



KORJUU KOKOPUINA VILJELYMÄNNIKÖN ENSIMMÄISESSÄ HARVENNUKSESSA

Matti Ruotsalainen

Sisällys	Sivu
Tiivistelmä	2
1 Johdanto	3
2 Tutkimuksen tarkoitus ja tutkitut menetelmät	3
3 Tutkimusaineisto ja tutkimusolosuhtetekijät	4
3.1 Hakkuun ja lähikuljetuksen tutkiminen	4
3.2 Puustotiedot	5
4 Tutkimustulokset	8
4.1 Hakkuu	8
4.1.1 Eri työvaiheiden ajanmenekit	8
4.1.2 Ajanmenekkien riippuvuus rungon läpimitasta ja poistuman tiheydestä	9
4.1.3 Hakkuun tuotos	15
4.2 Lähikuljetus	18
4.2.1 Eri työvaiheiden ajanmenekit	18
4.2.2 Tuotokseen vaikuttavat tekijät	20
4.2.2.1 Kuormaus	20
4.2.2.2 Kuormausajo	23
4.2.2.3 Purkaminen	24
4.2.2.4 Tyhjänä- ja kuormattuna-ajo	24
4.2.3 Lähikuljetuksen tuotos	25
4.3 Lähikuljetuksen jäävälle puustolle aiheuttamat vauriot ..	27
4.4 Raaka-ainekertymä	29
5 Yhteenveto	31
Kirjallisuutta	35

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa tarkastellaan viljelymännikön ensimmäisen harvennuksen puunkorjuuta erilaisia välivarastohaketukseen perustuvia kokopuunkorjuuketjuja käyttäen. Lähikuljetusmenetelmät ovat kuormajuonto 20 m:n ja 25 m:n ajouravälein, laahusjuonto ja laahusjuonto Koiviston menetelmällä.

Hakkuun tuotos oli kuormajuontoon perustuvissa korjuuketjuissa 1.6...2.1 m³/h ja laahusjuontoon perustuvissa ketjuissa 2.2...3.5 m³/h tutkimuspalstoilla, joiden puiden keskiläpimitta oli 6...8 cm ja poistuma 1 200... 2 200 runk./ha.

Lähikuljetuksen käyttötuntituotokset olivat keskimääräisellä ajomatkalla, 200 m, menetelmittain 1.7...2.3 m³/h. Tuotos riippuu huomattavassa määrin kuormaustaakan ja kuorman koosta. Lähikuljetuksen tuotosta voidaan parantaa suurentamalla kasoja hakkuussa. Kasaustyön ergonomisia haittavaikutuksia voidaan vähentää oikealla työjärjestyksellä ja työtekniikalla.

Edullisin lähikuljetusmenetelmä tuotoksen kannalta oli kuormajuonto 20 m:n ajouraväliä käytettäessä. Lyhyillä juontomatkoilla voi tulla kysymykseen myös laahusjuonto, varsinkin jos varastotila sallii kuorman purkamisen pudottamalla.

Eri menetelmien välillä ei ollut Koiviston menetelmää lukuun ottamatta merkittäviä eroja vaurioiden syntymisessä. Vauriopuiden määrä jäi noin 5 %:iin jäävän puuston runkoluvusta.

Puuraaka-ainekertymä kasvoi keskimäärin kolminkertaiseksi puutavaralajimenetelmään verrattuna; oksia ja neulasia oli 18...32 % korjatusta puuraaka-ainemäärästä.

Hakkuun osuus oli noin 1/4 ja juonnon 3/4 korjuukustannuksista. Kokopuunkorjuu kuormajuontomenetelmällä 20 m:n ajouravälein oli tutkituissa olosuhteissa metsäpään korjuukustannuksiltaan taloudellisin korjuumenetelmä (puutavaralajimenetelmät mukaan luettuina), kun puuraaka-aineen laadun muutoksia ei otettu huomioon.

Kokopuina korjuun taloudellisuutta arvosteltaessa olisi otettava huomioon koko korjuuketju kannolta tehtaaseen.

1 JOHDANTO

Pieniläpimittaisen puun korjuun tuottavuus laskee jyrkästi läpimitan pienentyessä. Tuottavuuden kohottamiseksi on ryhdytty kokeilemaan kokopuunkorjuuta. Metsäteho tutki kesällä 1975 eräitä välivarastohaketukseen perustuvia kokopuunkorjuuketjuja yhteistyössä Oy W. Rosenlew Ab:n kanssa yhtiön omissa metsissä Ruovedellä. Valmet Oy luovutti käyttöön tutkimuksessa tarvittun metsätraktorin varusteineen.

Hakkuun osalta seurattiin kahden ammattitaitoisen miehen työskentelyä. Hakkuussa käytettiin tavallista moottorisahaa. Lähikuljetus tapahtui Valmet 870 CN -kuormatraktorilla, joka oli varustettu Marttiin liuku-puomikuormaimella ja pienellä puutavarakouralla ja kuormatila jatkokarikoilla. Laahusjuontoa varten traktoriin asennettiin kuormatilaan puristuspankko. Koiviston pystykääntömenetelmässä koura vaihdettiin Pika-prosessorin pihtiin. Kuormatraktorin kuljettaja oli tottunut tavanomaisten puutavaralajien ajoon. Kokopuina juontoa kuljettaja harjoitteli kahden viikon ajan ennen kokeen alkua.

Tämä tutkimus liittyy Pohjoismaiden Neuvoston aloitteesta Norjassa, Ruotsissa, Suomessa ja Tanskassa asianomaisten valtioiden rahoittamina suoritettaviin yhteispohjoismaisiin metsäteknillisiin kehittämistutkimuksiin. Näiden tutkimusten koordinoiva elin on Nordiska Skogsarbetsstudiernas Råd (NSR). Tutkimus kuuluu harvennuksen ja taimiston käsittelyn koneellistamista koskevaan projektiin, jonka johtava maa on Ruotsi.

2 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKITUT MENETELMÄT

Tutkimuksen tarkoituksena on vertailla erilaisia välivarastohaketukseen perustuvia kokopuunkorjuuketjuja. Tätä tarkoitusta varten selvitettiin hakkuun ja lähikuljetuksen ajanmenekit ja niiden rakenne, tuotos sekä tuotoksen riippuvuus eri puustotekijöistä. Tutkimuksen pääpaino oli lähikuljetuksessa. Sen osalta on ollut tarkoitus lisäksi tutkia erilaisten kokopuun varastomuodostelmien vaikutusta purkamisaikaan ja varastotilan tarpeeseen sekä jäävälle puustolle aiheutuneet vauriot eri menetelmissä.

Erilaiset korjuuvaihtoehdot perustuivat Marttiin liukupuomikuormaimella varustetulla metsätraktorilla tapahtuvaan juontoon ja tavallisella moottorisahalla suoritettavaan kaatoon.

Tutkitut korjuumenetelmät olivat seuraavat.

- A Kuormajuonto 20 m:n ajouraväliä käyttäen. Puiden kaato tyvet ajouralle päin, yli 7 m:n puiden katkenta. Ajouralla olleet puut pyrittiin kaatamaan palstalle tai suorimaan siten, etteivät ne haitanneet ajoa. Kasausta kuormaustaakan suuruiseksi kasoiksi.
- B Kuormajuonto 25 m:n ajouraväleihin. Kaato, katkenta ja kasausta kuten edellä.
- C Laahusujoonto puristuspankolla varustetulla metsätraktorilla 20 m:n ajouraväleihin. Kaato ja kasausta kuten edellä, ei katkenta.
- D Laahusujoonto puristuspankolla, kuormaus ns. Koiviston pystykääntömenetelmällä (ks. ELOVAINIO-MELKKO 1975 tai ELOVAINIO 1973). Palstalla olleet puut kaadettiin latvat ajouralle päin siten, että mahdollisimman monta latvaa tuli samaan kasaan. Pienet puut kasattiin näin muodostuneisiin röykkiöihin. Ajouralta tulleet puut kaadettiin ajouran suuntaisiksi, mikäli uralle tulleet puut eivät haitanneet ajoa.

Kasauksella tarkoitetaan tässä tyvien siirtelemistä yhteen sekä kokonaisten puiden tai katkaistujen puunosien siirtämistä kasaan, jota tapahtui tosin verraten vähän.

3 TUTKIMUSAINEISTO JA TUTKIMUSOLOSUHDETEKIJÄT

3.1 Hakkuun ja lähikuljetuksen tutkiminen

Tutkimuskohteet sijaitsivat vuonna 1950 kylvämällä uudistetussa männikössä. Kylvöväli oli ollut 1.5 x 1.5 m; alueella oli suoritettu kylvötuppaiden harvennus ja perkaus.

Hakkuuta tutkittiin aikatutkimuspalstoille sijoitetuilta 5 aarin suuruisilta koealoilta. Kullakin palstalla koealoja oli kaksi eli niitä oli yhteensä 40 aaria. Koealat rajattiin siten, että ajouraa tuli koealalle

samassa suhteessa kuin koko palstalle. Maastoluokka koealoilla oli I. Hakkuun tutkimus suoritettiin puukohtaisena työvaiheittaisena aikatutkimuksena. Aineisto käsitti yhteensä 1 088 puuta, jotka jakautuivat läpimittaluokittain taulukon 1 osoittamalla tavalla. Poistuman runkoluku vaihteli 1 200:sta 2 200 runkoon/ha, kuutiomäärä 28.0:sta 43.7 m³:iin/ha ja keskiläpimitta 7.2 cm:stä 9.6 cm:iin. Runkoluvulla ja yksiköllä runk./ha tarkoitetaan koko korjattavaa puuta. Puuta koskevat mittaustiedot kohdistuvat runko-osaan. Täten m³:llä tarkoitetaan puun runko-osan kuorellista kiintokuutiometrimäärää ellei toisin mainita.

