka-aineen määrä

Vaihtoehtoisten kokopuun- ja ainespuunkorjuuketjujen määrä on laskentamallissa rajoitettu kuuteen.

Kokopuu- ja ainespuuraaka-aineen kaukokuljetuksen osalta laskentamalliin voidaan sisällyttää kolme vaihtoehtoista menetelmää. Tehdashinnan laskennassa otetaan huomioon leimikon eri raaka-aineosien kantohinta sekä edullisimpien kokopuun ja ainespuun korjuu- ja kaukokuljetusmenetelmien mukaiset korjuu- ja kaukokuljetuskustannukset. Tehdashinta tulostetaan laskentamallissa leimikon koon ja metsäkuljetusmatkan pituuden funktiona 5...300 km:n kaukokuljetusmatkoille.

Kokopuu- ja ainespuuraaka-aineen puuraaka-ainekustannusten laskentaan voidaan sisällyttää neljä vaihtoehtoista jalostusprosessia. Puuraaka-ainekustannukset tulostetaan samoin kuin tehdashinta.

Laskentamallilla saadaan määritettyä puuraaka-ainekustannukset erikseen myös kokopuumenetelmän käytön yhteydessä saadulle lisäraaka-ainemäärälle. Laskenta tapahtuu siten, että ensin määritetään leimikon sisältämän kokopuu- ja ainespuumäärän talteenoton kustannukset ja talteen saadut kokopuun ja ainespuun määrät edullisimman kokopuumenetelmän ja ainespuumenetelmän mukaan. Kustannukset kohdistuvat kokopuumenetelmällä talteen saatuun leimikon lisäraaka-aineosaan, kun vaihtoehtoisten korjuumenetelmien kokonaiskustannusten erotus jaetaan talteen saatujen raaka-ainemäärien erotuksella.

3 PIENPUURAAKA-AINEEN KORJUUKUSTANNUKSET

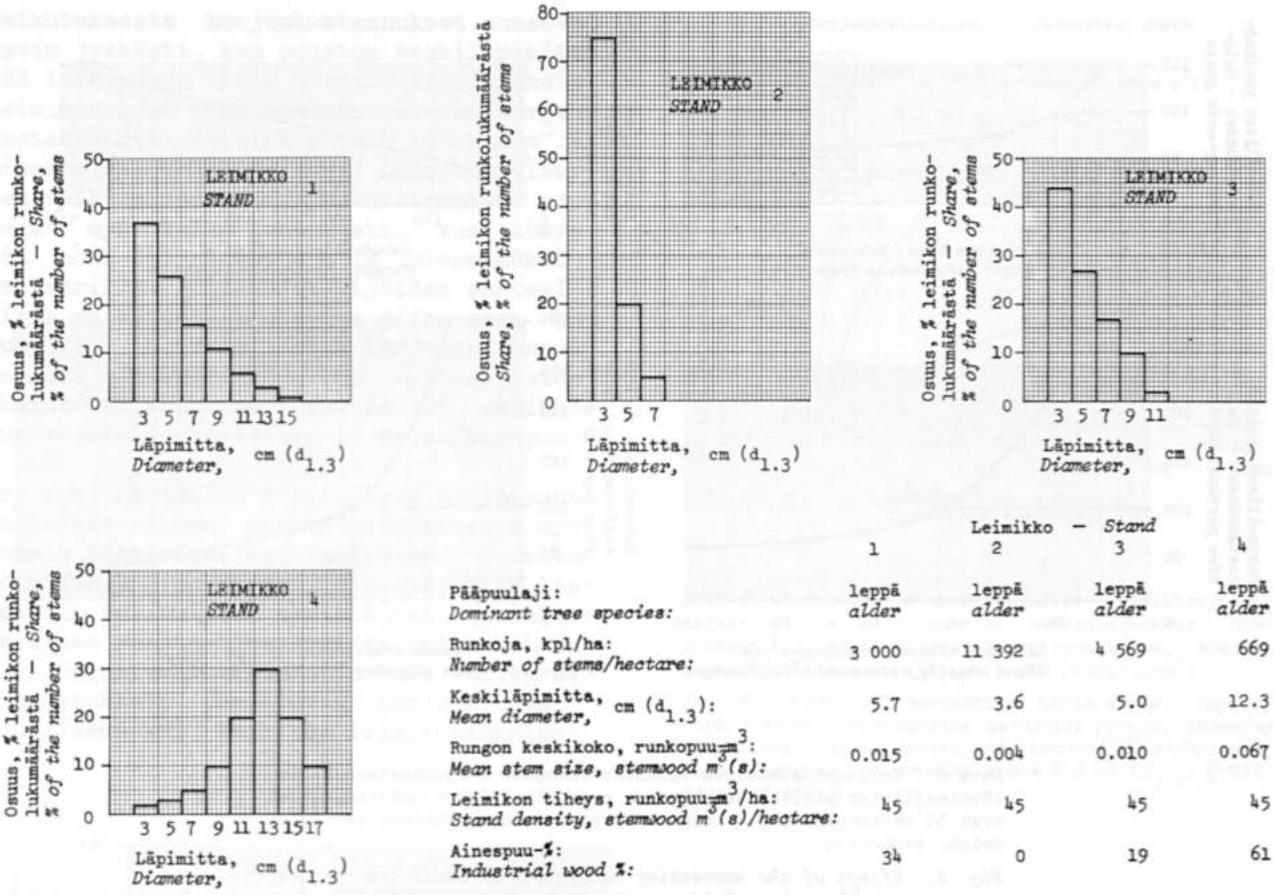
3.1 Vajaatuottoiset lehtipuumetsät

3.1.1 Avohakkuu

Avohakkuuolosuhteita kuvaavien esimerkkileimikoiden runkolukujakaumat on esitetty kuvassa 4. Leimikon 1 runkolukujakauma edustaa leimikkoaineiston keskimääräistä runkolukujakaumaa. Leimikot 2, 3 ja 4 on muodostettu laskennallisesti rungon koon vaikutuksen tarkastelua varten. Leimikon puuston keskiläpimittaa laskettaessa alarajana on käytetty 2 cm:n rinnankorkeusläpimittaa. Muissa tutkimuksissa ja käytännön laskelmissa on usein menetelty myös niin, että alarajana on käytetty 4 cm:n läpimittaluokkaa. Tämä laskentatapojen ero on otettava huomioon mm. silloin, kun leimikoiden puuston keskiläpimitan funktioina esitettyjä ainespuun osuuksia verrataan keskenään.

Kokopuunkorjuun yksikkökustannukset leimikon 1 puusto-olosuhteissa näkyvät kuvasta 5. Yksikkökustannukset ovat eri leimikonkokoluokissa ja metsäkuljetusmatkoilla halvimman korjuuketjun mukaisia. Maastoolosuhteet on oletettu hakkuun ja metsäkuljetuksen ohjemaksusopimusten I...II luokkien mukaisiksi. Kustannustaso vaihtelee kuvan 5 viivoitetun alueen mukaisissa olosuhteissa 39 mk:sta 50 mk:aan kokopuu-m^3 kohti leimikon koon ja metsäkuljetusmatkan pituuden mukaan.

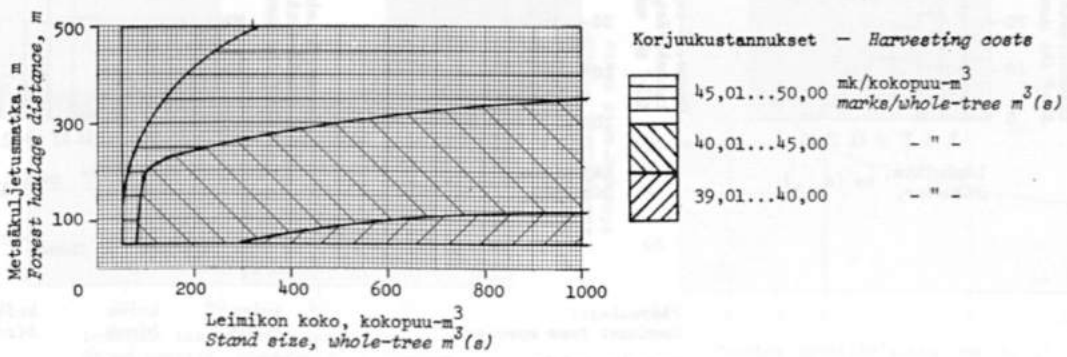
Keskeisten korjuuteknisten olosuhteiden suhteellinen vaikutus korjuukustannuksiin on esitetty kuvassa 6 (s. 20). Rungon koon



	Leimikko — Stand 1	2	3	4
Pääpuulaji: *Dominant tree species:*	leppä *alder*	leppä *alder*	leppä *alder*	leppä *alder*
Runkoja, kpl/ha: *Number of stems/hectare:*	3 000	11 392	4 569	669
Keskiläpimitta, cm ($d_{1.3}$): *Mean diameter,*	5.7	3.6	5.0	12.3
Rungon keskikoko, runkopuu-m^3: *Mean stem size, stemwood m^3(s):*	0.015	0.004	0.010	0.067
Leimikon tiheys, runkopuu-m^3/ha: *Stand density, stemwood m^3(s)/hectare:*	45	45	45	45
Ainespuu-%: *Industrial wood %:*	34	0	19	61

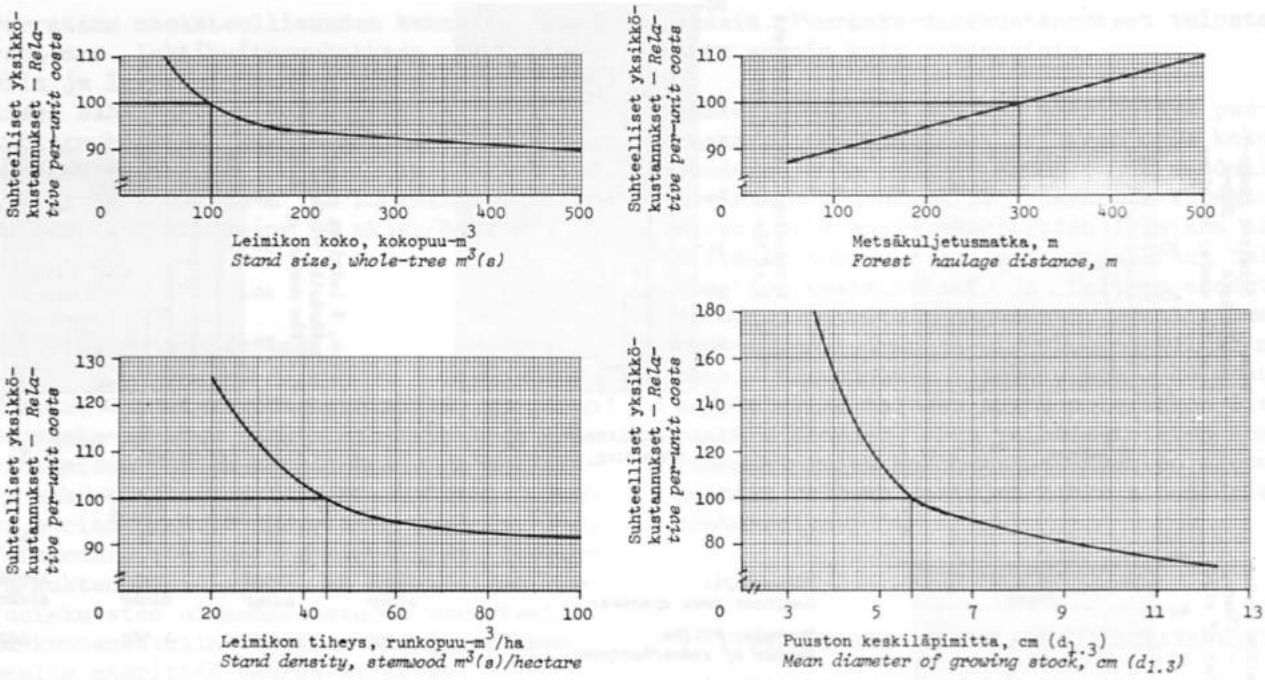
Kuva 4. Vajaatuottoisten lehtipuumetsien avohakkuuleimikoiden runkolukujakaumat

Fig. 4. The stem distribution series of clear cutting marked stands in unproductive hardwoods forests



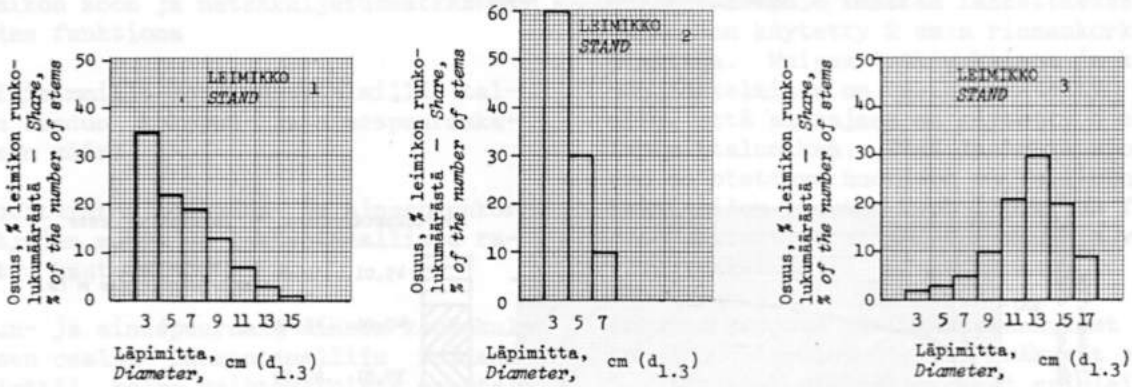
Kuva 5. Kokopuun korjuukustannukset. Leimikkotyyppi: vajaatuottoinen lehtipuumetsä, avohakkuu. Olosuhteet: leimikon tiheys 45 runkopuu-m^3/ha, puuston keskiläpimitta 5.7 cm ($d_{1.3}$) (0.015 runkopuu-m^3)

Fig. 5. Costs of harvesting whole trees. Type of marked stand: unproductive hardwoods forest, clear cutting. Conditions: density of marked stand 45 stemwood m^3(s)/hectare, mean diameter of growing stock 5.7 cm ($d_{1.3}$) [0.015 stemwood m^3(s)]



Kuva 6. Korjuuolosuhteiden vaikutus kokopuun korjuukustannuksiin. (Suhteellisten yksikkökustannusten arvoilla 100 korjuukustannukset ovat 50 mk/kokopuu-m^3). Leimikkotyyppi: vajaatuottoinen lehtipuumetsä, avohakkuu

Fig. 6. Effect of the harvesting conditions on whole-tree harvesting costs. When the relative unit costs are denoted by 100, the harvesting costs are 50 marks/whole-tree $m^3(s)$. Type of marked stand: unproductive hardwoods forest, clear cutting



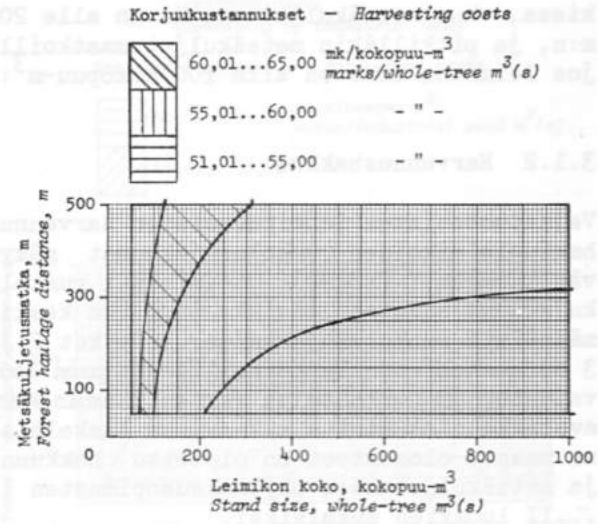
Kuva 7. Vajaatuottoisten lehtipuumetsien harvennushakkuuleimikoiden runkolukujakaumat

Fig. 7. The stem distribution series of marked selective-thinning stands in unproductive hardwoods forests

	Leimikko – *Stand* 1	2	3
Pääpuulaji: *Dominant tree species:*	koivu *birch*	koivu *birch*	koivu *birch*
Runkoja, kpl/ha *Number of stems/hectare:*	2 500	6 429	570
Keskiläpimitta, cm ($d_{1.3}$) *Mean diameter,*	6.0	4.0	12.0
Rungon keskikoko, runkopuu-m^3: *Mean stem size, stemwood $m^3(s)$:*	0.018	0.007	0.079
Leimikon tiheys, runkopuu-m^3/ha: *Stand density, stemwood $m^3(s)$/hectare:*	45	45	45
Ainespuu-%: *Industrial wood %:*	52	19	73

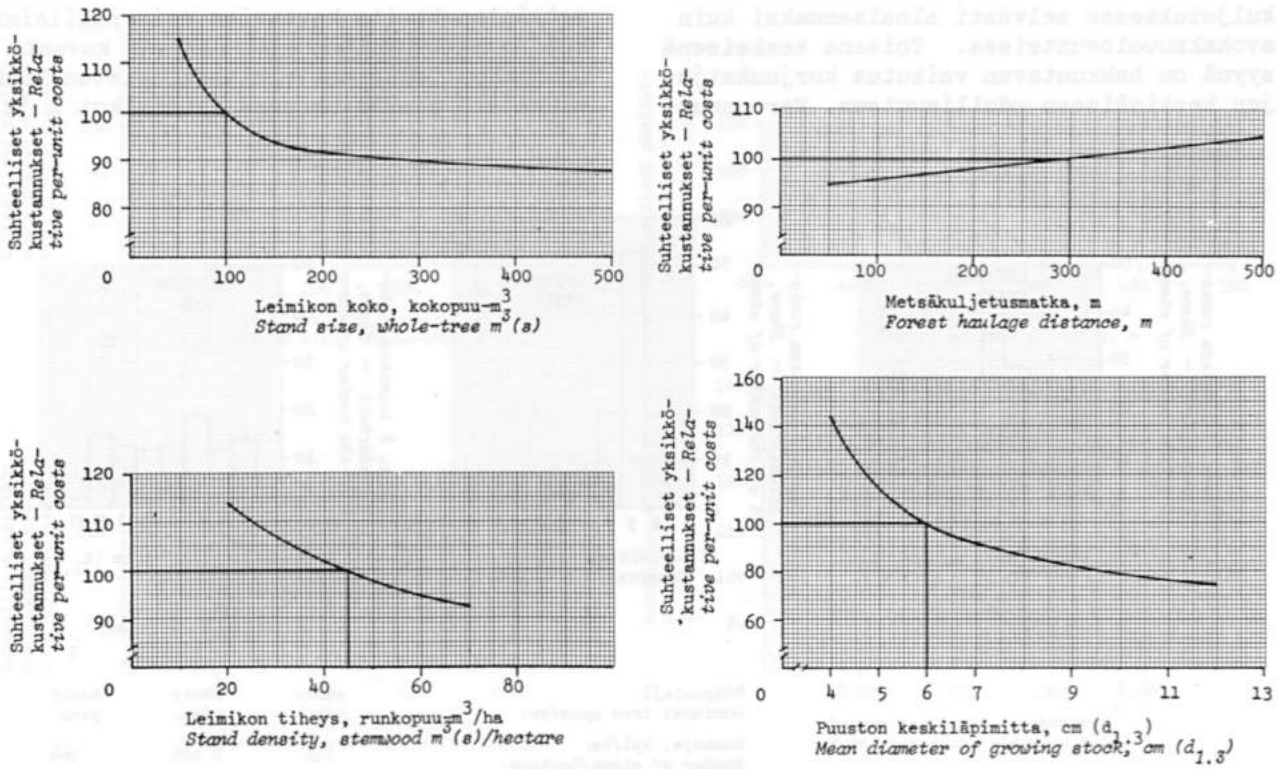
vaikutuksesta korjuukustannukset nousevat hyvin jyrkästi, kun puuston keskiläpimitta jää leimikossa noin 5 cm:ä pienemmäksi. Leimikon koon pieneneminen nostaa korjuukustannuksia varsinkin 100 kokopuu-m^3:ä pienemmissä kokoluokissa. Leimikon tiheyden vaikutuksesta korjuukustannukset nousevat myös melko tuntuvasti, kun tiheys jää noin 45 runkopuu-m^3:ä pienemmäksi hehtaarilla. Olosuhdetekijöiden suhteellista vaikutusta koskevien piirrosten perusteella voidaan laskea korjuukustannukset eri olosuhteisiin, kun suhteellisten yksikkökustannusten arvoilla 100 yksikkökustannuksina käytetään 50 mk:aa/kokopuu-m^3.

Eri korjuuketjujen keskinäistä edullisuutta tarkastellaan yksityiskohtaisesti myöhemmin tehtävässä tutkimuksessa. Todettakoon tässä ainoastaan yleisesti, että laskelmiin valituissa hyvissä tai keskinkertaisissa maasto-olosuhteissa palstahaketukseen perustuva korjuuketju tuli välivarastohaketukseen perustuvaa korjuuketjua edullisemmaksi kaikissa leimikonkokoluo-



Kuva 8. Kokopuun korjuukustannukset. Leimikkotyyppi: vajaatuottoinen lehtipuumetsä, harvennushakkuu. Olosuhteet: leimikon tiheys 45 runkopuu-m^3/ha, puuston keskiläpimitta 6.0 cm($d_{1.3}$) (0.018 runkopuu-m^3)

Fig. 8. Costs of harvesting whole trees. Type of marked stand: unproductive hardwoods forest, thinning. Conditions: stand density 45 stemwood m^3(s)/hectare, mean diameter of growing stock 6.0 cm ($d_{1.3}$) [0.018 stemwood m^3(s)]



Kuva 9. Korjuuolosuhteiden vaikutus kokopuun korjuukustannuksiin. (Suhteellisten yksikkökustannusten arvoilla 100 korjuukustannukset ovat 63 mk/kokopuu-m^3). Leimikkotyyppi: vajaatuottoinen lehtipuumetsä, harvennushakkuu

Fig. 9. Effect of the harvesting conditions on whole-tree harvesting costs. [When the relative unit costs are denoted by 100, the harvesting costs are 63 marks/whole-tree m^3(s)]. Type of marked stand: unproductive hardwoods forest, thinning

kissa, kun metsäkuljetusmatka on alle 200 m:n, ja pitkilläkin metsäkuljetusmatkoilla, jos leimikon koko on alle 100 kokopuu-m^3:n.

3.1.2 Harvennushakkuu

Vajaatuottoisten lehtipuumetsien harvennushakkuuleimikoiden runkolukujakaumat näkyvät kuvasta 7 (s. 20). Leimikon 1 runkolukujakauma edustaa leimikkoaineiston keskimääräistä runkolukujakaumaa. Leimikot 2 ja 3 on muodostettu laskennallisesti puun koon vaikutuksen tarkastelua varten. Samoin kuin avohakkuuolosuhteita kuvaavissa laskelmissa maasto-olosuhteet on oletettu hakkuun ja metsäkuljetuksen ohjemaksusopimusten I ...II luokkien mukaisiksi.

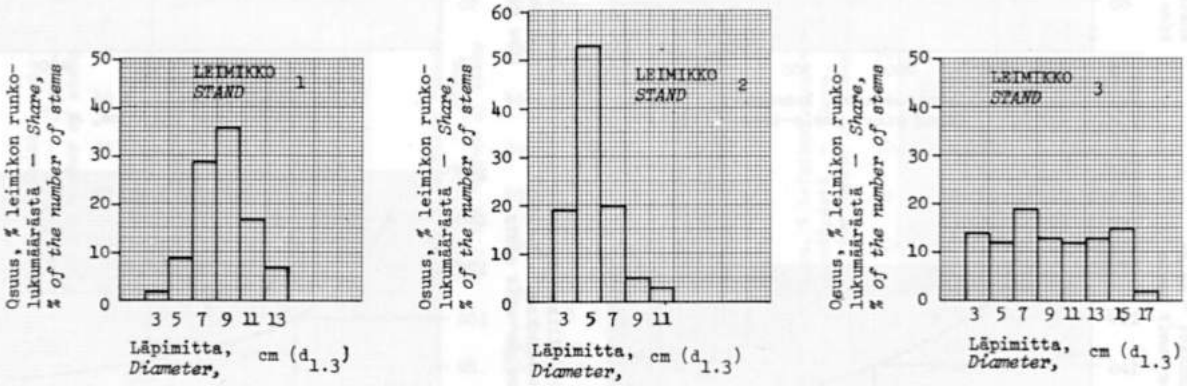
Leimikon 1 korjuukustannukset on esitetty kuvassa 8 (s. 21). Yksikkökustannukset vaihtelevat viivoitetun alueen mukaisissa olosuhteissa 51 mk:sta 65 mk:aan kokopuu-m^3:ä kohti leimikon koon ja metsäkuljetusmatkan pituuden mukaan. Avohakkuuolosuhteisiin verrattuna kustannustaso on noin 30 % korkeampi. Tämä johtuu siitä, että harvennushakkuuolosuhteissa tuotostaso jää erityisesti metsäkuljetuksessa selvästi alhaisemmaksi kuin avohakkuuolosuhteissa. Toisena keskeisenä syynä on hakkuutavan vaikutus korjuuketjujen keskinäiseen edullisuuteen. Harvennushakkuuolosuhteissa välivarastohaketukseen perustuva korjuuketju oli taloudellisin vaihtoehto kaikissa leimikonkokoluokissa ja kaikilla metsäkuljetusmatkoilla.

Eri olosuhdetekijöiden suhteellinen vaikutus korjuukustannuksiin on esitetty kuvassa 9 (s. 21). Samoin kuin avohakkuuolosuhteissa korjuukustannukset nousevat jyrkästi, kun puuston keskiläpimitta jää leimikossa noin 6 cm:ä pienemmäksi. Leimikon koolla on myös tuntuva vaikutus korjuukustannuksiin noin 100 kokopuu-m^3:ä pienemmissä leimikoissa. Tässä leimikkotyypissä olosuhdetekijöiden suhteellinen vaikutus saadaan muutettua määrälliseksi kustannusluvuksi, kun suhteellisten yksikkökustannusten arvoilla 100 yksikkökustannuksina käytetään 63 mk:aa/kokopuu-m^3.

3.2 Ensiharvennusmetsät

3.2.1 Mänty- ja lehtipuuvaltainen leimikko

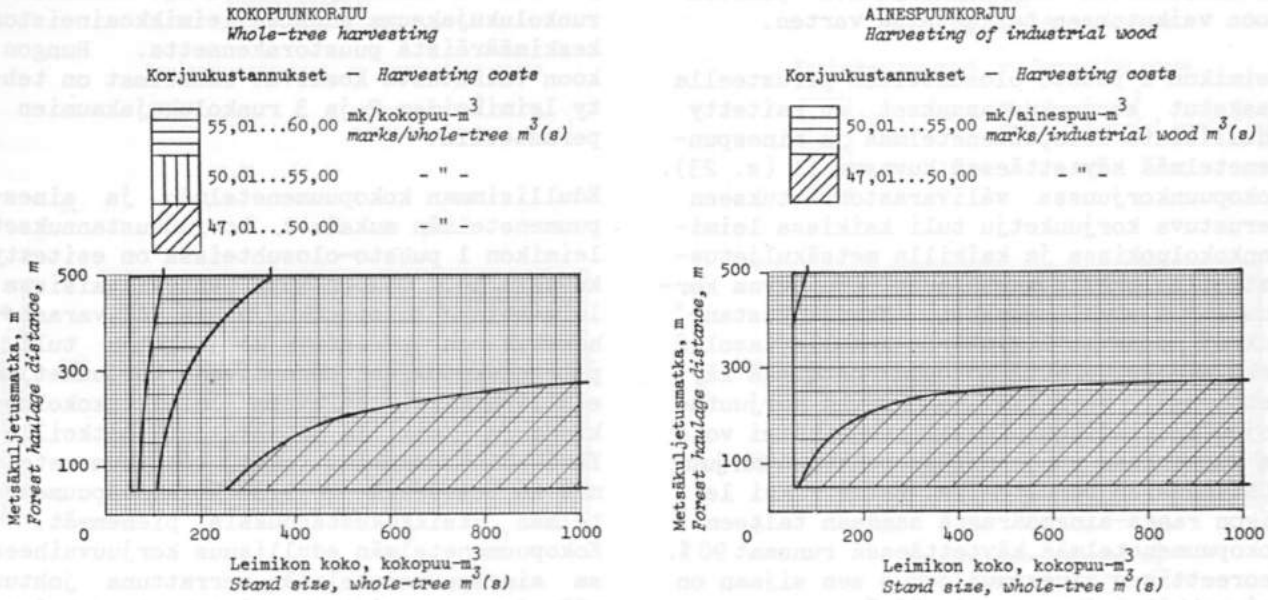
Mänty- ja lehtipuuvaltaisia ensiharvennusmetsäolosuhteita kuvaavien esimerkkileimikoiden runkolukujakaumat näkyvät kuvasta 10. Leimikko 1 edustaa leimikkoaineiston keskimääräistä puustojakaumaa. Leimikot 2 ja 3