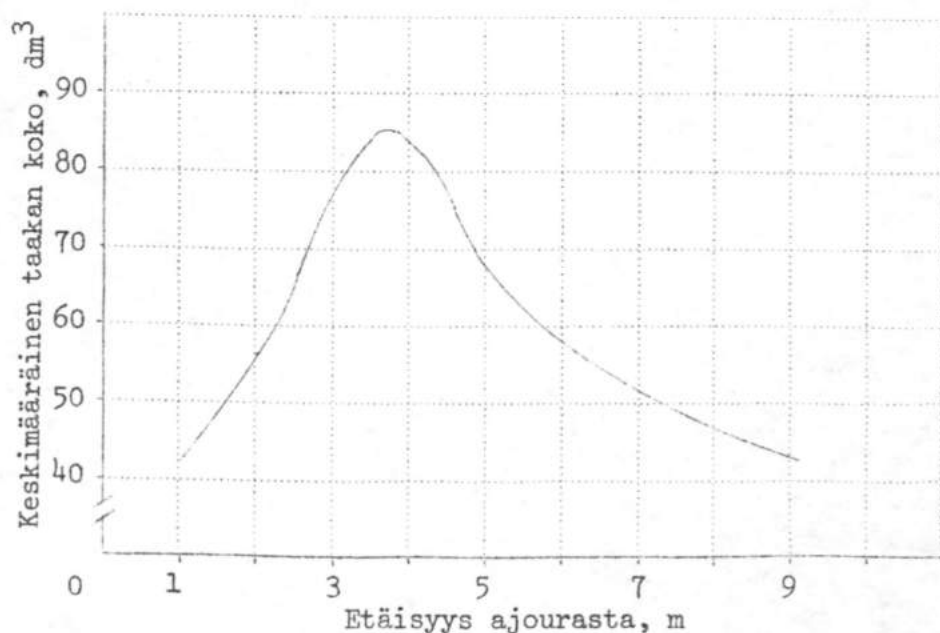
Taulukko 1 Keskimääräinen runkolukujakauma hakkuun tutkimuskoealoilla

Läpimittaluokka, cm	Osuus, % kokonaisrunkoluvusta
4... 5	13.8
6... 8	58.7
9...11	21.4
12...14	4.1
15...18	2.0

Lähikuljetusta tutkittiin palstoilla, joiden keskikoko oli 1.1 ha. Keskimääräinen maastoluokka oli II. Aineisto käsitti yhteensä 76 kuormaa. Tutkimus suoritettiin taakkakohtaisena työvaiheittaisena aikatutkimuksena. Kuormaustaakan koko arvioitiin taakankokoluokittain kolmiluokaisen luokituksen mukaan. Luokan koon täsmentämiseksi kerättiin aineisto, josta mitattiin taakan koko rungoittain sekä taakan kohtisuora etäisyys ajourasta. Aineiston perusteella saatiin taakan koon ja etäisyyden ajourasta välille suhteellisen selvä riippuvuus (kuva 1).

3.2 Puustotiedot

Ennen tutkimuksen alkua poistettava puusto leimattiin. Tavoitteena jätettävälle puustolle oli 1 100...1 200 rungon/ha tiheys. Pienin korjattavaksi tarkoitettu puu määritettiin rinnankorkeudelta 4 cm:ksi. Sekä poistettavasta että jäävästä puustosta mitattiin puustotunnukset pystymittauksella. Tutkimuspalstojen tärkeimmät puustotunnukset selviävät taulukosta 2.



Kuva 1. Taakan kokojakauma kuormausetäisyyden funktiona

Taulukko 2 Lähikuljetuksen tutkimuspalstojen puustotunnukset

Puustotunnukset		A Kuorma-juonto, ajouraväli 20 m	B Kuorma-juonto, ajouraväli 25 m	C Laahus-juonto, ajouraväli 20 m	D Laahus-juonto Koi-viston menetelmällä
Puusto, m ³ runko- puuta/ha	kok. puusto	84.1	86.8	75.6	97.1
	poistuma	38.3	35.3	30.0	45.1
	jäävä	45.8	51.6	45.6	52.0
Runkoluku, kpl/ha	kok. puusto	2910	3360	3170	3530
	poistuma	1750	2090	1800	2180
	jäävä	1160	1270	1370	1350
Ajourilta tulevan puuston osuus, % poistuman	runko-luvusta	36	26	38	29
	kuutio-määrästä	50	31	51	34
Keskiläpimitta, cm	poistuma	7.7	6.7	6.9	7.5
	jäävä	10.3	10.5	9.5	10.3
Keskipituus, m	poistuma	7.8	7.6	7.2	7.8
	jäävä	8.5	8.4	8.3	8.3
Runkopuu-osan kes- kikuutio, dm ³	poistuma	22	17	17	21



Kuva 2. Kuormaustekniikkaa. Taa-
kat nostettiin puiden latvojen yli
kuormaan. 7-metrinen taakkojen
kääntely jäävän puuston lomassa
olisi ollut lähes mahdotonta.
Valok. Metsäteho



Kuva 3. - Jäävä puusto haittaa huomattavasti
taakan ottamista suurimmilta kuormaimen ulot-
tumilta; suurin ottoetäisyys on maanpinnan
tasossa mitattuna 9.3 m. Valok. Metsäteho



Kuva 4. Purkaminen varastolla tapahtui 3...4 m
korkeaan varastopinoon. Valok. Valmet Oy

Poistuman jakautuminen eri läpimittaluokkiin on saman kaltainen kuin hakkuun tutkimuskoealoilla; hiukan vajaa puolet runkoluvusta kuuluu läpimittaluokkaan 6...8 cm. Poikkeuksen tekee menetelmän B tutkimuspalsta, jossa mainitun luokituksen mukaisesti kahteen ensimmäiseen kuuluu noin 38 % kumpaankin. Tämä johtui pieniläpimittaisesta lehtipuusta, jota oli menetelmän B tutkimuspalstalla kokonaisrunkoluvusta 25 %, pääasiassa läpimittaluokassa 4...5 cm. Männyn osuus poistuman puuluvusta oli ko. palstalla siten 1 540 runk./ha ja kokonaispuustosta 2 810 runk./ha. Muuten tutkimuspalstoja voitaneen pitää juonnon tutkimista ajatellen puustotunnuksiltaan homogeenisinä.

Kuljetetun puun määrä selvitettiin myös palstoittain hakekuutioina sekä metsässä että tehtaalla ja sekä tuore- että kuiva-ainepainot tehtaalla.

4 TUTKIMUSTULOKSET

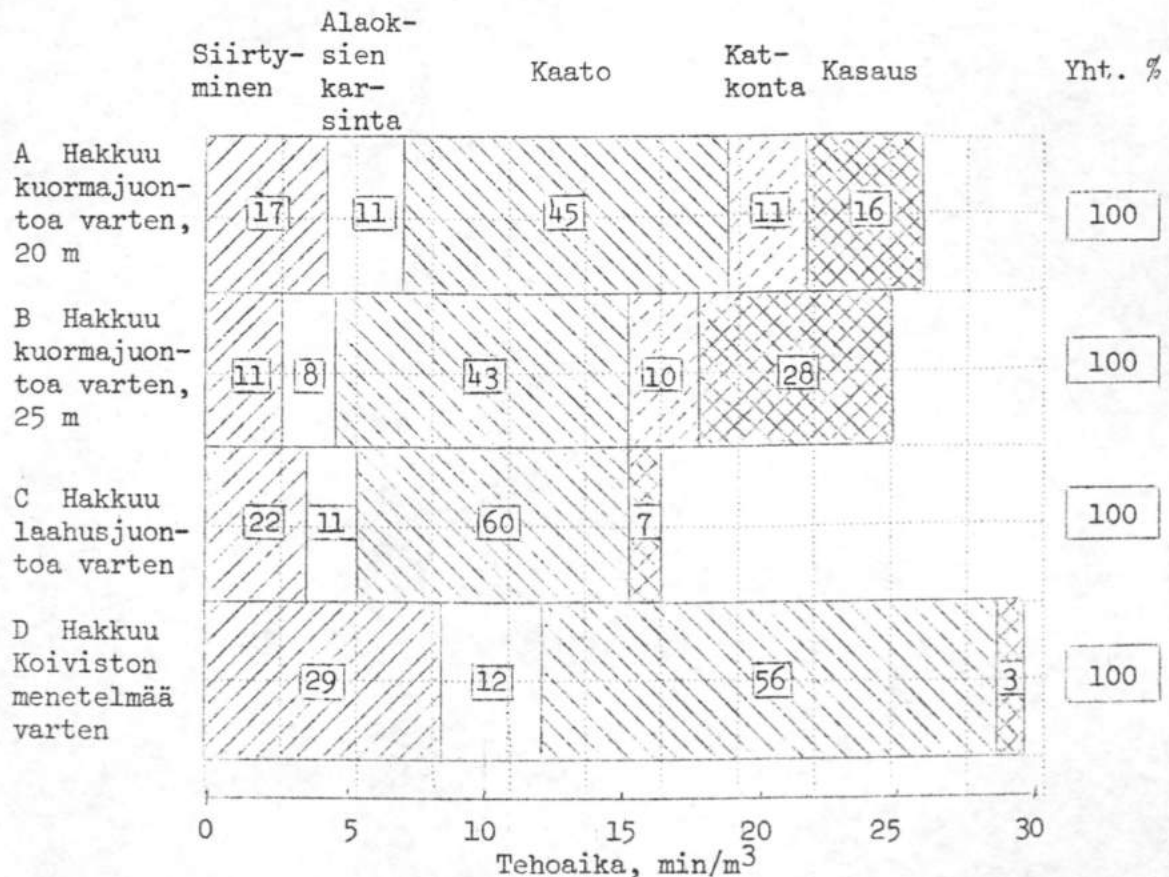
4.1 Hakkuu

4.1.1 Eri työvaiheiden ajanmenekit

Kuvassa 5 esitetään hakkuun työvaiheiden tehoaikojen rakenne menetelmitäin.

Tehoajanmenekit eivät ole täysin verrannolliset keskenään, mikä johtuu puuston eroista. Menetelmän D suuri ajanmenekki johtuneee osittain myös hakkuumiehille epäselväksi jääneestä työskentelytekniikasta ja osittain siitä, että hakkuumenetelmien tutkiminen aloitettiin tämän menetelmän koealoilta. Alaoksien karsintaan on luettu kuuluvaksi myös kaatoa haittaavan puuston raivaus. Siirtymisajat ovat olleet joskus niin vähäisiä, ettei niitä ole voitu erottaa alaoksien karsinta- tai kaatoajoista. Kaato käsittää myös kaatuvan puun ohjaamisen haluttuun suuntaan. Pystyssä oleva puusto vaikeutti kaatovaihetta huomattavasti.

Koealojen pienen koon ja aikatutkimusmenetelmän luonteen vuoksi hakkuussa ei voitu selvittää keskeytysten osuutta kokonaisajankäytöstä. Aikaisempiin tutkimuksiin (KAHALA 1969) nojautuen keskeytysten osuutena työajasta käytetään myöhemmin esitettävissä tuotoslaskelmissa 20 %:a. Tutkimusaineistossa keskeytysten osuudeksi jäi 9.5 % työmaa-ajasta; tästä suurin osa oli lepoa.