	Leimikko – Stand 1	2	3
Pääpuulaji: *Dominant tree species:*	mänty *pine*	mänty *pine*	mänty *pine*
Runkoja, kpl/ha: *Number of stems/hectare:*	556	2 000	364
Keskiläpimitta, cm ($d_{1.3}$): *Mean diameter,*	9.0	5.0	9.0
Rungon keskikoko, runkopuu-m^3: *Mean stem size, stemwood m^3(s):*	0.036	0.010	0.055
Leimikon tiheys, runkopuu-m^3/ha: *Stand density, stemwood m^3(s)/hectare:*	20	20	20
Ainespuu-%: *Industrial wood %:*	59	26	79

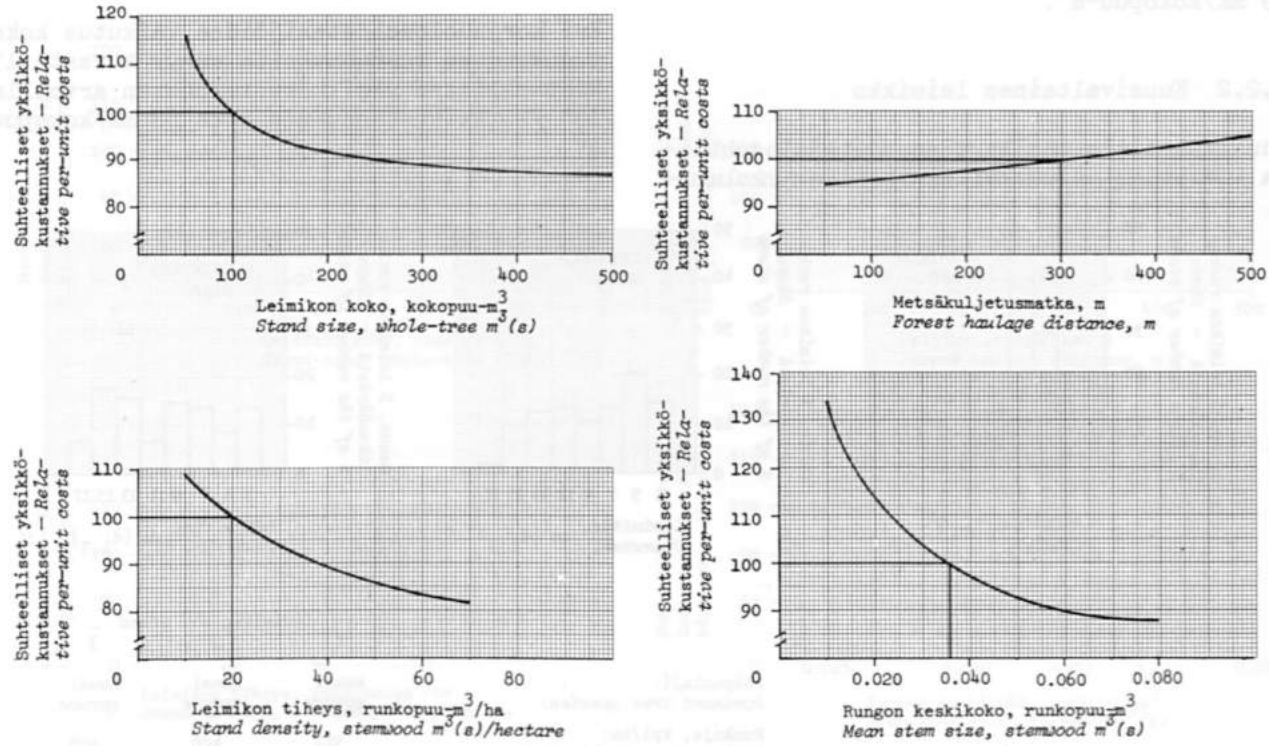
Kuva 10. Mänty- ja lehtipuuvaltaisten ensiharvennusleimikoiden runkolukujakaumat

Fig. 10. The stem distribution series of pine- and hardwoods-dominated marked stands in first-thinning forests



Kuva 11. Kokopuun ja ainespuun korjuukustannukset. Leimikkotyyppi: ensiharvennusmetsä, mänty- ja lehtipuuvaltainen leimikko. Olosuhteet: leimikon tiheys 20 runkopuu-m^3/ha, rungon keskikoko 0.036 runkopuu-m^3

Fig. 11. Costs of harvesting whole trees and industrial wood. Type of marked stand: first-thinning forest, stand dominated by pines and hardwoods. Conditions: stand density 20 stemwood m^3(s)/hectare, mean stem size 0.036 stemwood m^3(s)



Kuva 12. Korjuuolosuhteiden vaikutus kokopuun korjuukustannuksiin. (Suhteellisten yksikkökustannusten arvoilla 100 korjuukustannukset ovat 59 mk/kokopuu-m^3). Leimikkotyyppi: ensiharvennusmetsä, mänty- ja lehtipuuvaltainen leimikko

Fig. 12. Effect of the harvesting conditions on whole-tree harvesting costs. [When the relative unit costs are denoted by 100, the harvesting costs are 59 marks/whole-tree m^3(s)]. Type of marked stand: first-thinning forest, pine- and hardwoods-dominated stand

on muodostettu laskennallisesti puuston koon vaikutuksen tarkastelua varten.

Leimikon 1 puusto-olosuhteiden perusteella lasketut korjuukustannukset on esitetty edullisinta kokopuumenetelmää ja ainespuumenetelmää käytettäessä kuvassa 11 (s. 23). Kokopuunkorjuussa välivarastohaketukseen perustuva korjuuketju tuli kaikissa leimikonkokoluokissa ja kaikilla metsäkuljetusmatkoilla palstahaketukseen perustuvaa korjuuketjua edullisemmaksi. Yksikkökustannukset nousevat likimäärin samalle tasolle sekä ainespuu- että kokopuumenetelmää käytettäessä. Verrattavina olevien korjuutapojen keskinäisestä edullisuudesta ei voida kuitenkaan sanoa mitään pelkkien korjuukustannusten perusteella. Esimerkiksi leimikon raaka-ainemäärästä saadaan talteen kokopuumenetelmää käytettäessä runsaat 90 %. Teoreettinen ainespuun osuus sen sijaan on esimerkkileimikossa vain 59 %.

Kuvasta 12 (s. 23) näkyy, että korjuuolosuhteet vaikuttavat kokopuunkorjuun kustannuksiin likimäärin samalla tavoin kuin vajaatuottoisten lehtipuumetsien harvennushakkuussa. Suhteellisten yksikkökustannusten arvoilla 100 yksikkökustannukset ovat 59 mk/kokopuu-m^3.

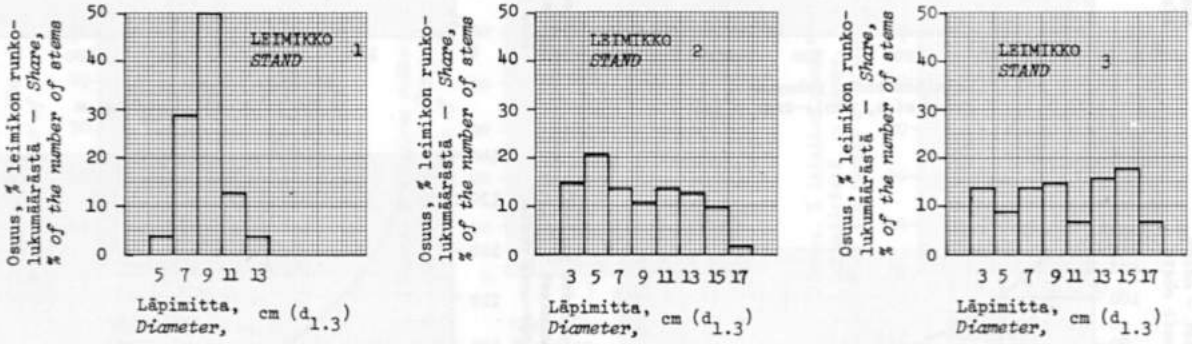
3.2.2 Kuusivaltainen leimikko

Kuusivaltaisia ensiharvennusmetsäolosuhteita kuvaavien esimerkkileimikoiden runkolukujakaumat on esitetty kuvassa 13. Leimikon 1 runkolukujakauma edustaa leimikkoaineiston keskimääräistä puustorakennetta. Rungon koon vaikutusta koskevat laskelmat on tehty leimikoiden 2 ja 3 runkolukujakaumien perusteella.

Edullisimman kokopuumenetelmän ja ainespuumenetelmän mukaiset korjuukustannukset leimikon 1 puusto-olosuhteissa on esitetty kuvassa 14. Samoin kuin mäntyvaltaisissa leimikoissa kokopuunkorjuussa välivarastohaketukseen perustuva korjuuketju tuli palstahaketukseen perustuvaa korjuuketjua edullisemmaksi kaikissa leimikonkokoluokissa ja kaikilla metsäkuljetusmatkoilla. Yksikkökustannukset ovat kokopuumenetelmää käytettäessä 20...30 % ainespuumenetelmän yksikkökustannuksia pienemmät. Kokopuumenetelmän edullisuus korjuuvaiheessa ainespuumenetelmään verrattuna johtuu pääasiassa suurista karsintakustannuksista ainespuumenetelmää käytettäessä.

Mänty- ja lehtipuuvaltaisiin leimikoihin verrattuna kokopuunkorjuun kustannustaso on kuusivaltaisissa leimikoissa noin 6 % korkeampi, jos puusto-olosuhteet ovat muutoin samankaltaiset.

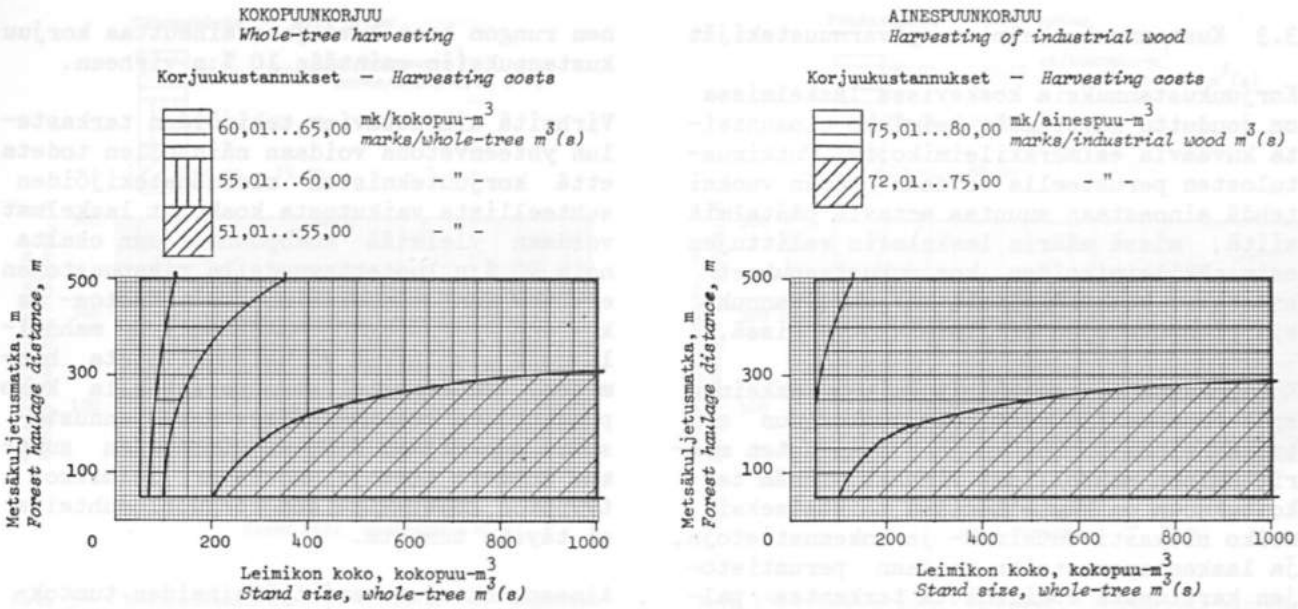
Eri korjuuolosuhdetekijöiden vaikutus kokopuunkorjuun kustannuksiin näkyy kuvasta 15. Suhteellisten yksikkökustannusten arvoilla 100 yksikkökustannukset ovat 63 mk/kokopuu-m^3.



	Leimikko — Stand 1	2	3
Pääpuulaji: *Dominant tree species:*	kuusi *spruce*	kuusi *spruce*	kuusi *spruce*
Runkoja, kpl/ha: *Number of stems/hectare:*	571	426	308
Keskiläpimitta, cm ($d_{1.3}$): *Mean diameter,*	9.0	9.0	10.0
Rungon keskikoko, runkopuu-m^3: *Mean stem size, stemwood m^3(s):*	0.035	0.047	0.065
Leimikon tiheys, runkopuu-m^3/ha: *Stand density, stemwood m^3(s)/hectare:*	20	20	20
Ainespuu-%: *Industrial wood %:*	32	54	61

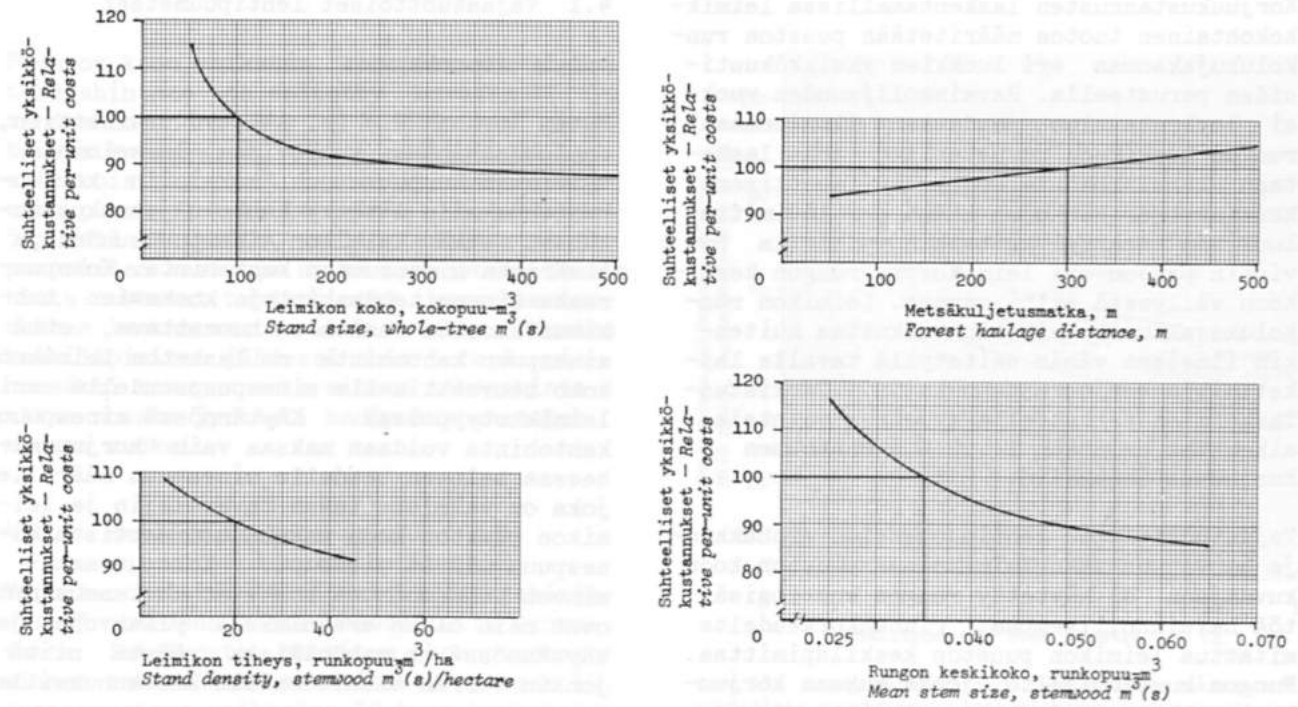
Kuva 13. Kuusivaltaisten ensiharvennusleimikoiden runkolukujakaumat

Fig. 13. The stem distribution series of spruce-dominated marked stands in first-thinning forests



Kuva 14. Kokopuun ja ainespuun korjuukustannukset. Leimikkotyyppi: ensiharvennusmetsä, kuusivaltainen leimikko. Olosuhteet: leimikon tiheys 20 runkopuu-m^3/ha, rungon keskikoko 0.035 runkopuu-m^3

Fig. 14. Costs of harvesting whole trees and industrial wood. Type of marked stand: first-thinning forest, spruce-dominated stand. Conditions: stand density 20 stemwood m^3(s)/hectare, mean stem size 0.035 stemwood m^3(s)



Kuva 15. Korjuuolosuhteiden vaikutus kokopuun korjuukustannuksiin. (Suhteellisten yksikkökustannusten arvoilla 100 korjuukustannukset ovat 63 mk/kokopuu-m^3). Leimikkotyyppi: ensiharvennusmetsä, kuusivaltainen leimikko

Fig. 15. Effect of the harvesting conditions on whole-tree harvesting costs. [When the relative unit costs are denoted by 100, the harvesting costs are 63 marks/whole-tree m^3(s)]. Type of marked stand: first-thinning forest, spruce-dominated stand

3.3 Kustannuslaskelmien epävarmuustekijät

Korjuukustannuksia koskevissa laskelmissa on jouduttu käyttämään leimikko-olosuhteita kuvaavia esimerkkileimikoita. Tutkimustulosten perusteella voidaan tämän vuoksi tehdä ainoastaan suuntaa antavia päätelmiä siitä, missä määrin laskelmiin valittujen esimerkkileimikoiden korjuukustannukset edustavat keskimääräisiä korjuukustannuksia pienpuustojen eri leimikkotyypeissä.

Korjuukustannusten määrittämisen keskeinen epävarmuustekijä ovat kokopuunkorjuun eri työvaiheiden tuotosten ja kustannusten määrittämisen mahdolliset virheet. Tähän tarkoitukseen on käytettävissä toistaiseksi melko niukasti tutkimus- ja kokemustietoja, ja laskentaperusteita voidaan perustietojen karttuessa epäilemättä tarkentaa paljonkin. Aikaa myöten kustannustaso lisäksi muuttuu jatkuvasti, eivätkä esitetyn kaltaisten laskelmien määrälliset kustannusluvut voi pitkään olla ajan tasalla. Korjuukustannuksia koskevat laskelmat on tehty varovaisuusperiaatetta noudattaen, mutta tulosten luotettavuusrajoja ei voida ennakolta määrittää objektiivisesti.

Korjuukustannusten laskentamallissa leimikkokohtainen tuotos määritetään puuston runkolukujakauman eri luokkien yksikkökuutioiden perusteella. Havainnollisuuden vuoksi laskentatulos joudutaan ilmaisemaan rungon keskikoon perusteella, joka lasketaan leimikkokohtaisesti aritmeettisena keskiarvona. Runkojen määrä eri läpimittaluokissa saattaa kuitenkin vaihdella hyvinkin paljon eri leimikoissa rungon keskikoon säilyessä silti samana. Leimikon runkolukujakauman vaihtelu vaikuttaa kuitenkin ilmeisen vähän esitetyllä tavalla laskettuihin korjuukustannuksiin. Tarkistuslaskelmien perusteella kyseinen vaihtelu aiheuttaa enintään 1...2 %:n muutoksen korjuukustannuksiin.

Vajaatuottoisten lehtipuumetsien avohakkuuja harvennushakkuuleimikoissa puuston koon kuvaajana on käytetty rungon kuutiosisältöä havainnollisempaa, rinnankorkeudelta mitattua leimikon puuston keskiläpimittaa. Rungon kuutiosisältö, jonka mukaan korjuukustannukset on laskettu, saattaa tosin vaihdella samassa läpimittaluokassa puiden pituuden ja kapenemisen vaihtelun vuoksi. Käytettävissä olevien leimikkoaineistojen perusteella vajaatuottoiset lehtipuumetsät ovat kuitenkin rakenteeltaan ilmeisen homogeenisia. Alustavien tarkistuslaskelmien mukaan puuston keskiläpimitan käyttäminen rungon koon kuvaajana aiheuttaa korjuukustannuksiin enintään 10 %:n virheen.

Virheitä aiheuttavien tekijöiden tarkastelun yhteenvetona voidaan näin ollen todeta, että korjuuteknisten olosuhdetekijöiden suhteellista vaikutusta koskevat laskelmat voidaan yleistää kokopuunkorjuun osalta noin 90 %:n luotettavuudella pienpuustojen eri korjuuolosuhteisiin, kun tuotos- ja kustannusperusteiden määrittelyyn mahdollisesti sisältyviä virheitä ei oteta huomioon. Tutkimustulosten perusteella kokopuunkorjuun keskimääräisestä kustannustasosta sen sijaan saadaan ainoastaan suuntaa antavia tietoja, koska eri leimikkotyyppien keskimääräisiä korjuuolosuhteita ei täysin tunneta.

Ainespuunkorjuun eri työvaiheiden tuotoksista ja kustannuksista on käytettävissä siksi laajat tutkimus- ja kokemustiedot, että tältä osin laskelmissa ei esiintyne mainittavia virheitä.

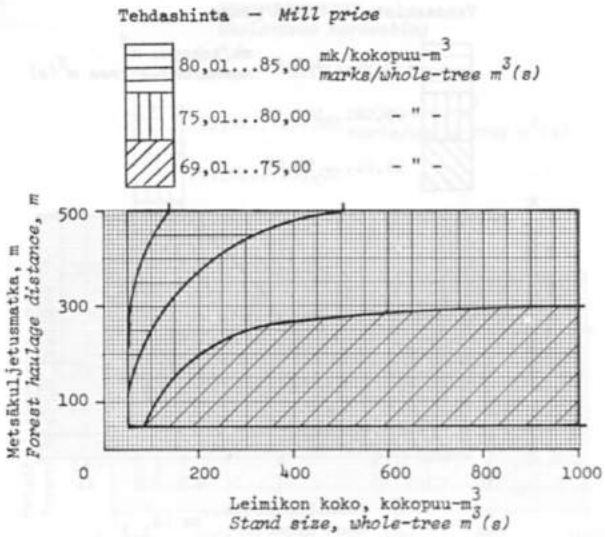
4 PIENPUURAAKA-AINEEN TEHDASHINTA

4.1 Vajaatuottoiset lehtipuumetsät

4.1.1 Avohakkuu

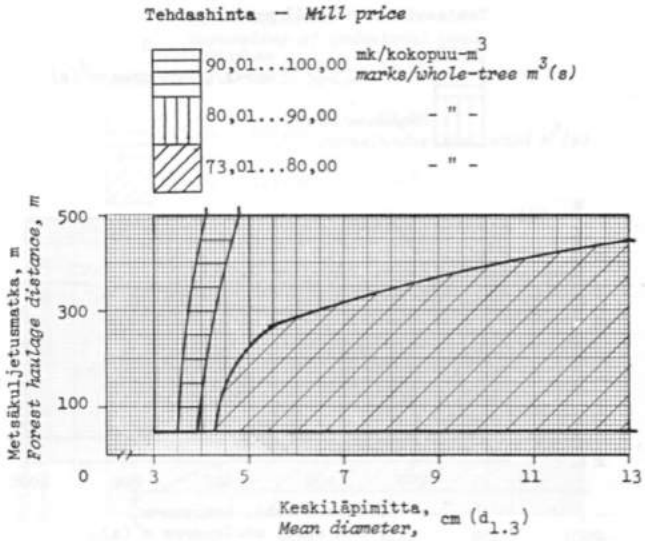
Kuten luvussa 2.4 (s. 14 js.) esitettiin, on tehdashintaa koskevissa laskelmissa halvimman korjuuketjun mukaisiin korjuukustannuksiin lisätty kaukokuljetuskustannukset sekä leimikon ainespuuosuuden ja lisäraaka-aineosuuden kantohinta. Kokopuuraaka-aineen tehdashintoja koskevien tutkimustulosten osalta on huomattava, että ainespuun kantohinta on laskettu leimikon koko teoreettiselle ainespuuosuudelle eri leimikkotyypeissä. Käytännössä ainespuun kantohinta voidaan maksaa vain korjuuvaiheessa talteen saadulle ainespuun määrälle, joka on valmistettavan tavaralajin ja leimikon puuston koon mukaan teoreettista ainespuun määrää pienempi. Kokopuuraaka-aineen tehdashintaa koskevat kustannusluvut ovat näin ollen eräänlaisia yläarvoja ja käytännössä on mahdollista päästä niitä jonkin verran alhaisemmilla kustannuksilla.

Vajaatuottoisten lehtipuumetsien keskimääräisiä avohakkuuolosuhteita kuvaavan leimikon 1 tehdashinta kaukokuljetusmatkan ollessa 70 km on esitetty kuvassa 16. Tehdashinta vaihtelee viivoitetun alueen mukaisissa olosuhteissa 69 mk:sta 85 mk:aan kokopuu-m^3:ä kohti.



Kuva 16. Kokopuuraaka-aineen tehdashinta. Leimikkotyyppi: vajaatuottoinen lehtipuumetsä, avohakkuu. Olosuhteet: kaukokuljetusmatka 70 km, leimikon tiheys 45 runkopuu-m^3/ha, puuston keskiläpimitta 5.7 cm ($d_{1.3}$) (0.015 runkopuu-m^3), ainespuun osuus 34 %

Fig. 16. Mill price of whole-tree raw material. Type of marked stand: unproductive hardwoods forest, clear cutting. Conditions: long-distance transport distance 70 km, stand density 45 stemwood m^3(s)/hectare, mean diameter of growing stock 5.7 cm ($d_{1.3}$) [0.015 stemwood m^3(s)], share of industrial wood 34 %



Kuva 17. Puuston koon vaikutus kokopuuraaka-aineen tehdashintaan. Leimikkotyyppi: vajaatuottoinen lehtipuumetsä, avohakkuu. Olosuhteet: kaukokuljetusmatka 70 km, leimikon tiheys 45 runkopuu-m^3/ha, leimikon koko 100 kokopuu-m^3

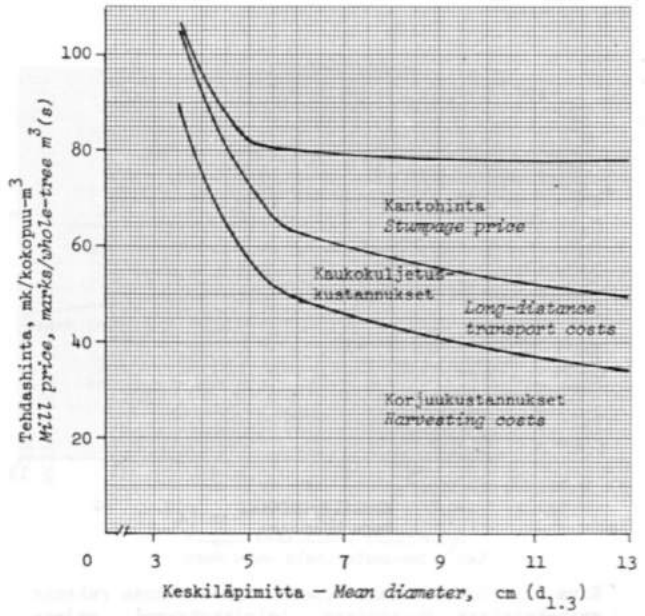
Fig. 17. Effect of the size of the growing stock on the mill price of whole-tree raw material. Type of marked stand: unproductive hardwoods forest, clear cutting. Conditions: long-distance transport distance 70 km, stand density 45 stemwood m^3(s)/hectare, stand size 100 whole-tree m^3(s)

Puuston koon vaikutus kokopuuraaka-aineen tehdashintaan on esitetty kuvassa 17 ja tehdashinnan rakenne erikokoisissa puustoissa kuvassa 18. Kustannustaso säilyy erikokoisissa puustoissa likimäärin vakiona puuston keskiläpimitan suurentuessa 5 cm:stä 13 cm:iin, sillä leimikon ainespuuosuuden kasvu ja siitä maksettava kantohinta nostavat tehdashintaa korjuukustannusten laskua vastaavalla tavalla. Puuston keskiläpimitan jäädessä noin 5 cm:ä pienemmäksi kokopuuraaka-aineen tehdashinta alkaa nousta jyrkästi korjuukustannusten nousun vuoksi.