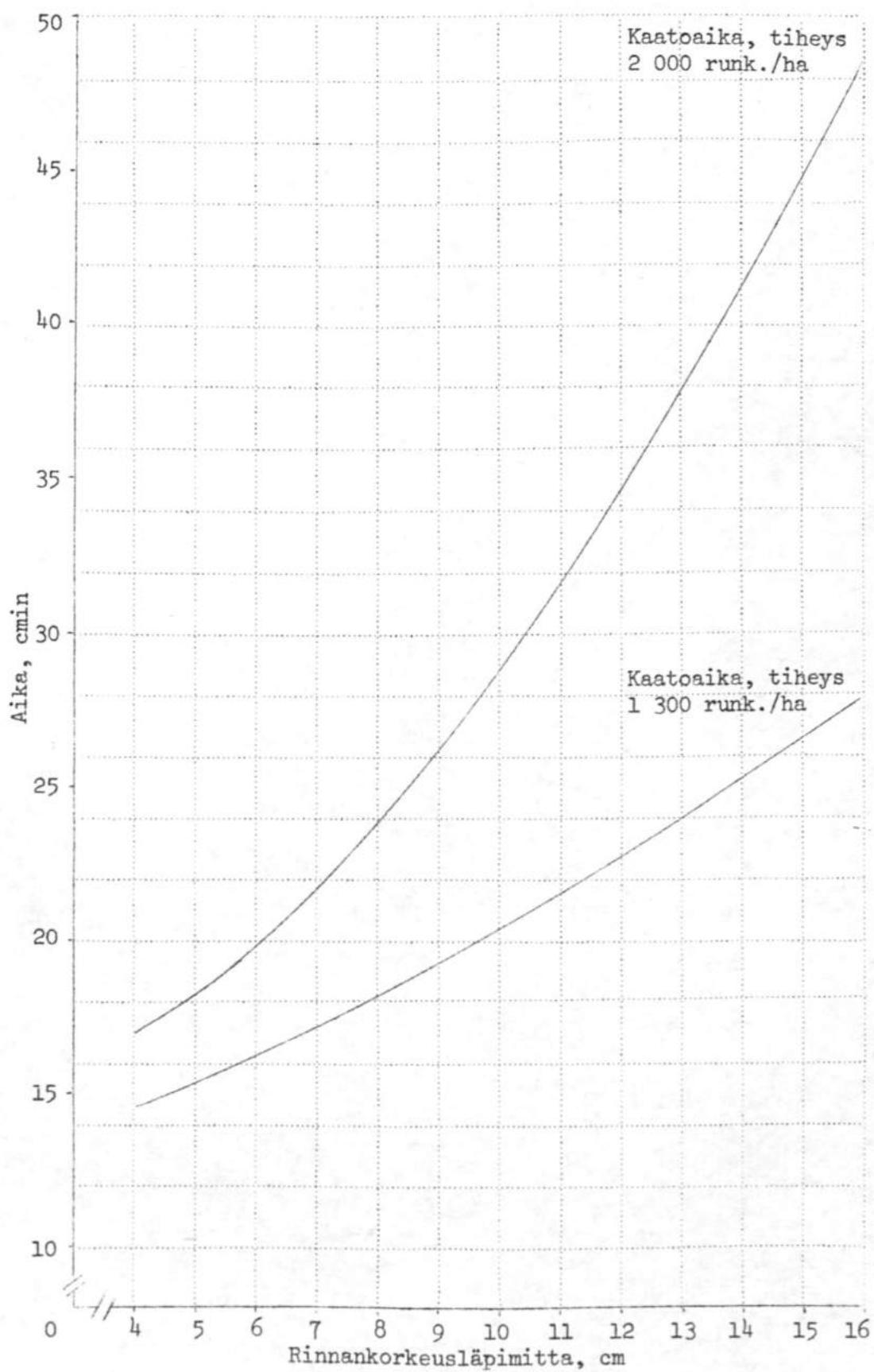


Kuva 5. Hakkuun työvaiheiden tehoaikojen rakenne ja ajanmenekki. "Laatikoissa" olevat luvut ilmaisevat kokonaistehoajan prosentista jakautumista ja patsaan pituus absoluuttisia ajanmenekkejä

4.1.2 Ajanmenekkien riippuvuus rungon läpimitasta ja poistuman tiheydestä

Hakkuun eri työvaiheiden ajanmenekkejä selittävät parhaiten hakattavan puuston koko, jota kuvataan tässä rinnankorkeusläpimitalla, ja tiheys, runkoa/ha. Jälkimmäisellä tekijällä on kahdensuuntaista vaikutusta. Tiheyden kasvaessa siirtymisen tarve vähenee; toisaalta yhdessä jäävän puuston kanssa tiheys muodostaa kaikkia työvaiheita vaikeuttavan tekijän.

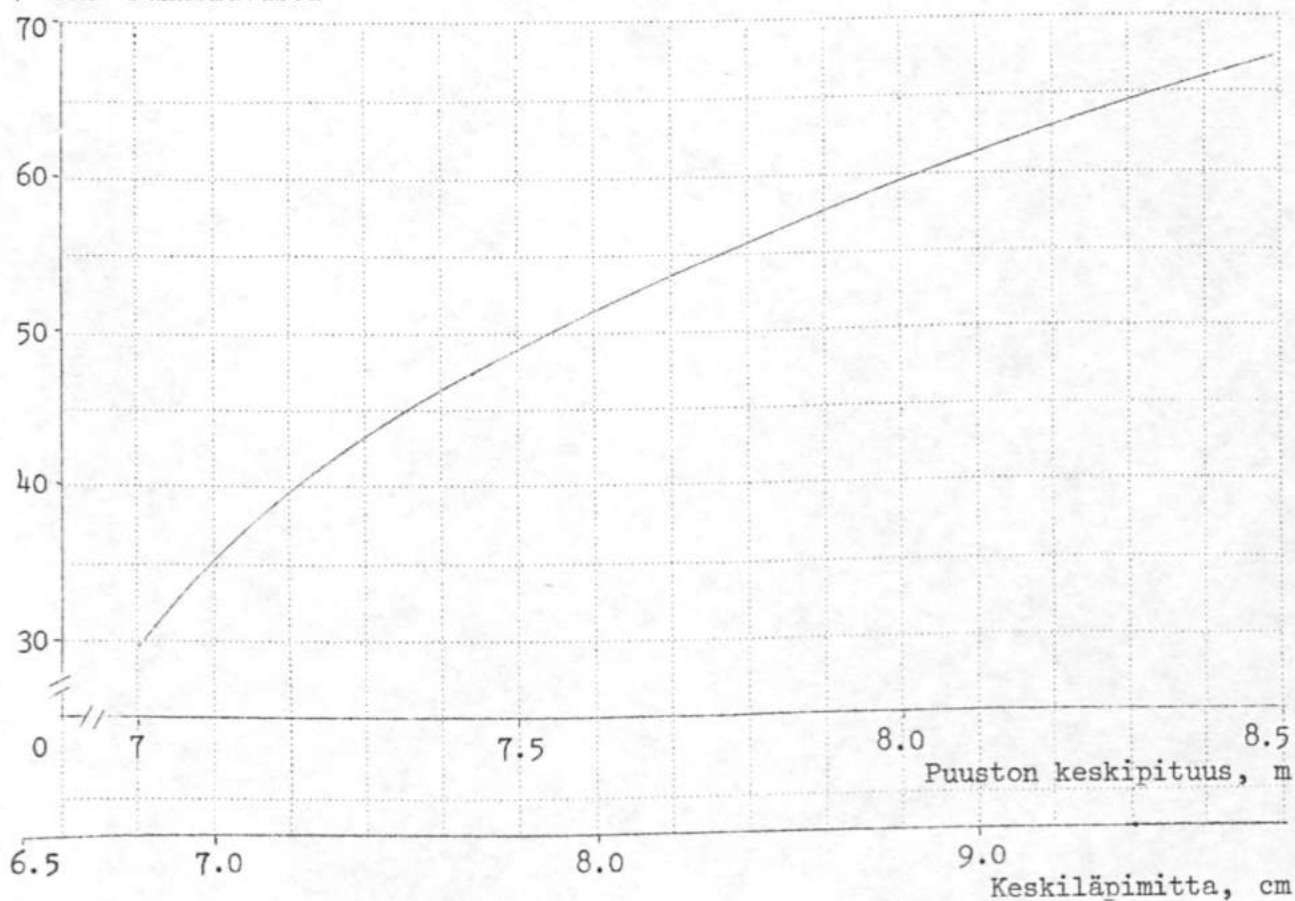
Kaadon ajanmenekin riippuvuus rungon koosta ja poistuman tiheydestä esitetään kuvassa 6. Kaatoaikojen hajontaa on pyritty pienentämään ottamalla selittäjäksi myös poistettavan puuston tiheys. Eri tiheyksiä edustavat tasoitettut aineistot keskittyivät hyvin esitettyjen kahden käyrän ympärille. Ylemmässä ovat mukana tiheydet 1 850...2 200 runk./ha ja alemmassa 1 200...1 450 runk./ha.



Kuva 6. Kaatoajan riippuvuus rinnankorkeuslämpimitasta

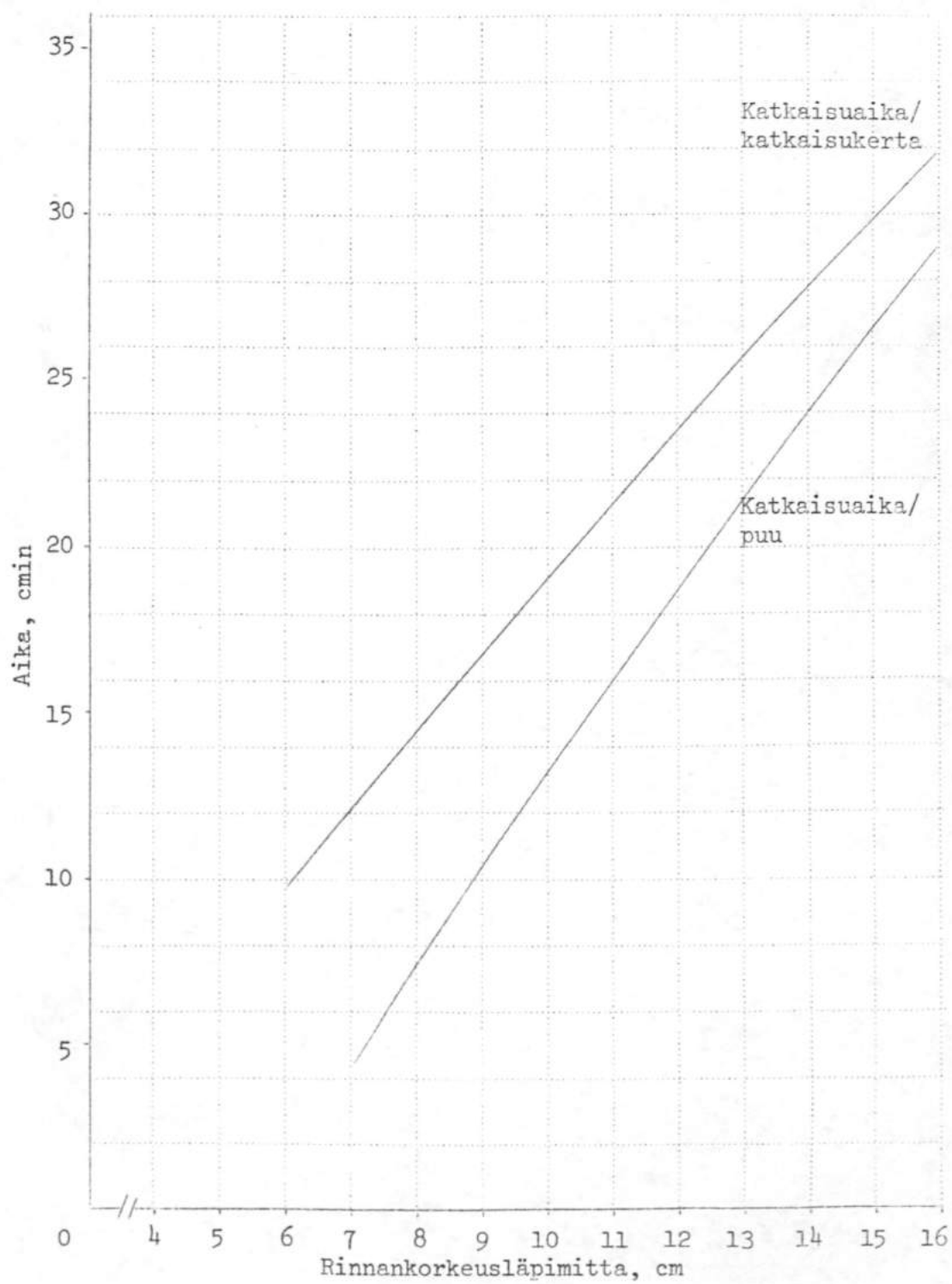
Katkonta tarkoittaa yli 7 m:n puiden katkaisemista kuormajuontoa varten. Puuston koon vaikutus katkaisuaikaan on kahdenlaista. Järeiden kasvaessa katkaisukertaa kohti kuluva aika kasvaa (kuva 8); toisaalta myös katkaistavaksi joutuvien runkojen suhteellinen osuus koko runkoluvusta kasvaa. Kuvassa 7 esitetään tämän tutkimuksen aineiston pohjalta laadittu kuvaaja, joka esittää katkaistavaksi joutuvien puiden suhteellisen osuuden riippuvuutta puuston keskiläpimitasta ja keskipituudesta.