4.1.2 Harvennushakkuu

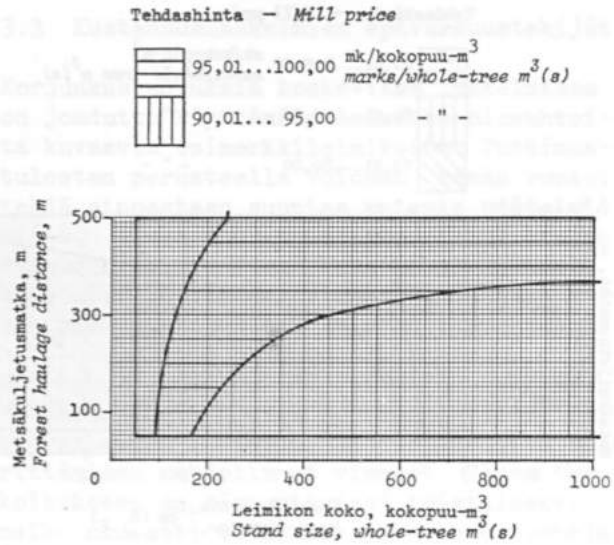
Vajaatuottoisten lehtipuumetsien keskimääräisiä harvennushakkuuolosuhteita kuvaavasta leimikosta hankitun kokopuuraaka-aineen tehdashinta on esitetty kuvassa 19. Kustannustaso vaihtelee 70 km:n kaukokuljetusmatkalla viivoitetun alueen mukaisissa leimikonkokoluokissa ja metsäkuljetusmatkoilla 90 mk:sta 100 mk:aan kokopuu-m^3 kohti.

Puuston koon vaikutus kokopuuraaka-aineen tehdashintaan on esitetty kuvassa 20 ja



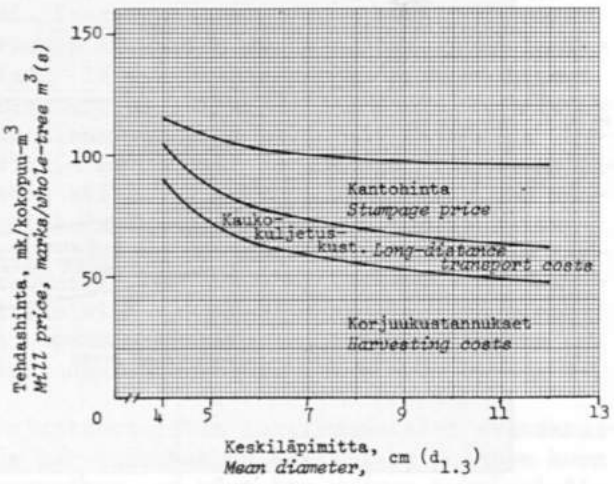
Kuva 18. Kokopuuraaka-aineen tehdashinnan rakenne erikokoisissa puustoissa. Leimikkotyyppi: vajaatuottoinen lehtipuumetsä, avohakkuu. Olosuhteet: kaukokuljetusmatka 70 km, metsäkuljetusmatka 300 m, leimikon tiheys 45 runkopuu-m^3/ha, leimikon koko 100 kokopuu-m^3

Fig. 18. Structure of the mill price of whole-tree raw material in growing stocks of different sizes. Type of marked stand: unproductive hardwoods forest, clear cutting. Conditions: long-distance transport distance 70 km, forest haulage distance 300 m, stand density 45 stemwood m^3(s)/hectare, stand size 100 whole-tree m^3(s)



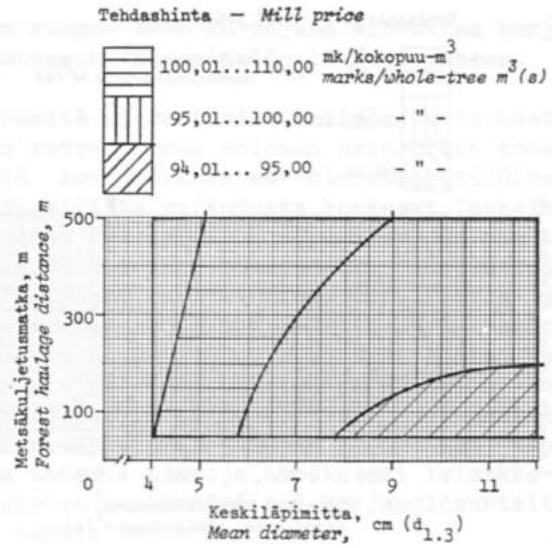
Kuva 19. Kokopuuraaka-aineen tehdashinta. Leimikkotyyppi: vajaatuottoinen lehtipuumetsä, harvennushakkuu. Olosuhteet: kaukokuljetusmatka 70 km, leimikon tiheys 45 runkopuu-m^3/ha, puuston keskiläpimitta 6.0 cm ($d_{1.3}$) (0.018 runkopuu-m^3), ainespuun osuus 52 %

Fig. 19. Mill price of whole-tree raw material. Type of marked stand: unproductive hardwoods forest, thinning. Conditions: long-distance transport distance 70 km, stand density 45 stemwood m^3(s)/hectare, mean diameter of growing stock 6.0 cm ($d_{1.3}$) [0.018 stemwood m^3(s)], share of industrial wood 52 %



Kuva 21. Kokopuuraaka-aineen tehdashinnan rakenne erikokoisissa puustoissa. Leimikkotyyppi: vajaatuottoinen lehtipuumetsä, harvennushakkuu. Olosuhteet: kaukokuljetusmatka 70 km, metsäkuljetusmatka 300 m, leimikon tiheys 45 runkopuu-m^3/ha, leimikon koko 100 kokopuu-m^3

Fig. 21. Structure of the mill price of whole-tree raw material in growing stocks of different sizes. Type of marked stand: unproductive hardwoods forest, thinning. Conditions: long-distance transport distance 70 km, forest haulage distance 300 m, stand density 45 stemwood m^3(s)/hectare, stand size 100 whole-tree m^3(s)



Kuva 20. Puuston koon vaikutus kokopuuraaka-aineen tehdashintaan. Leimikkotyyppi: vajaatuottoinen lehtipuumetsä, harvennushakkuu. Olosuhteet: kaukokuljetusmatka 70 km, leimikon tiheys 45 runkopuu-m^3/ha, leimikon koko 100 kokopuu-m^3

Fig. 20. Effect of the size of the growing stock on the mill price of whole-tree raw material. Type of marked stand: unproductive hardwoods forest, thinning. Conditions: long-distance transport distance 70 km, stand density 45 stemwood m^3(s)/hectare, stand size 100 whole-tree m^3(s)

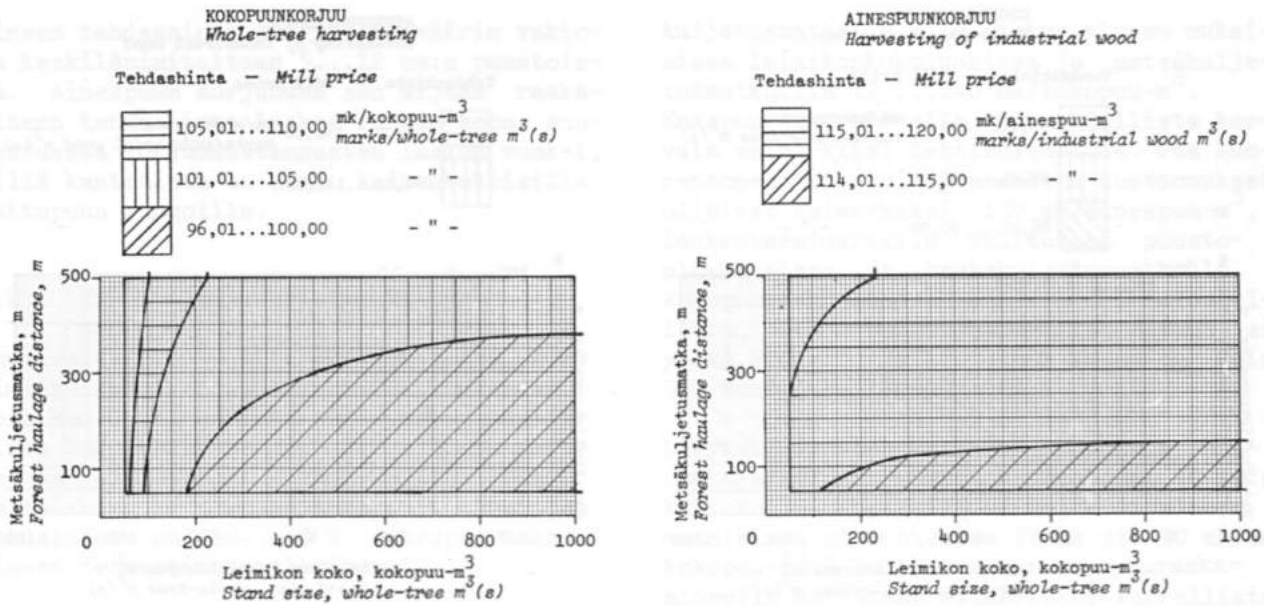
tehdashinnan rakenne eri läpimittaluokissa kuvassa 21. Puuston koon ja metsäkuljetusmatkan pituuden mukaan kustannustaso vaihtelee laskelmaan valituissa olosuhteissa 94 mk:sta 110 mk:aan kokopuu-m^3:ä kohti. Kun muuttuvaksi tekijäksi otetaan pelkästään keskiläpimitta, tehdashinta säilyy likimäärin vakiona keskiläpimitaltaan 5... 12 cm:n puustoissa.

4.2 Ensiharvennusmetsät

4.2.1 Mänty- ja lehtipuuvaltainen leimikko

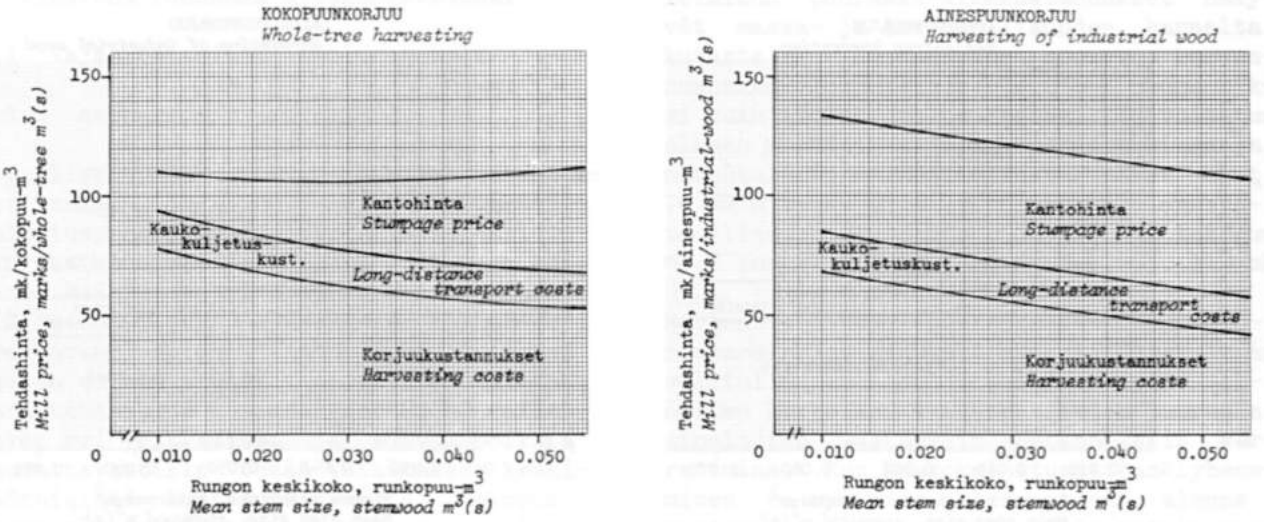
Keskimääräisiä korjuuolosuhteita kuvaavan leimikon 1 tehdashinta on esitetty edullisinta kokopuumenetelmää ja ainespuumenetelmää käytettäessä kuvassa 22. Esimerkkileimikon puusto-olosuhteissa kokopuuraaka-aine on tehdashinnaltaan 10...15 % ainespuuraakaainetta halvempaa. Suurimmillaan raakaainelajien välinen tehdashintojen ero on suurissa leimikoissa ja lyhyillä metsäkuljetusmatkoilla.

Rungon koon vaikutus kokopuu- ja ainespuuraaka-aineiden tehdashintoihin näkyy kuvasta 23. Samoin kuin vajaatuottoisten lehtipuumetsien hakkuissa kokopuuraaka-



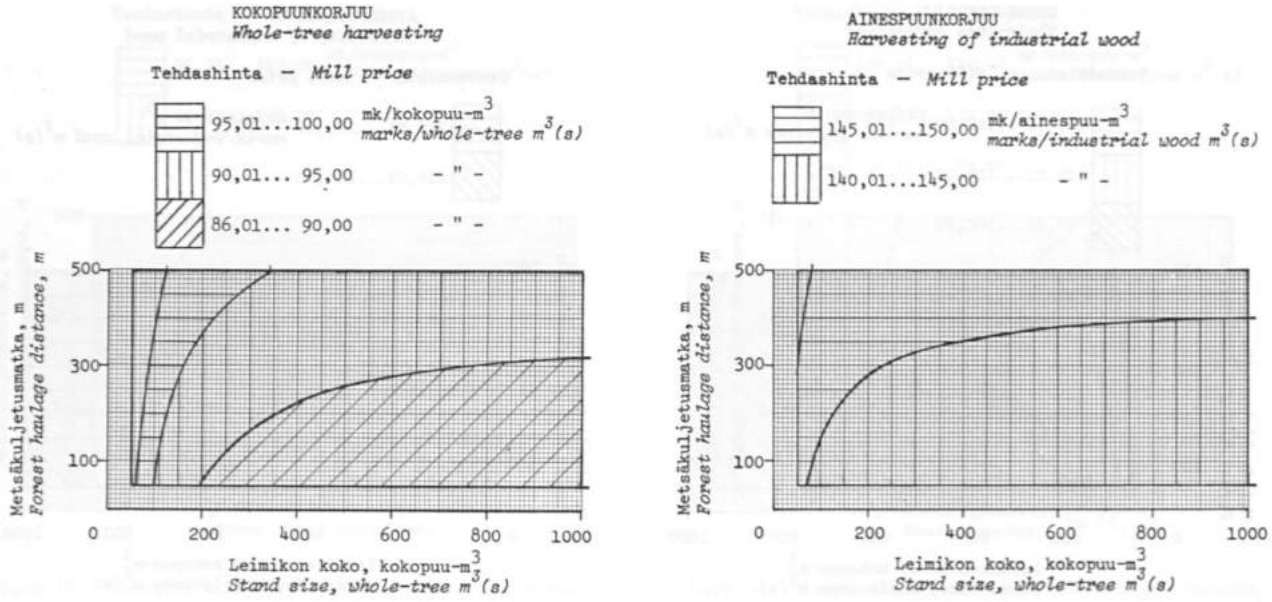
Kuva 22. Kokopuu- ja ainespuuraaka-aineen tehdashinta. Leimikkotyyppi: ensiharvennusmetsä, mänty- ja lehtipuuvaltainen leimikko. Olosuhteet: kaukokuljetusmatka 70 km, leimikon tiheys 20 runkopuu-m^3/ha, rungon keskikoko 0.036 runkopuu-m^3, ainespuun osuus 59 %

Fig. 22. Mill price of whole-tree and industrial wood raw material. Type of marked stand: first-thinning forest, stand dominated by pines and hardwoods. Conditions: long-distance transport distance 70 km, stand density 20 stemwood m^3(s)/hectare, mean stem size 0.036 stemwood m^3(s), share of industrial wood 59 %



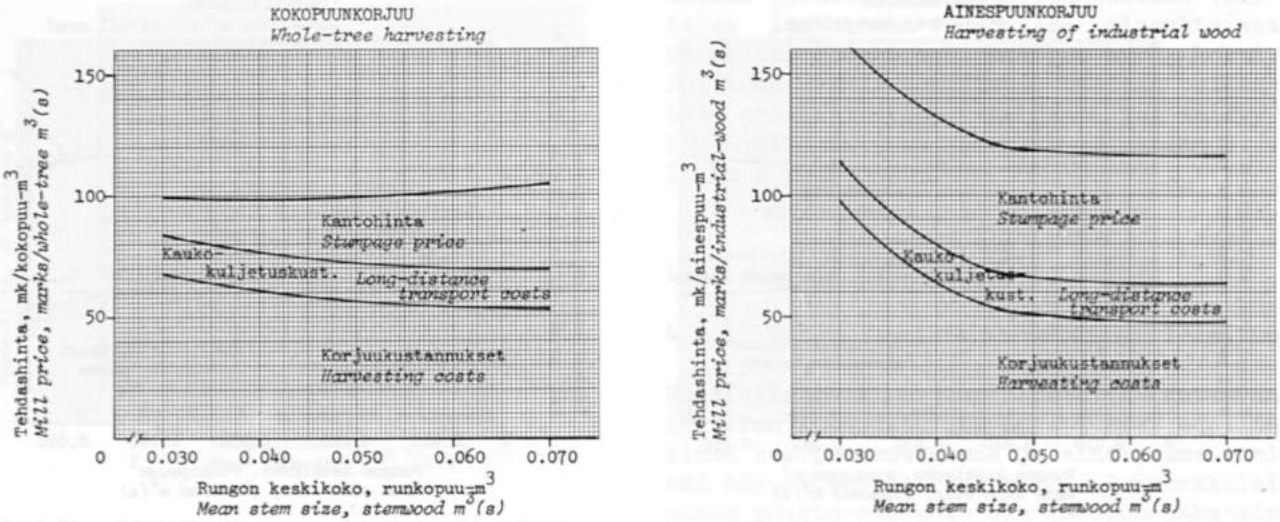
Kuva 23. Kokopuu- ja ainespuuraaka-aineen tehdashinnan rakenne erikokoisissa puustoissa. Leimikkotyyppi: ensiharvennusmetsä, mänty- ja lehtipuuvaltainen leimikko. Olosuhteet: kaukokuljetusmatka 70 km, metsäkuljetusmatka 300 m, leimikon tiheys 20 runkopuu-m^3/ha, leimikon koko 100 kokopuu-m^3

Fig. 23. Structure of the mill price of whole-tree and industrial wood raw material in growing stocks of different sizes. Type of marked stand: first-thinning forest, stand dominated by pines and hardwoods. Conditions: long-distance transport distance 70 km, forest haulage distance 300 m, stand density 20 stemwood m^3(s)/hectare, stand size 100 whole-tree m^3(s)



Kuva 24. Kokopuu- ja ainespuuraaka-aineen tehdashinta. Leimikkotyyppi: ensiharvennusmetsä, kuusivaltainen leimikko. Olosuhteet: kaukokuljetusmatka 70 km, leimikon tiheys 20 runkopuu-m^3/ha, rungon keskikoko 0.035 runkopuu-m^3, ainespuun osuus 32 %

Fig. 24. Mill price of whole-tree and industrial wood raw material. Type of marked stand: first-thinning forest, spruce-dominated stand. Conditions: long-distance transport distance 70 km, stand density 20 stemwood m^3(s)/hectare, mean stem size 0.035 stemwood m^3(s), share of industrial wood 32 %



Kuva 25. Kokopuu- ja ainespuuraaka-aineen tehdashinnan rakenne erikokoisissa puustoissa. Leimikkotyyppi: ensiharvennusmetsä, kuusivaltainen leimikko. Olosuhteet: kaukokuljetusmatka 70 km, metsäkuljetusmatka 300 m, leimikon tiheys 20 runkopuu-m^3/ha, leimikon koko 100 kokopuu-m^3

Fig. 25. Structure of the mill price of whole-tree and industrial wood raw material in growing stocks of different sizes. Type of marked stand: first-thinning forest, spruce-dominated stand. Conditions: long-distance transport distance 70 km, forest haulage distance 300 m, stand density 20 stemwood m^3(s)/hectare, stand size 100 whole-tree m^3(s)

aineen tehdashinta säilyy likimäärin vakiona keskiläpimitaltaan 5...12 cm:n puustoissa. Ainespuun korjuussa sen sijaan raaka-aineen tehdashinta laskee rungon koon suurentuessa korjuukustannusten laskun vuoksi, sillä kantohinta on sama kaikenkokoisilla kuitupuun rungoilla.

4.2.2 Kuusivaltainen leimikko

Kuusivaltaisten ensiharvennusmetsien keskimääräisiä korjuuolosuhteita kuvaavan leimikon 1 tehdashinta on esitetty edullisinta kokopuumenetelmää ja ainespuumenetelmää käytettäessä kuvassa 24. Kuusivaltaisessa leimikossa kokopuuraaka-aineen tehdashinta on 30...40 % ainespuuraaka-aineen tehdashintaa alhaisempi.

Puuston koon vaikutus tehdashintoihin näkyy kuvasta 25. Samoin kuin muissa leimikkotyypeissä kokopuuraaka-aineen tehdashinta säilyy likimäärin vakiona erikokoisissa puustoissa. Ainespuun korjuussa tehdashinta sen sijaan nousee melko jyrkästi korjuukustannusten nousun vuoksi, kun rungon keskikoko jää 0.040...0.050 runkopuu-m^3:ä pienemmäksi.

5 PIENPUUN PUURAAKA-AINEKUSTANNUKSET

5.1 Vajaatuottoiset lehtipuumetsät

5.1.1 Avohakkuu

Lopulliset pienpuun puuraaka-ainekustannukset saadaan, kun tehdashintaan lisätään jalostusprosessin edellyttämän esikäsittelyn kustannukset sekä lisäksi otetaan huomioon esikäsittelyssä tuleva raaka-ainehäviö ja lopullisen raaka-aineen käyttöarvo. Seuraavien esimerkkilaskelmien tulosten osalta on erityisesti pidettävä mielessä, että tehdaspään kustannusperusteet vaihtelevat eri yrityksissä ja voivat poiketa huomattavastikin tämän tutkimuksen keskimääräisistä kustannusluvuista. Kokopuuraaka-aineen käyttöarvoa eri prosesseissa ei tunneta vielä tarkoin, joten keskimääräistenkin kustannuslukujen osalta käsityksiä saatetaan joutua tarkistamaan.

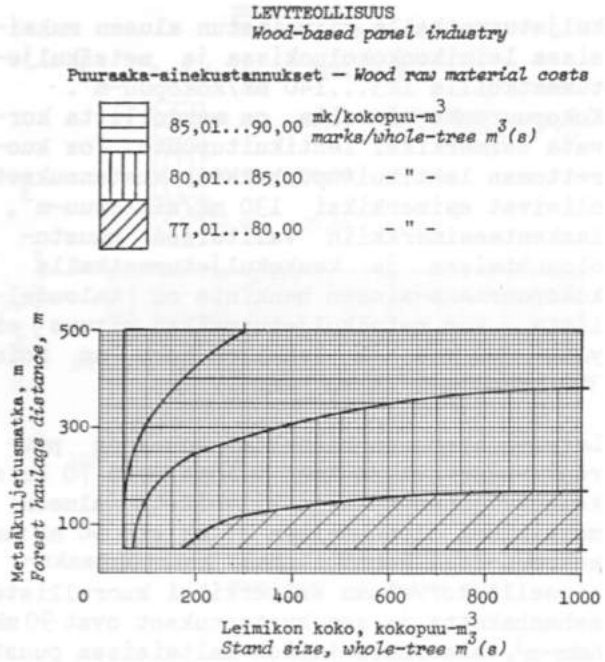
Vajaatuottoisten lehtipuumetsien keskimääräisiä avohakkuuolosuhteita kuvaavan leimikon puuraaka-ainekustannukset massa- ja levyteollisuuden kannalta näkyvät kuvasta 26. Massateollisuudessa käytettynä puuraaka-ainekustannukset ovat 70 km:n kaukokuljetusmatkalla viivoitetun alueen mukaisissa leimikonkokoluokissa ja metsäkuljetusmatkoilla 123...140 mk/kokopuu-m^3. Kokopuuraaka-aineella on mahdollista korvata esimerkiksi lehtikuitupuuta. Jos kuorettoman lehtikuitupuuhakkeen kustannukset olisivat esimerkiksi 130 mk/ainespuu-m^3, laskentaesimerkkiin valituissa puusto-olosuhteissa ja kaukokuljetusmatkalla kokopuuraaka-aineen hankinta on taloudellista, kun metsäkuljetusmatkan pituus ei ylitä 200 m:ä ja leimikon koko on noin 300 kokopuu-m^3:ä suurempi.

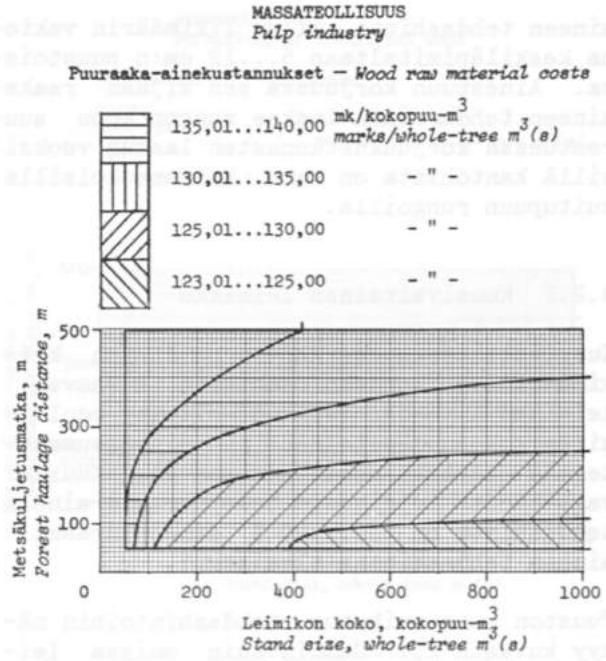
Levyteollisuuden kannalta kokopuun puuraaka-ainekustannukset vaihtelevat 70 km:n kaukokuljetusmatkalla viivoitetun alueen mukaisissa olosuhteissa 77 mk:sta 90 mk:aan kokopuu-m^3:ä kohti. Jos kokopuuraaka-aineella korvataan esimerkiksi kuorellista sahanhaketta ja sen kustannukset ovat 90 mk/hake-m^3, esimerkkileimikon kaltaisissa puusto-olosuhteissa ja alle 70 km:n kaukokuljetusmatkalla kokopuunkorjuu on taloudellista lähes kaikilla kuvassa näkyvillä metsäkuljetusmatkoilla ja leimikonkokoluokissa.

5.1.2 Harvennushakkuu

Vajaatuottoisten lehtipuumetsien keskimääräisiä harvennushakkuuolosuhteita kuvaavan leimikon puuraaka-ainekustannukset näkyvät massa- ja levyteollisuuden kannalta kuvasta 27. Kustannukset nousevat harvennushakkuuolosuhteissa 20...30 % suuremmiksi kuin avohakkuuolosuhteissa. Viivoitetun alueen mukaisissa leimikonkokoluokissa ja metsäkuljetusmatkoilla kustannukset ovat 70 km:n kaukokuljetusetäisyydellä massateollisuuden kannalta 156...170 mk kokopuu-m^3:ä kohti ja levyteollisuudessa 100...110 mk.

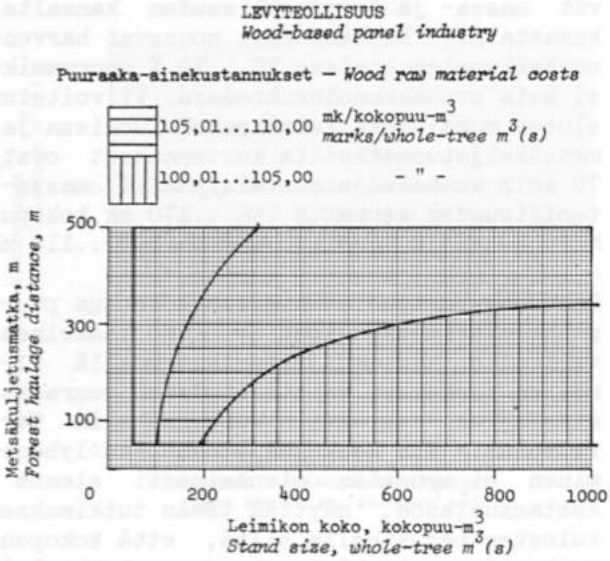
Harvennushakkuuolosuhteissa kokopuun puuraaka-ainekustannukset nousevat laskelmaan valitulla kaukokuljetusetäisyydellä ilmeisen korkeiksi vaihtoehtoisten puuraaka-ainelajien vastaaviin kustannuksiin verrattuina. Kun kaukokuljetusmatkan lyheneminen ei myöskään olennaisesti alenna kustannustasoa, näyttää tämän tutkimuksen tulosten perusteella siltä, että kokopuuraaka-aineen hankinta harvennushakkuuleimikoista on vielä monessa tapauksessa epätaloudellista. Päätelmiä tehtäessä on kuitenkin huomattava, että laskelmissa käytetyn leimikon ainespuuosuuden määritysmenetelmän vuoksi kuvassa 27 esitetyt yksikkökustannukset kuvaavat puuraaka-ainekustannusten ylätasoa esimerkkileimikon kaltaisissa puusto-olosuhteissa.