Katkaistavien puiden osuus,
% koko runkoluvusta



Kuva 7. Katkaistavien puiden osuuden riippuvuus puuston keskiläpimitasta ja keskipituudesta

Kuvassa 8 esitetään puukohtaisen katkaisuaajan riippuvuus läpimitasta, joka on saatu käyttämällä kuvassa 7 esitettyjä osuuksia läpimittaluokan katkaisutodennäköisyytenä katkaisutodennäköisyyden ja katkaisukertaa kohti lasketun katkaisuaajan tulona.



Kuva 8. Katkaisuaajan riippuvuus rinnankorkeuslämpimitasta

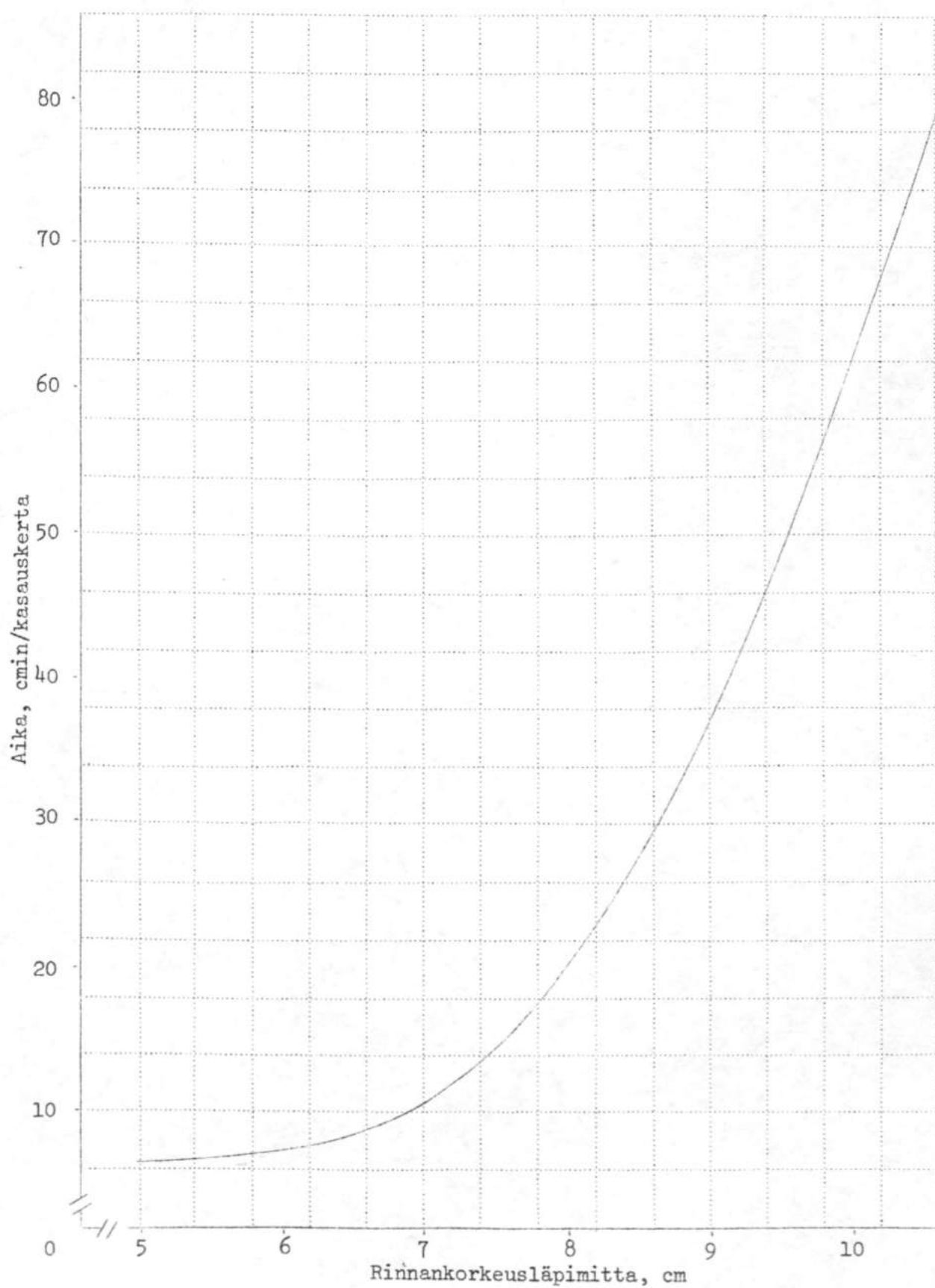
Kasauskertaa kohti laskettu kasauksen ajanmenekki on selvästi riippuvainen kasattavan rungon läpimitasta (kuva 9). Kasattaviksi joutuvien puiden osuus koko hakattavasta runkoluvusta vaihteli menetelmittain. Seuraavasta asetelmasta selviää kasattujen runkojen osuus.

Menetelmä ja ajouraväli	Kasausta, % runkoluvusta
A Hakkuu kuormajuontoa varten, 20 m	37
B Hakkuu kuormajuontoa varten, 25 m	45
C Hakkuu laahusjuontoa varten	19
D Hakkuu Koiviston menetelmää varten	12

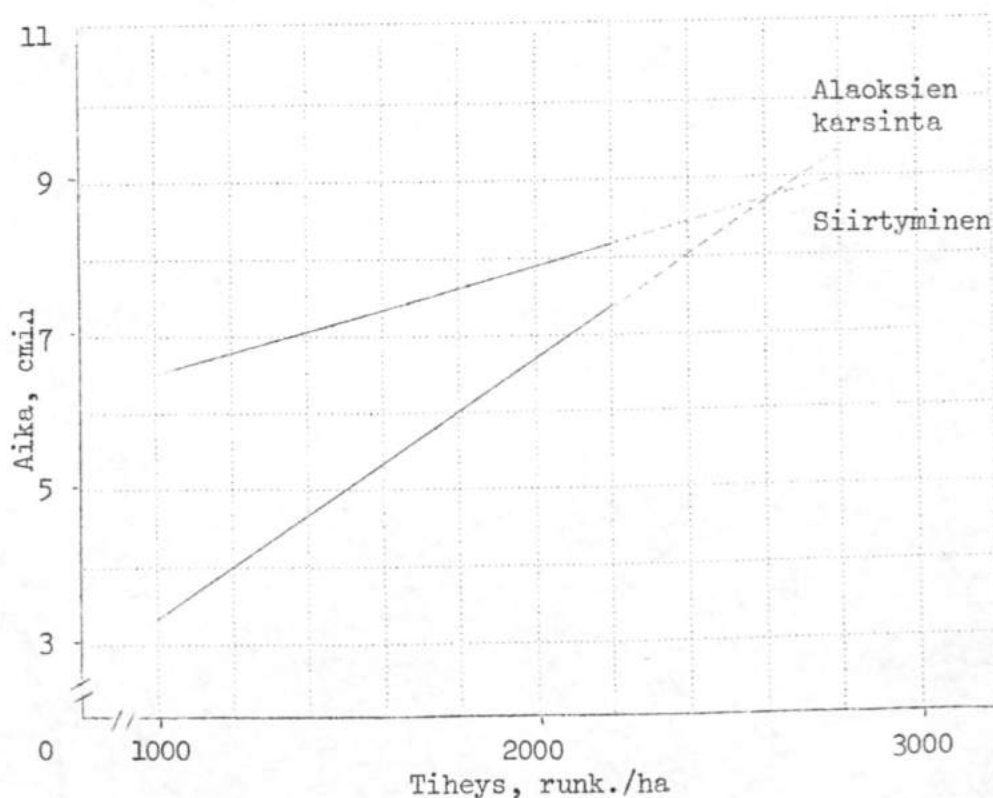
Menetelmän B menetelmää A suurempi kasaustarve johtuu suuremmasta ajo-uravälistä, jonka vuoksi kauimmaisista puita jouduttiin siirtelemään kuormaimen ulottuville.

Koska kasaus tehtiin palstalle, ei kasausmatka vaikuttane kasausaajanmenekkiin. Kasattavaksi joutuneiden puiden läpimittajakauuma vastasi likimain kaikkien hakattujen puiden läpimittajakautumaa menetelmissä A ja B. Eniten poikkesi menetelmä D, jossa kasattaviksi joutuivat vain pieniläpimittaisimmat puut. Tätä läpimittarakenteen eroavuuksista johtuvaa eroa ei ole otettu huomioon myöhemmin esitettävissä tuotoslaskelmissa.

Poistettavan puuston tiheyden vaikutusta eri työvaiheiden ajanmenekkiin ei voitu koealojen vähäisyyden vuoksi selvittää luotettavasti. Alaoksien karsinta-ajat ja siirtymisajat ovat kuitenkin lähinnä riippuvaisia tiheydestä (kuva 10, s. 15). Poistuman tiheyden kasvun vaikutus siirtymiseen on vähäinen, hieman ajanmenekkiä lisäävä. Tämä johtunee siitä, että tiheyden kasvaessa siirtyminen vaikeutuu puuston aiheuttamien siirtymisesteiden vuoksi nopeammin kuin siirtymistarve vähenee. Alaoksien karsintaan tiheyden suureneminen vaikuttaa ajanmenekkiä lisäävästi. Alaoksia karsittiin keskimäärin 1/3:lla hakattavasta puustosta.