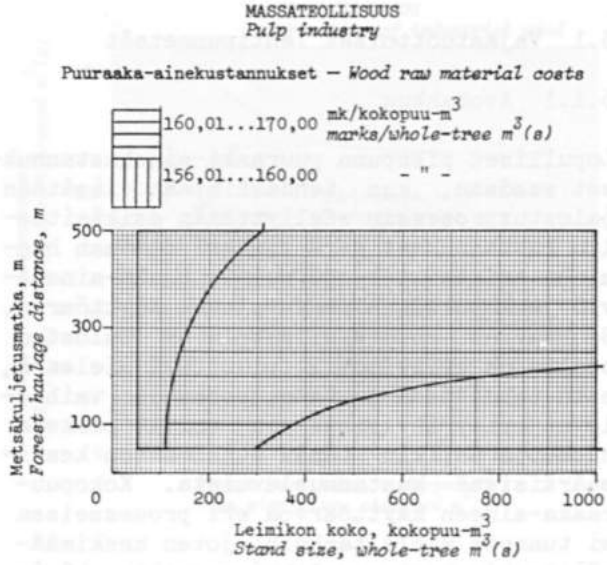




Kuva 26. Pienpuun puuraaka-ainekustannukset. Leimikkotyyppi: vajaatuottoinen lehtipuumetsä, avohakkuu. Olosuhteet: kaukokuljetusmatka 70 km, leimikon tiheys 45 runkopuu-m^3/ha, puuston keskiläpimitta 5.7 cm ($d_{1.3}$) (0.015 runkopuu-m^3)

Fig. 26. Wood raw material costs of small-sized timber. Type of marked stand: unproductive hardwoods forest, clear cutting. Conditions: long-distance transport distance 70 km, stand density 45 stemwood m^3(s)/hectare, mean diameter of growing stock 5.7 cm ($d_{1.3}$) [0.015 stemwood m^3(s)]





Kuva 27. Pienpuun puuraaka-ainekustannukset. Leimikkotyyppi: vajaatuottoinen lehtipuumetsä, harvennushakkuu. Olosuhteet: kaukokuljetusmatka 70 km, leimikon tiheys 45 runkopuu-m^3/ha, puuston keskiläpimitta 6.0 cm($d_{1.3}$) (0.018 runkopuu-m^3)

Fig. 27. Wood raw material costs of small-sized timber. Type of marked stand: unproductive hardwoods forest, thinning. Conditions: long-distance transport distance 70 km, stand density 45 stemwood m^3(s)/hectare, mean diameter of growing stock 6.0 cm ($d_{1.3}$) [0.018 stemwood m^3(s)]

5.2 Ensiharvennusmetsät

5.2.1 Mänty- ja lehtipuuvaltainen leimikko

Kokopuumenetelmän ja ainespuumenetelmän keskinäistä edullisuutta ensimmäisessä harvennuksessa koskevat laskelmat on tehty pelkästään massateollisuutta koskevia kustannusperusteita käyttäen, koska tavallista kuitupuuta ei juuri käytetä levyteollisuuden raaka-aineena. Kuvan 28 esimerkkilaskelmassa on käytetty samaa leimikkoa, jolle laskettiin raaka-aineen tehdashinta. Kaukokuljetusmatkan pituus on samoin 70 km.

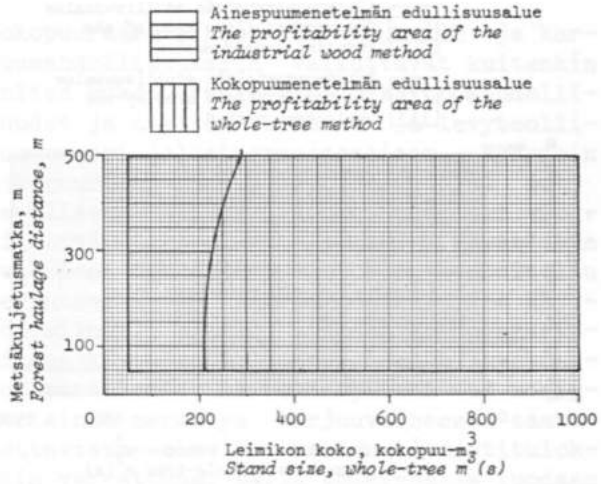
Taulukon 4 (s. 15) keskimääräisten kustannusperusteiden mukaan leimikosta l korjatun kokopuuraaka-aineen käyttöarvoksi tulee 80 %. Tällä kokopuuraaka-aineen käyttöarvolla ainespuumenetelmä on kokopuumenetelmää edullisempi kaikissa leimikonkokoluokissa ja kaikilla metsäkuljetusmatkoilla. Laskentatulos on kuitenkin hyvin herkkä kokopuuraaka-aineen käyttöarvon muutoksille. Jos kokopuuraaka-aineen käyttöarvoksi katsotaan seulonnan ja puhdistuksen jälkeen 90 % ainespuuraaka-aineen käyttöarvosta, kokopuumenetelmä on ainespuumenetelmää edullisempi metsäkuljetusmatkan pituuden mukaan 200...300 kokopuu-m^3:ä suuremmissa leimikoissa. Kokopuuraaka-aineen 100 %:n käyttöarvolla kokopuumenetelmä on ainespuumenetelmää edullisempi kaikissa leimikonkokoluokissa ja kaikilla metsäkuljetusmatkoilla.

Rungon koon vaikutus kokopuumenetelmän ja ainespuumenetelmän keskinäiseen edullisuuteen näkyy kuvasta 29. Kokopuuraaka-aineen 80 %:n käyttöarvolla ainespuumenetelmä on kokopuumenetelmää edullisempi kaikilla kuvassa esitetyillä rungonkokoalueilla. Kokopuuraaka-aineen 90 %:n käyttöarvolla kokopuumenetelmä on ainespuumenetelmää edullisempi rungon keskikoon jäädessä noin 0.030 runkopuu-m^3:ä pienemmäksi. Käyttöarvon paraneminen 100 %:iin nostaa kokopuumenetelmän edullisuusalueen noin 0.045 runkopuu-m^3:n rungonkokoluokkaan asti.

5.2.2 Kuusivaltainen leimikko

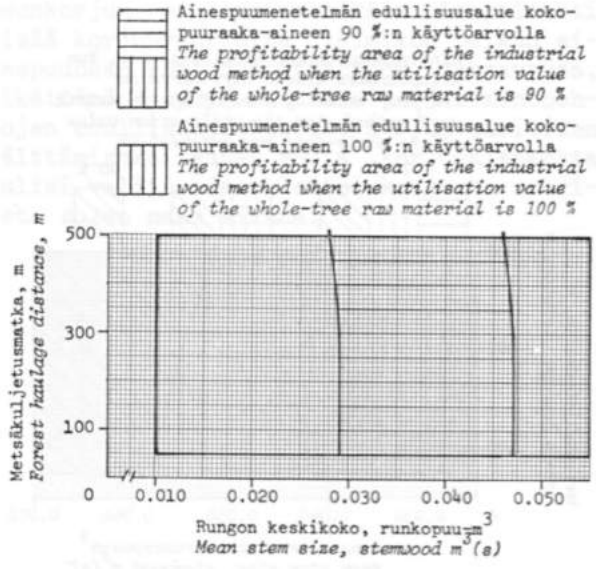
Kokopuumenetelmän ja ainespuumenetelmän keskinäinen edullisuus kuusivaltaisessa leimikossa on esitetty kuvassa 30. Laskelmassa on käytetty saman leimikon l puustoolosuhteita kuin raaka-aineen tehdashintaa laskettaessa. Kaukokuljetusmatka on 70 km.

Taulukon 4 (s. 15) kustannusperusteiden mukaan laskelmassa käytetystä esimerkkileimi-



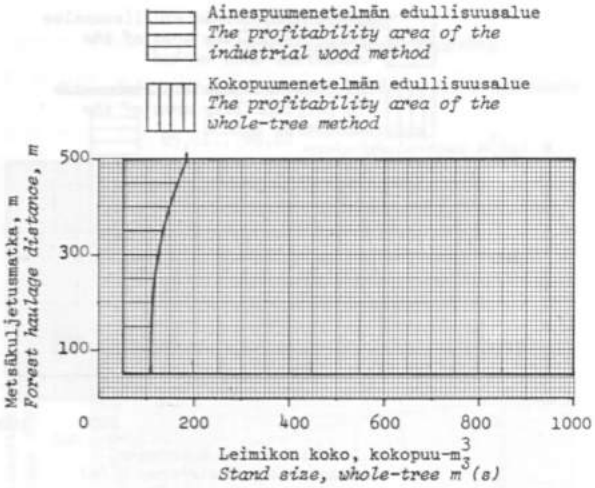
Kuva 28. Kokopuu- ja ainespuumenetelmän edullisuus kokopuuraaka-aineen 90 %:n käyttöarvolla, massateollisuus. Leimikkotyyppi: ensiharvennusmetsä, mänty- ja lehtipuuvaltainen leimikko. Olosuhteet: kaukokuljetusmatka 70 km, leimikon tiheys 20 runkopuu-m^3/ha, rungon keskikoko 0.036 runkopuu-m^3

Fig. 28. Profitability of the whole-tree and industrial wood method when the utilisation value of the whole-tree raw material is 90 %, pulp industry. Type of marked stand: first-thinning forest, stand dominated by pines and hardwoods. Conditions: long-distance transport distance 70 km, stand density 20 stemwood m^3(s)/hectare, mean stem size 0.036 stemwood m^3(s)



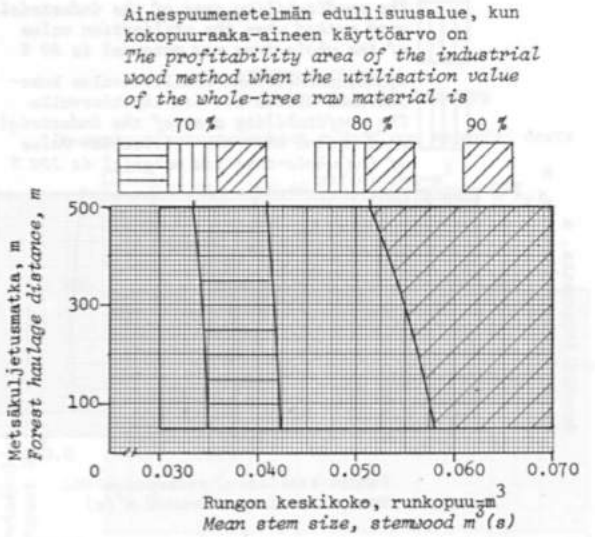
Kuva 29. Rungon koon vaikutus kokopuu- ja ainespuumenetelmän edullisuuteen kokopuuraaka-aineen eri käyttöarvoilla, massateollisuus. Leimikkotyyppi: ensiharvennusmetsä, mänty- ja lehtipuuvaltainen leimikko. Olosuhteet: kaukokuljetusmatka 70 km, leimikon tiheys 20 runkopuu-m^3/ha, leimikon koko 100 kokopuu-m^3

Fig. 29. Effect of stem size on the profitability of whole-tree and industrial wood methods with different whole-tree raw material utilisation values, pulp industry. Type of marked stand: first-thinning forest, stand dominated by pines and hardwoods. Conditions: long-distance transport distance 70 km, stand density 20 stemwood m^3(s)/hectare, stand size 100 whole-tree m^3(s)



Kuva 30. Kokopuu- ja ainespuumenetelmien edullisuus kokopuuraaka-aineen 70 %:n käyttöarvolla, massateollisuus. Leimikkotyyppi: ensiharvennusmetsä, kuusivaltainen leimikko. Olosuhteet: kaukokuljetusmatka 70 km, leimikon tiheys 20 runkopuu-m^3/ha, rungon keskikoko 0.035 runkopuu-m^3

Fig. 30. Profitability of the whole-tree and industrial wood method when the utilisation value of the whole-tree raw material is 70 %, pulp industry. Type of marked stand: first-thinning forest, spruce-dominated stand. Conditions: long-distance transport distance 70 km, stand density 20 stemwood m^3(s)/hectare, mean stem size 0.035 stemwood m^3(s)



Kuva 31. Rungon koon vaikutus kokopuu- ja ainespuumenetelmien edullisuuteen kokopuuraaka-aineen eri käyttöarvoilla, massateollisuus. Leimikkotyyppi: ensiharvennusmetsä, kuusivaltainen leimikko. Olosuhteet: kaukokuljetusmatka 70 km, leimikon tiheys 20 runkopuu-m^3/ha, leimikon koko 100 kokopuu-m^3

Fig. 31. Effect of stem size on the profitability of whole-tree and industrial wood methods with different whole-tree raw material utilisation values, pulp industry. Type of marked stand: first-thinning forest, spruce-dominated stand. Conditions: long-distance transport distance 70 km, stand density 20 stemwood m^3(s)/hectare, stand size 100 whole-tree m^3(s)

kosta korjatun kokopuuraaka-aineen käyttöarvoksi muodostuu 70 % ainespuuraaka-aineeseen verrattuna. Tällä kokopuuraaka-aineen käyttöarvolla kokopuumenetelmä on ainespuumenetelmää edullisempi korjuutapa metsäkuljetusmatkan pituuden mukaan 100...200 kokopuu-m^3:ä suuremmissa leimikoissa. Samoin kuin mänty- ja lehtipuuvaltaisissa leimikoissa laskentatulos on hyvin herkkä kokopuuraaka-aineen käyttöarvon muutoksille. Esimerkiksi kokopuuraaka-aineen 60 %:n käyttöarvolla ainespuumenetelmä on kokopuumenetelmää edullisempi korjuutapa kaikissa leimikonkokoluokissa ja kaikilla metsäkuljetusmatkoilla. Vastaavasti kokopuuraaka-aineen 80 %:n käyttöarvolla kokopuumenetelmä tulee edullisemmaksi vaihtoehdoksi.

Rungon koon vaikutus korjuuvaihtoehtojen keskinäiseen edullisuuteen on esitetty kuvassa 31. Leimikon kooksi on oletettu laskelmassa 100 kokopuu-m^3 ja leimikon tiheydeksi 20 runkopuu-m^3/ha. Kokopuumenetelmän kilpailukyky ainespuumenetelmään verrattuna on kuusivaltaisissa leimikoissa selvästi parempi kuin mäntyvaltaisissa. Kokopuuraaka-aineen 70 %:n käyttöarvolla kokopuumenetelmä on ainespuumenetelmää edullisempi rungon keskikoon jäädessä alle 0.030...0.035 runkopuu-m^3:n. Käyttöarvon paraneminen 90 %:iin lisää kokopuumenetelmän kilpailukykyä jo 0.050 ...0.060 runkopuu-m^3:n rungonkokoalueille metsäkuljetusmatkan pituuden mukaan.