Kuva 9. Kasausajan riippuvuus puun läpimitasta

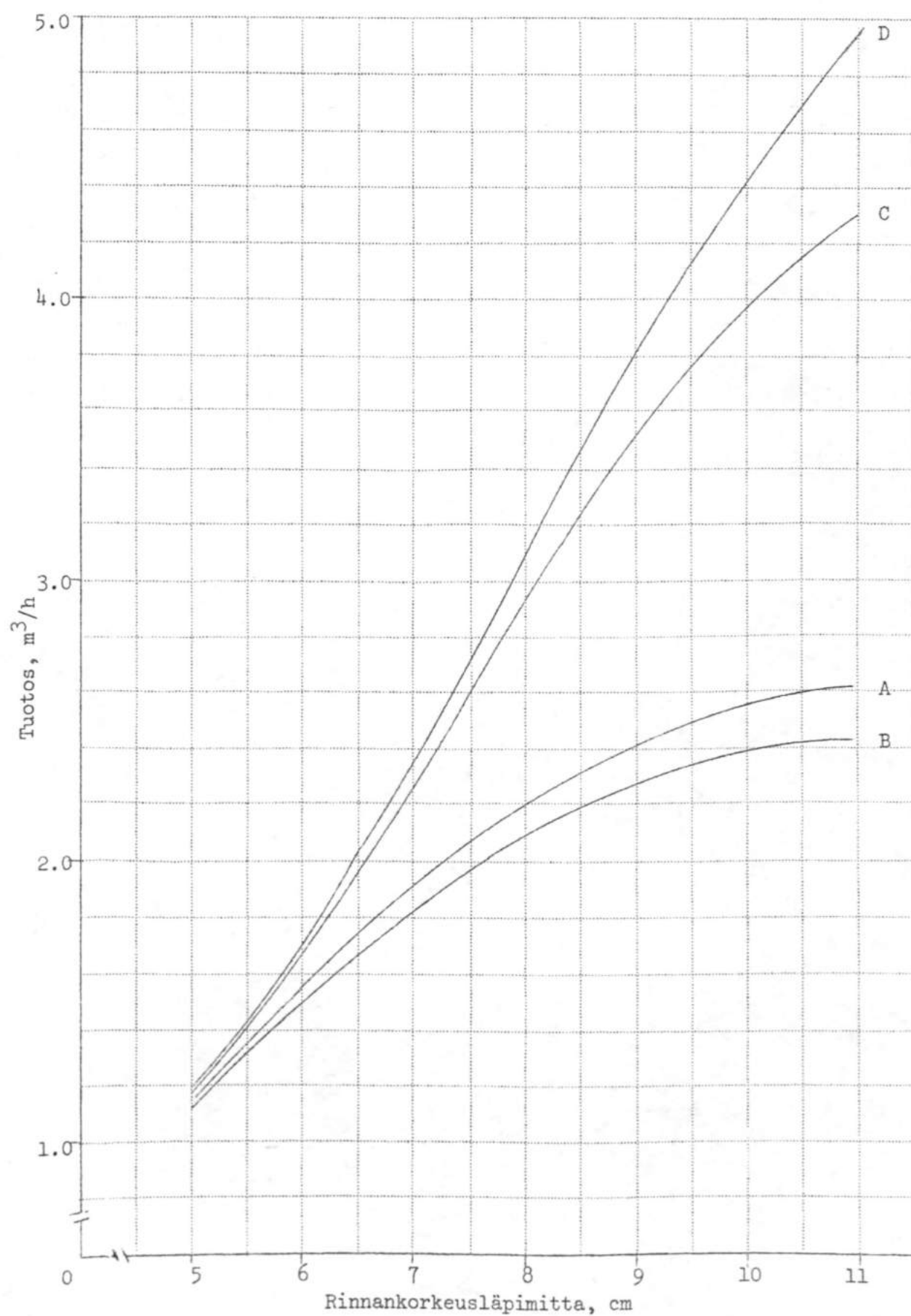


Kuva 10. Siirtymis- ja alaoksien karsinta-ajan riippuvuus poistuman tiheydestä (laskettu kaadettua puuta kohti)

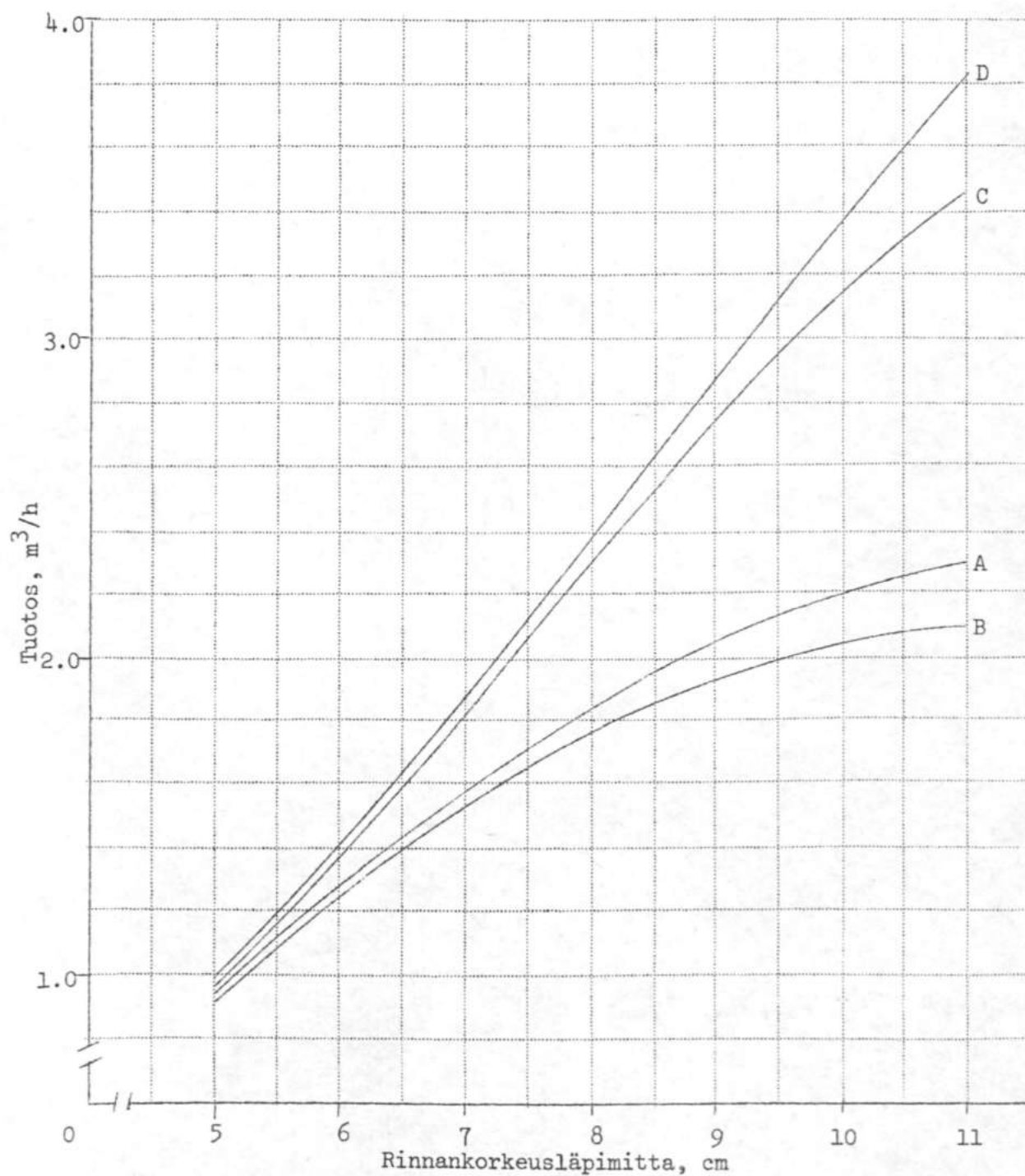
4.1.3 Hakkuun tuotos

Kuvissa 11 a ja 11 b (s. 17) esitetään hakkuun tuotokset rinnankorkeuslöpimitan funktiona ja kuvassa 11 c (s. 18) hehtaari-poistuman funktiona. Viimeksi mainittua laskettaessa on oletettu poistuman läpimittajakauman olevan samanmuotoinen kuin keskimäärin tutkimuspalstoilla. Tuotos on laskettu runkokohtaisia ajanmenekkejä käyttäen erikokoisille puustoille.

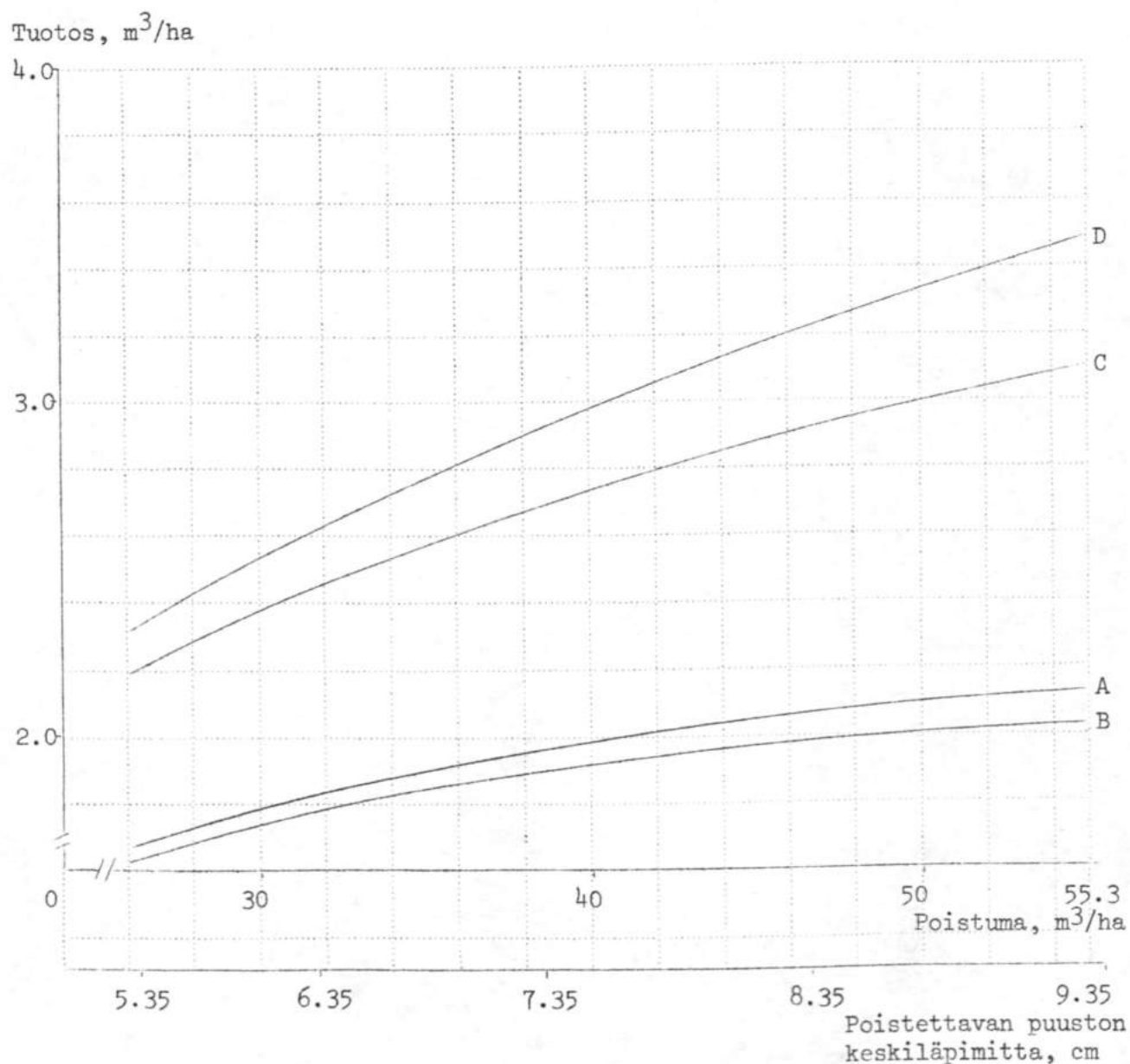
Kuvassa 11 a poistuman tiheys on 1 300 runk./ha ja kuvissa 11 b ja 11 c (s. 17 ja 18) 2 000 runk./ha. Tuotoksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että ne esittävät vain kahden miehen hakkuutyön tuotosten keskiarvoa. Koiviston menetelmässä hakkuusta on saatu korjattua epäselväksi jääneen työskentelytekniikan ajanmenekkiä lisäävä vaikutus.



Kuva 11 a. Hakkuun tuotos rinnankorkeuslāpimitan funktiona. Poistuma 1 300 runk./ha



Kuva 11 b. Hakkuun tuotos rinnankorkeusläpimitan funktiona. Poistuma 2 000 runk./ha



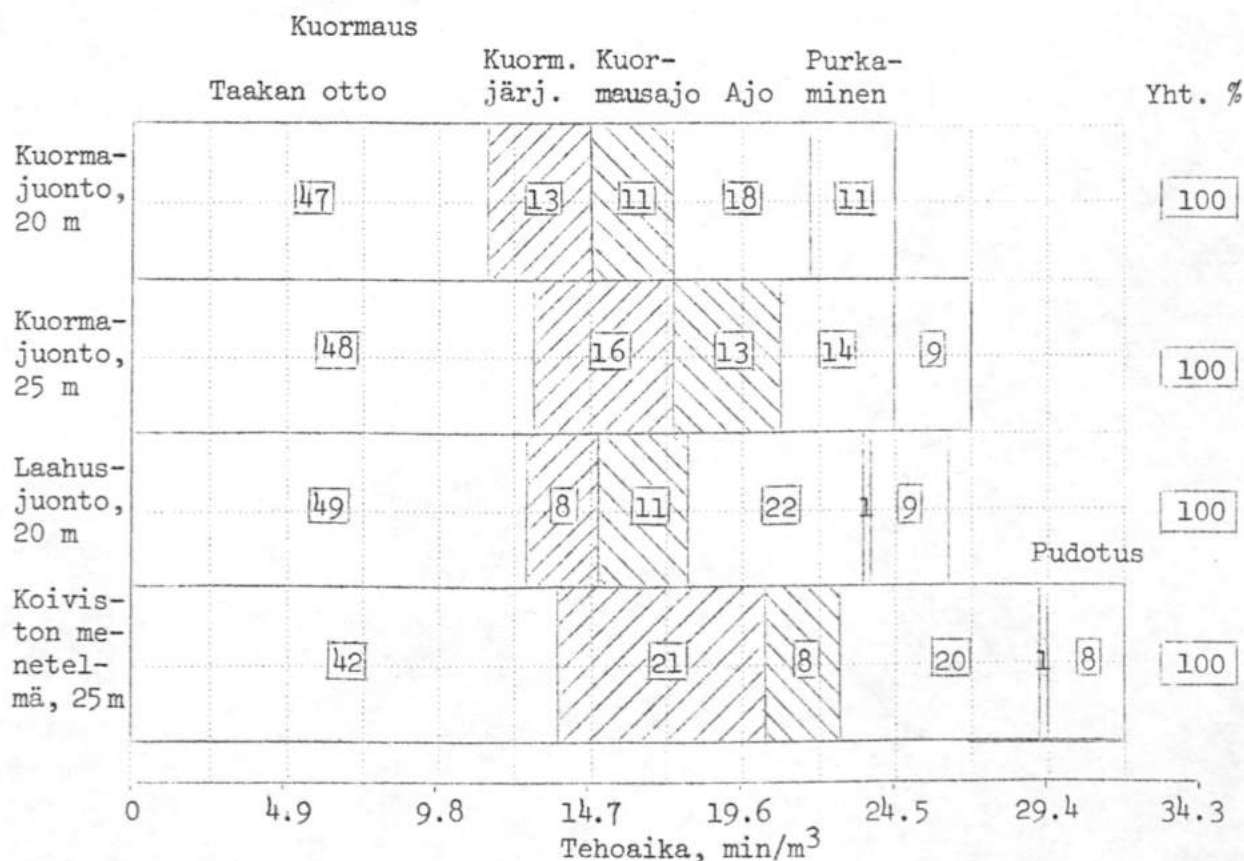
Kuva 11 c. Hakkuun tuotos hehtaari-poistuman funktiona

4.2 Lähikuljetus

4.2.1 Eri työvaiheiden ajanmenekit

Lähikuljetuksen tehoajanmenekki, laskettuna 200 m:n ajomatalle, jakautuu eri työvaiheiden kesken kuvan 12 osoittamalla tavalla.

Varsinaisen työvaiheen tehoajan lisäksi ajat sisältävät valmistautumisen kyseisen työvaiheen suoritukseen. Kuormauksessa järjestelyyn käytetty aika kuvaa osaltaan myös korjuuketjun hakkuun ja kuljetuksen työvaiheiden synkronointia. Ajon osuus on laahusjuontomenetelmässä pienemmän kuormankoon vuoksi suurempi.



Kuva 12. Lähikuljetuksen työvaiheiden aikojen rakenne ja ajanmenekki. "Laatikoissa" olevat luvut ilmaisevat tehoajan prosenttista jakautumista ja patsaan pituus absoluuttista ajanmenekkiä

Alle 15 minuutin keskeytyksiä, jotka luetaan käyttöaikaan, oli 4.8... 10.1 % tehoajasta. Keskimäärin keskeytyksiä oli 6.9 %, josta noin 60 % oli lepoa ja loput huoltoa, pieniä korjauksia yms. Koska käyttöaikaan luettavien keskeytysten osuus on aikaisempien laajempien tutkimusten yhteydessä (KAHALA 1972 ja 1974) ollut noin 10 % tehoaikaan verrattuna, on myöhemmin esitettävissä tuotoslaskelmissa käytetty keskeytysten osuutena 10 %:a.

Työaikaan luettavia, yli 15 minuutin keskeytyksiä oli keskimäärin 18 % työajasta.

4.2.2 Tuotokseen vaikuttavat tekijät

Korjattavien puiden pieni koko, niiden pituuden vaihtelu ja oksat vaikuttavat erittäin merkittävästi tuotosta alentavasti. Näiden vaikutuksesta kuormaustaakan ja kuorman pinotiheydet ja siten kiintokuutiomäärä jäävät pieniksi. Taakan ja kuorman painolla ei kuitenkaan ole suurimpia taakkoja ja kuormia lukuun ottamatta vaikutusta kuormaus- ja ajonopeuksiin.

4.2.2.1 Kuormaus

Noin 60 % kokonaistehoajasta eli keskimäärin 17 min/m³ on ollut kuormauksista ja siihen liittyvää järjestelyä. Kuormauksen ajanmenekki, kuutiometriä kohti laskettuna, riippuu korjattavan puun ominaisuuksien lisäksi olosuhteista sekä kuljettajasta ja kuormaimesta johtuvista tekijöistä.

Kokopuina juonto poikkeaa perinteisestä puutavaralajeina juonnosta niin paljon, että se vaikuttaa kuormauksen ajanmenekkiä lisäävästi myös tavalliseen puutavaralajien ajoon tottuneelta kuljettajalta. Kuormaimen sijoitus ohjaamon katolla on suuresti myötävaikuttanut kuormauksen onnistumiseen. Se on tehnyt mahdolliseksi taakan ottamisen koneen edestä ja helpottanut tähtäystä taakan otossa. Kuormauksen suuri ajanmenekki johtunee kuitenkin pääasiassa jäävän puuston aiheuttamista kehysmitaltaan suurehkojen taakkojen käsittelyhankaluuksista.

Kuormauksen tuotos riippuu tuntuvasti kuormaustaakan koosta. Seuraavassa asetelmassa esitetään keskimääräiset kuormaustaakan koot ja samalta paikalta kuormattujen taakkojen lukumäärä.

Menetelmä ja ajouraväli	Taakan koko, m ³	Taakkoja samalta paikalta,	
		kpl	m ³
A Kuormajuonto, 20 m	0.07	3.0	0.20
B Kuormajuonto, 25 m	0.06	2.9	0.16
C Laahusjuonto	0.06	4.2	0.24
D Koiviston menetelmä	0.05	5.2	0.28

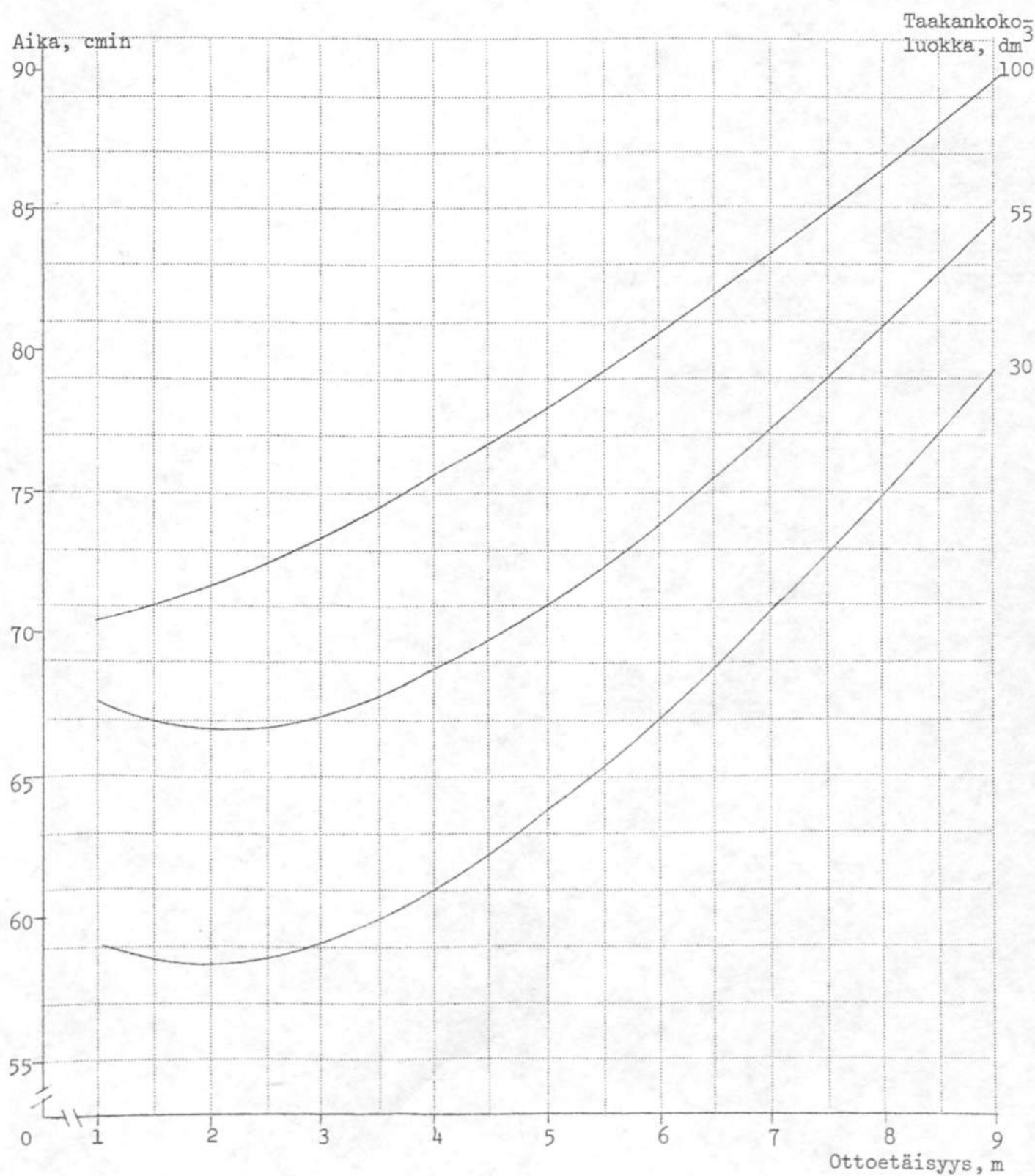
Jos verrataan keskimääräistä taakan kokoa (0.06 m^3) esimerkiksi 3 m kuitupuun ajossa keskimääräisiin taakan kokoihin (0.37 m^3), havaitaan jälkimmäisen olevan noin 6-kertainen. Kuormaustaakan koko oli yleensä sama kuin kasan koko.