6 PÄÄTELMÄT

Tutkimuksen esimerkkilaskelmien perusteella yritystaloudellisesta näkökulmasta kokopuuna korjuun taloudellisuudesta voidaan epävarmuustekijät huomioon ottaen päätellä seuraavaa.

- Vajaatuottoisista lehtipuumetsistä kokopuumenetelmällä saadaan jo nykyisellä tekniikan tasolla puuraaka-ainekustannuksiltaan kilpailukykyistä raaka-ainetta massa- ja levyteollisuudelle, kun korjuu päästään suorittamaan avohakkuuolosuhteissa.

- Ensiharvennusmetsien kuusivaltaisissa leimikoissa kokopuumenetelmällä hankitun raaka-aineen kustannukset eivät myöskään nouse olennaisesti ainespuumenetelmällä hankitun raaka-aineen kustannuksia suuremmiksi. Kokopuumenetelmää käytettäessä talteen saadun raaka-aineen määrä lisäksi olennaisesti kasvaa ainespuumenetelmään verrattuna.

— Vajaatuottoisten lehtipuumetsien harvennushakkuuolosuhteissa kokopuumenetelmällä korjatun raaka-aineen kustannukset nousevat nykyisin vielä siksi suuriksi, että raaka-aineen hankintaan on syytä suhtautua varauksin. Ensiharvennusmetsien mänty- ja lehtipuuvaltaisissa leimikoissa ainespuumenetelmä näyttää myös vielä kokopuumenetelmää edullisemmalta korjuutavalta.

Kokopuunkorjuuseen perustuvan korjuutekniikan kehittäminen on kuitenkin vielä aivan alussa, joten tuotostason voidaan olettaa kohoavan eri työvaiheissa nopeaa vauhtia. Esimerkkinä mainittakoon kokopuun metsäkuljetus, jossa korjuutekniikkaa kehittämällä on jo saatu aikaan merkittävä tuotostason nousu. Sen sijaan pienpuustojen korjuun kehittäminen ainespuumenetelmällä alkaa olla ihmistyönä tapahtuvan hakkuun osalta loppuun suoritettu eikä merkittävää tuotostason paranemista liene odotettavissa. Tilanne voi tosin muuttua, jos harvennuspuiden käsittelyyn soveltuvia joukkokäsittelylaitteita saadaan kehitettyä. Aikaa myöten kokopuumenetelmän kilpailukyky kuitenkin epäilemättä paranee ja mahdollisesti jo lähivuosien aikana hyvin suuri osa vajaatuottoisista lehtipuumetsistä saadaan kokopuumenetelmän avulla taloudellisesti korjatuksi. Samoin on mahdollista, että kokopuumenetelmä tulee merkittäväksi korjuutavaksi kaikissa ensiharvennusmetsissä. Tämä kehitys edellyttää kuitenkin sitä, että leimikon ainespuuosalle ja lisäraaka-aineosalle maksettavien kantohintojen keskinäinen suhde säilyy nykyisen kaltaisena.

Kokopuuraaka-aineen kustannuksiin ja korjuumahdollisuuksiin vaikuttavat kuitenkin eniten kokopuuraaka-aineen käyttömahdollisuudet ja käyttöarvo massa- ja levyteollisuuden eri jalostusprosesseissa. Nykyisin kokopuuraaka-aineen käyttöarvo jää suhteellisen alhaiseksi ennen muuta sen vuoksi, että raaka-ainetta joudutaan käyttämään vanhoissa tehtaissa, jotka on suunniteltu perinteellisten puuraaka-ainelajien käyttöä silmällä pitäen. Koska kokopuuraaka-aineen käyttömahdollisuuksien ja käyttöarvon parantamisella tehdaspäässä on moninkertainen merkitys korjuuvaiheessa saavutettavissa oleviin rationalisointituloksiin verrattuna, tällä toiminnalla luodaan ennen muuta edellytyksiä lisäraaka-aineen taloudelliselle hankinnalle vielä käyttämättä jäävistä puuvaroista.

Lopullisten päätelmien teko kokopuunkorjuun taloudellisuudesta edellyttää myös eri seurausvaikutusten sisällyttämistä laskelmiin. Tärkein kysymys lienee korjuuvaurioiden välttäminen ensiharvennusmetsien kuusikoissa. Kaikki tässä tutkimuksessa esitetyt kustannustiedot perustuvat ensiharvennusmetsien osalta välivarastohakkurin käyttöön kokopuun haketuksessa. Kokopuunkorjuu ei ilmeisestikään olennaisesti lisää korjuuvaurioita leimikon pelkän ainespuuosan korjuuvaihtoehtoon verrattuna, eikä tämä kysymys muuttane korjuuvaihtoehtojen edullisuussuhteita. Korjuuvaurioiden välttämiseksi ennen muuta korjuuajankohta tulisi valita siten, ettei korjuuta suoriteta sulan maan aikana.

KIRJALLISUUTTA
References

ANDERSSON, STIG 1974. Tillvaratagande av klenvirke, avverkningsavfall och stubbar. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Ekonomi nr 10. Stockholm

GISLERUD, OLAV 1974. Heltreutnyttelse. II Biomasse og biomasseegenskaper hos tynningsvirke av gran, furu, bjørk og or. Summary: Whole Tree Utilisation. II Biomass and Biomass Properties of Trees from Thinnings of Spruce, Pine, Birch, and Alder. Norks institutt for skogforskning, Skogteknologisk avdeling, Rapport 6/74. Ås

-"- 1974. Heltreutnyttelse. V Lagring av heltreflis. Summary: Whole Tree Utilization. V Storing of Whole Tree Chips. Norsk institutt for skogforskning, Skogteknologisk avdeling, Rapport 5/74. Ås

HAKKILA, PENTTI – KALAJA, HANNU – MÄKELÄ, MARKKU 1975. Kokopuunkäyttö pienpuuongelman ratkaisuna. Summary: Full-Tree Utilization as a Solution to the Problem of Small-Sized Trees. Metsäntutkimuslaitos – Institutum Forestale Fenniae, Folia Forestalia 240. Helsinki.

HARSTELA, PERTTI – TERVO, LEO 1975. Männyn taimikon ja riukuasteen metsikön korjuun työn tuotos ja ergonomia. Ihmistyövaltainen kaato ja kasaus sekä kokopuuhaketus, Ennakkotuloksia. Metsäntutkimuslaitos, Metsäteknologian osasto/Suonenjoen koeasema 1975/8. Suonenjoki

-"- 1976. Taimikko- ja risukkopuuta talteen? Metsä ja puu n:o 2. Forssa

HEINO, EERO E. – RUOTSALAINEN, MATTI 1976. Riukuasteisen taimiston käsittelymahdollisuudet vesakkoharvesterilla. Metsätehon seloste 4/1976. Helsinki

JONSSON, YNGVE 1975. Drivningsteknik för helträdsråvaror 1975. En redovisning av tillämpad teknik och kända förhållanden vid projektstarten. Projekt helträdsutnyttjande, Projektgrupp Drivning. Stockholm

JONSSON, YNGVE 1976. Marginalråvaror – nuläge och tendenser. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Ekonomi nr 3. Stockholm

KAHALA, MIKKO 1975. Puutavaran hakkuu ja metsäkuljetus kokopuina Kemihaaran allasalueella. Metsätehon seloste 1/1975. Helsinki

MELKKO, MARKKU 1976. PH 3 -kokopuuhakkuri (PH 3 Whole-Tree Chipper). Metsätehon katsaus – Metsäteho Review 14/1976. Helsinki

MELKKO, MARKKU – SAVOLAINEN, RAIMO 1976. Kokopuuhakkeen kuormaus ja kuljetus välivarastosta (Loading of Whole-Tree Chips and Transport from Upper Landing). Metsätehon katsaus – Metsäteho Review 7/1976. Helsinki

MELKKO, MARKKU – TAIPALE, JUKKA 1975. Marttiinin liukupuomi harvennuspuun korjuussa (Marttiini's Slide Boom for the Harvesting of Thinnings). Metsätehon katsaus – Metsäteho Review 22/1975. Helsinki

MIKKOLA, PERTTI 1972. Metsähukkapuun osuus hakkuupoistumasta Suomessa. Summary: Proportion of Waste Wood in the Total Cut in Finland. Metsäntutkimuslaitos – Institutum Forestale Fenniae, Folia Forestalia 148. Helsinki

MIKKONEN, ESKO – PELTONEN, JAAKKO – SAVOLAINEN, RAIMO – VESIKALLIO, HEIKKI 1975. Puunkorjuun kehitysennuste 1975–1984. Summary: Development Prognosis for Timber Harvesting in 1975–1984. Metsätehon tiedotus – Metsäteho Report 336. Helsinki

PELTOLA, HANNU 1976. Kokopuuraaka-aineen autokuljetus. Summary: Truck Transport of Whole-Tree Raw Material. Metsätehon tiedotus – Metsäteho Report 340. Helsinki

RUMPUNEN, HARRI 1975. Pieniläpimittaisen lepän kokopuukorjuu. Metsätehon seloste 10/1975. Helsinki

RUOTSALAINEN, MATTI 1976. Korjuu kokopuina viljelymännikön ensimmäisessä harvennuksessa (Whole-Tree Harvesting in the Thinning of Pine Plantations). Metsätehon katsaus — Metsäteho Review 3/1976. Helsinki

TAIPALE, JUKKA 1975. Marttiinin liukupuomi — lisälaite nivelpuomikuormaimiin (Marttiini's Special Boom — Auxiliary Device to Knuckle Boom Loaders). Metsätehon katsaus — Metsäteho Review 8/1975. Helsinki

TUOMOLA, TIMO 1976. Trelan Tree Chipper -kokopuuhakkurin tuotos ja kustannukset välivarastohaketuksessa. Metsäteknologian laudaturtyö. Helsinki

WERNIUS, SAM 1974. Helträdsutnyttjande. Literaturutdrag sammanställda till konferens den 27 mars 1974 av Sam Wernius. Skoghögskolan, Institutionen för skogsteknik — Royal College of Forestry, Department of Operational Efficiency. Sine loco

VUOKILA, YRJÖ 1975. Nuoren istutuskuusikon harvennus puuntuotannollisena ongelmana. Summary: Thinning of Young Spruce Plantations as a Problem of Timber Production. Metsäntutkimuslaitos — Institutum Forestale Fenniae, Folia Forestalia 247. Helsinki

ECONOMICALNESS OF HARVESTING OF WHOLE TREES

By Airi Eskelinen, Markku Melkko and Heikki Vesikallio

S u m m a r y

The task was to study the economicalness of harvesting small-sized timber from unproductive hardwoods forests and first-thinning forests. The potential total raw material volume of unproductive hardwoods forests has been estimated at about 72 million unbarked stemwood m^3 (solid measure). The current harvesting volume of first-thinning forests is approx. 1.3 million unbarked stemwood m^3 (s) per annum. It is estimated that the quantity of timber recovered from first-thinning forests will increase to about 2.0 million unbarked stemwood m^3 (s) yearly by 1985 and to about 5.0 million unbarked stemwood m^3 per annum by the year 2000.

Grey alder stands and white (European) birch stands on swamps are the main groups of unproductive hardwoods forests. Two types of marked stands — clearcutting and thinning stands — are distinguished between in unproductive hardwoods forests on the basis of the cutting method. As marked stand types of first-thinning forests, pine- and hardwoods-dominated stands and spruce-dominated stands were differentiated between in the calculations.

Calculations of the wood raw material obtainable from unproductive hardwoods forests were made in accordance with the whole-tree harvesting technique. Harvesting of small-sized timber from these forests is considered economical if the whole-tree raw material costs are lower than the raw material costs of the alternative wood raw material qualities. As first thinnings are considered necessary for silvicultural reasons alone, the economicalness in the harvesting of first-thinning forests of the traditional harvesting method based on recovery of the industrial wood part of the stand and that of whole-tree harvesting were compared.

In the same way as for the harvesting of unproductive hardwoods forests, the wood raw material costs of whole-tree and industrial wood raw material were used as the criterion of economicalness. In calculating the wood raw material costs, the mill price of the raw material, the costs of the preliminary treatment required by the conversion process and the utilisation value of the raw material after preliminary treatment were taken into consideration.

All the calculations presented in the study were made on the basis of the direct business economic costs of logging. The level of costs and technology in the first half of 1976 was used as the reference period.

The bases of calculation and the computerised system worked out for the calculation of the logging costs are presented in Figures 1...3 and Tables 1...5, pp. 10 ...17.

According to the results, the whole-tree method even at the present level of technology recovers from unproductive hardwoods forests raw material that is competitive in cost for the pulp and wood-based panel industry when the harvesting can be done in clear-cutting conditions.

Nor are the raw material costs of the whole-tree method in the spruce-dominated marked stands of first-thinning forests essentially higher than those of raw material procured by the industrial wood method. In addition, the whole-tree method recovers essentially more raw material than the industrial wood method.

The raw material costs of the whole-tree method in the selective-thinning conditions of unproductive hardwoods forests are in

the present situation so high that the logging of wood raw material in these circumstances must be treated with reserve. The industrial wood method seems to be a more economical harvesting method than the whole-tree system in pine- and hardwoods-dominated first-thinning forests.

It should be noted, however, that the development of whole-tree harvesting technique is still in its infancy and the yield of the different work phases can therefore be expected to rise at a fast rate. Hence, the competitiveness of the whole-tree method will doubtless improve with time and it is possible that a very great proportion of the unproductive hardwoods forests will come in the next few years within the scope of economical harvesting. It is likewise possible that the whole-tree method will be an important harvesting method in all marked-stand types of first-thinning forests.

As regards the possibilities of error in the investigation results, it is especially important to remember that it is impossible at present to achieve the same accuracy in determining whole-tree wood raw material costs as can ordinarily be achieved with industrial wood raw material. In question here is a first indicative estimate which can be complemented and precisioned when further basic data accumulate. The per-mill and per-enterprise variation in cost factors affecting the utilisation and marked-stand conditions of whole-tree raw material is also considerable enough to preclude the application of the average results of this study as such to individual enterprises.

ISBN 951-673-031-0