Syynä taakan pienuuteen on ollut hakkuutapa. Ottaen huomioon keskimääräisen lajitiheyden ($35 \text{ m}^3/\text{ha}$) kasat olisi voinut tehdä suuremmiksi. Toisaalta on huomattava, että jos kasasta saadaan useampi kuin yksi taakka, oksien aiheuttama puiden toisiinsa tarttuminen voi huomattavastikin hidastaa kuormausta.

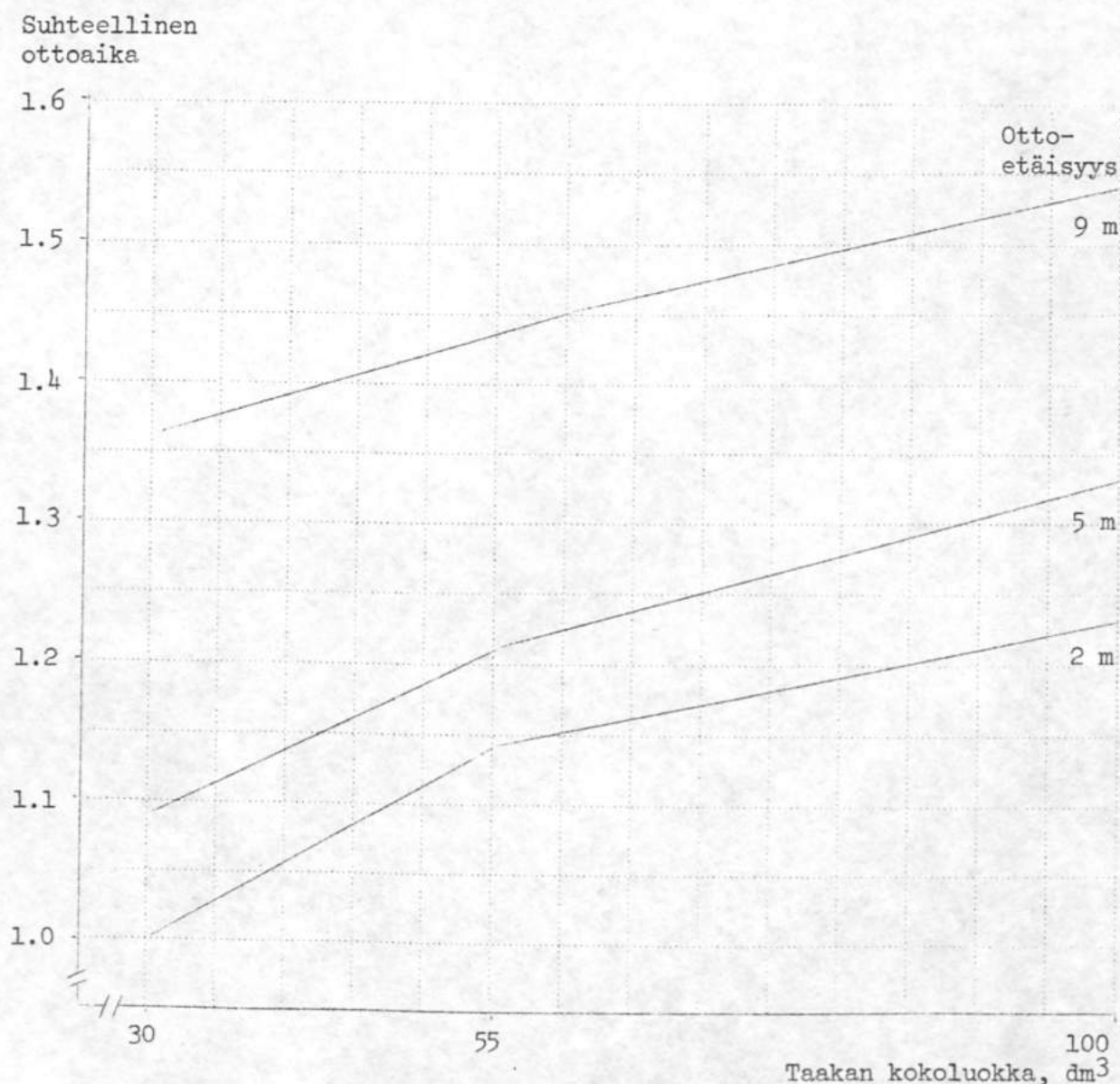
Kuormausajan riippuvuus kuormausetäisyydestä esitetään kuvassa 13 taakankokoluokittain. Etäisyys on mitattu kuormaimen kiinnityskohdasta tarttumiskohtaan taakassa. Suurin mahdollinen ottoetäisyys on maanpinnan tasossa 9.3 m. Edullisin kuormausetäisyys on ollut noin 2 m:n päässä.

Kuvasta 14 (s. 23) nähdään taakan koon ja ottoetäisyyden vaikutus kuormausaikaan. Taakan koon kasvaessa $30 \dots 100 \text{ dm}^3$:iin ottoaika lisääntyy noin 20 %. Näin ollen lähikuljetuksen kannalta menetelmää tulisi kehittää niin, että hakkuussa kasat tehdään suuremmiksi. Kasan koon suurentaminen merkitsee samalla raskaan kasaussaiheen lisääntymistä. Kun on kyseessä palstalle kasaaminen, siirtely jää kuitenkin vähäiseksi ja lisäksi siirrettäviksi puiksi voidaan valita pienimmät. Oikealla työjärjestyksellä ja työtekniikalla kasaustyön ergonomisia haittoja voidaan vähentää.

Taakan ottoetäisyys vaikuttaa ajanmenekkiä lisäävästi siten, että siirryttäessä edullisimmasta ottoetäisyydestä, 2 m:stä, 9 m:iin ajanmenekki kasvaa 25...35 %.



Kuva 13. Taakan ottoajan riippuvuus taakan koosta ja ottoetäisyydestä



Kuva 14. Suhteellinen ottoaika taakan koon ja ottoetäisyyden funktiona. Ottoaika 2 m:n päästä 30 dm^3 :n kasan koolla merkitty 1:llä

4.2.2.2 Kuormausajo

Kuormausajoaika kiintokuutiometriä kohti laskettuna, kuormausajokertojen lukumäärä kuormaa kohti ja keskimääräinen siirtymismatka olivat seuraavat.

Menetelmä ja ajouraväli	Kuormausajoaika, min/ m^3	Kuormausajoa, kertaa/kuorma	Keskimäär. siirtymismatka, m	Tiheys, m^3/ha
A Kuormajuonto, 20 m	2.62	12.8	6.5	38.3
B Kuormajuonto, 25 m	3.54	18.6	6.0	35.3
C Laahusjuonto	2.75	7.9	5.2	30.0
D Laahusjuonto Koiviston menetelmää varten	2.74	6.3	6.4	45.1

Kun ottaa huomioon erilaiset ajouravälit, voi havaita kuormausajoajan ja lajitiheyden välisen negatiivisen korrelaation. Verrattuna kuitupuun ajoon kuormausajoajat kiintokuutiometriä kohti ovat moninkertaiset. Esitetyt ajat eivät sisällä valmistautumista kuormausajoon, joka on ollut 0.25 min/kerta. Kuormausajonopeus on ollut 15 m/min paitsi menetelmässä B, jossa se oli 20 m/min.

4.2.2.3 Purkaminen

Laahusjuontoon perustuvissa menetelmissä C ja D kuormat purettiin pudottamalla, jonka jälkeen kuorma kasattiin korkeammaksi varastomuodostelmaksi. Purkamisen ajanmenekki oli tällöin keskimäärin 2.6 min/m³ (2.5...2.9 min/m³). Purkaminen pudottamalla pienentää ajanmenekin 0.2 min:iin/m³. Varastotilan tarve pudottamalla purettaessa on kuitenkin suuri. Varastotilan tarvetta ei mainittujen ketjujen (C ja D) yhteydessä päästy tarkoin tutkimaan, mutta sen arvioitiin olevan vähintään nelinkertainen kuormaimella purettujen kasojen tilantarpeeseen verrattuna. Varastotilan tarve yhtä kiintokuutiometriä kohti kasoihin purettaessa oli 3.5...5 m². Tällöin ei ole otettu huomioon traktorin liikuttelemiseen tarvittavaa alaa.

4.2.2.4 Tyhjänä- ja kuormattuna-ajo

Tyhjänäajonopeus oli palstoittain 35...52 m/min ja kuormattuna-ajonopeus 30...48 m/min. Keskimäärin ne olivat 44 m/min ja 37 m/min. Kyseisiä nopeuksia on käytetty tuotoslaskelmissa. Kuormattuna-ajonopeuksissa ei voitu havaita eroa kuorma- ja laahusjuontomenetelmien välillä. Esitetyt ajonopeudet vastaavat kuitupuun ajossa keskikokoisen kuormatraktorin ajonopeuksia.

Ajon tuotokseen vaikuttaa huomattavasti pieni kuorman koko. Kuormien koot olivat menetelmittäin seuraavat.

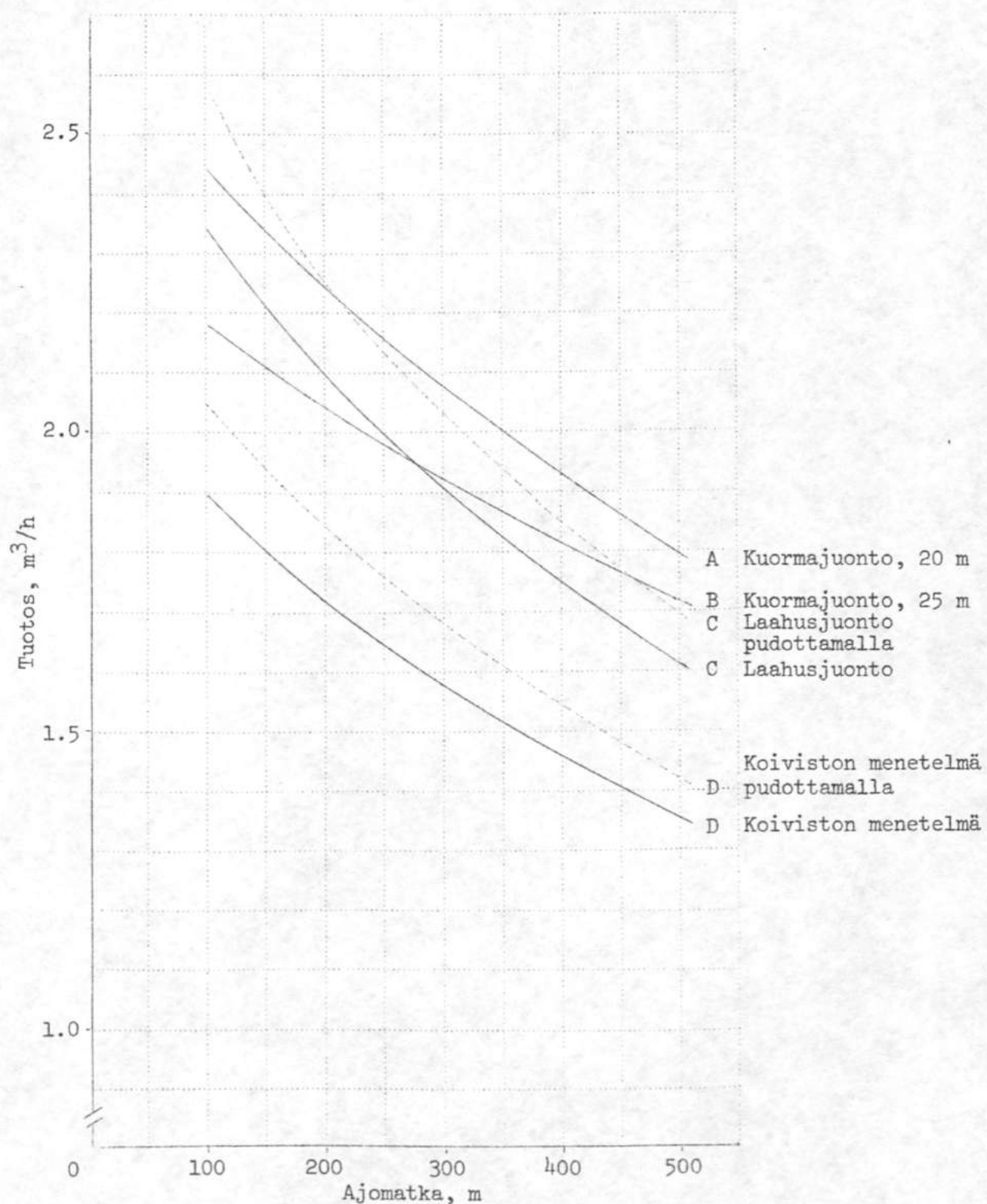
Menetelmä ja ajouraväli	Kuorman koko, m ³	Rungon keski- kuutio, m ³
A Kuormajuonto, 20 m	2.46	0.022
B Kuormajuonto, 25 m	2.96	0.017
C Laahusjuonto	1.91	0.017
D Koiviston menetelmä	1.72	0.021

Menetelmän B palstalla oli paljon pientä lehtipuuta, joka pienensi rungon keskikuution; mäntyjen keskikuutio olisi ollut hivenen suurempi kuin menetelmän A palstalla. Pienet koivut eivät vähäöksaisuutensa vuoksi rajoittaneet kuormatilan käyttöä. Kolmimetrinen kuitupuun ajossa keskimääräinen kuormankoko on vastaavissa olosuhteissa Kahalan tutkimuksen (KAHALA 1974) mukaan ollut 6.0 m³.

4.2.3 Lähikuljetuksen tuotos

Kuvassa 15 esitetään käyttötuntituotokset menetelmittain ajomatkan funktiona. Jos kuormaa ei voida purkaa pudottamalla, edullisin lähikuljetusmenetelmä on kuormajuonto 20 m:n ajouraväliä käyttäen. Ajouravälin piteneminen 20 m:stä 25 m:iin pienentää tuotosta lyhyillä juontomatkoilla 10 % ja 500 m:n matkalla noin 5 %. Laahusjuonto ajouravälin ollessa 20 m on edullisempaa kuin kuormajuonto 25 m:n ajouraväleillä, kun ajomatka on alle 300 m:n.

Vastaavista olosuhteista, nuori runsaspuustoinen ensimmäisen harvennuksen viljelymännikkö, ei ole vertailukelpoisia perinteisten puutavaralajien lähikuljetustuotoksia. Keskikokoisen kuormatraktorin käyttötuntituotokset 3 m kuitupuun ajossa 30 m³:n/ha lajitiheydessä ja ajouravälin ollessa 20 m ovat olleet Kahalan (1975) mukaan 100 m:n, 300 m:n ja 500 m:n ajomatkoilla 12.6, 9.4 ja 7.5 m³/h. Tämän tutkimuksen mukaiset lähikuljetustuotokset kuormajuontomenetelmällä ovat vain 20...25 % niistä. Kahalan tutkimuksen olosuhteet olivat lähinnä varttuneemmista harvennushakkuista ja avohakkuista ja kuormaus tapahtui kourakasoista ajouran varresta.



Kuva 15. Lähikuljetuksen käyttötuntituotokset menetelmittäin ajomatkan funktiona. (Katkoviivalla on merkitty laahusjuontoon perustuvien menetelmien tuotokset, kun purkaminen on tapahtunut pudottamalla)

Melkon ja Taipaleen (1975) mukaan kuitupuun kuormaus palstalta kourakasoista alentaa 200 m:n ajomatalla tuotosta 10...15 %. Kuormausaika, kuormausajoaika mukaan luettuna, on tässä tutkimuksessa ollut 4 m kuitupuuta palstalta kuormattaessa 4.19 min/m³. Ajouraväli on tällöin ollut 25 m; tutkimuskohteen, kuusivaltaisen metsikön, olosuhteet vastannevat likimain tämän tutkimuksen olosuhteita. Käyttämällä samoja ajonopeuksia ja samaa purkamisaikaa kuin tässä tutkimuksessa saadaan 4 m kuitupuun ajossa käyttötuntituotokseksi 200 m:n ajomatalla 4.9 m³/h. Lajitiheydessä 16 m³/ha saadaan vastaavasti laskettuna 3 m kuitupuun lähikuljetuksen tuotokseksi 4.2 m³/h.

Puun yksikkökuutiolla on huomattava vaikutus metsäkuljetuksen tuotokseen. Tämä johtuu siitä, että puun koon pienetessä kuormastaakan ja kuorman pinotiheys pienenee nopeasti. Tämän riippuvuuden mallia ei kuitenkaan voitu selvittää aineistosta. On ilmeistä, että läpimittaluokkavaati-musta pienennettäessä löytyy piste, jossa kiintomitoissa ilmoitettu kertymä lisääntyy tutkittua korjuutekniikkaa käytettäessä niin vähän, ettei kyseistä puuta ole taloudellista ottaa talteen.

4.3 Lähikuljetuksen jäävälle puustolle aiheuttamat vauriot

Jäävälle puustolle aiheutuneet vauriot inventoitiin kahden viikon kuluttua lähikuljetuksen tutkimisen päättymisestä. Kaikkiaan vaurioita esiintyi taulukon 3 esittämällä tavalla.

Taulukko 3 Lähikuljetuksen jäävälle puustolle aiheuttamat vauriot

Menetelmä	Vaurioita/ ha	% jäävästä puustosta
A Kuormajuonto, 20 m	40	3.9
B Kuormajuonto, 25 m	65	5.1
C Laahusjuonto	62	4.5
D Laahusjuonto, Koiviston menetelmä	195	14.4

Menetelmien A, B ja C välillä ei ole merkittäviä eroja vaurioiden määrissä pinta-alayksikköä kohti. Kuormajuontomenetelmien kohdalla ei ajouravälin suurentamisella ole ollut ainakaan vaurioitumisalttiutta pienentävää vaikutusta. Menetelmän B menetelmää A suurempi vaurioiden määrä johtuneekin lisääntyneistä ajokerroista ajouraa kohti. Koiviston menetelmässä suuri vaurioiden määrä on aiheutunut osittain juontoa ajatellen epäselväksi jääneestä hakkuutekniikasta, minkä vuoksi taakan otto vaikeutui. Latva edellä -oton voi katsoa olevan soveltumaton pienille puille, sillä puut katkeilivat nostettaessa ja vaurioittivat jäävää puustoa.

Vauriot jakautuivat laatunsa ja vaurioituneiden puiden etäisyyden ajourasta kesken seuraavasti.

Taulukko 4 Vaurioitumisen laatu ja vauriopuiden sijainti

Menetelmä	Vaurion laatu, % kaikista vaurioituneista				Vaurioituneiden puiden sijainti, % kaikista		
	Runko-vaurio	Latvus-vaurio	Molemmat edelliset	Kaatunut tai kallistunut puu	Etäisyys ajourasta, m		
					0	1...2	2
Kuormajuonto	45	35	5	15	91	8	1
Laahusjuonto	35	22	5	38	78	14	8

Vauriot, jotka sijaitsevat 1...2 m:n ja yli 2 m:n päässä ajourasta, ovat aiheutuneet taakan nostosta ja taakan vedosta lähemmäksi traktoria. Uran varressa olleiden puiden vauriot aiheutuivat suurimmaksi osaksi ajosta.

Pääosa vaurioista on kuormattuna- ja tyhjänäajosta syntyneitä runkovaurioita ja kaatuneita puita. Kuormajuontomenetelmissä osa runkovaurioista on juurenniskaan kohdistuneita. Laahusjuonnossa traktorin ja kuorman yhteispituus on niin suuri, että mutkissa on vaarana reunapuiden kaatuminen. Tavoitteena ollut 4 m:n levyinen ajoura kävi usein kaarteissa ahtaaksi.

Tutkitun kuormaustekniikan johdosta — taakan nosto ja kääntely latvojen yläpuolella — jäävälle puustolle aiheutui latvusvaurioita, lähinnä latvojen katkeamisia. Vaurioinventoinnin ajankohdan vuoksi on ilmeistä, ettei kaikkia viimeisimmän vuoden kasvun latvankatkeamia tullut otetuksi huomioon. On huomattava, että taakan otto ja kuormaan nostaminen jäävän puuston välissä olisi ollut lähes mahdotonta.

4.4 Raaka-ainekertymä

Korjuun runkopuun kiintokuutiometriä kohti lasketut tuotokset eivät suoraan ilmaise pienpuun korjuun kannattavuutta, sillä raaka-ainekertymä kasvaa huomattavasti korjattaessa puu kokopuuna. Tosin samalla raaka-aineen puupitoisuus vähenee, sillä noin 25 %:n kokopuuhakkeen kuiva-ainepainosta voidaan laskea olevan kuorta ja neulasia ym. viherainetta.

Taulukosta 5 näkyy laskettu raaka-ainekertymä, jos olisi käytetty erilaisilla raaka-aineen talteen ottavia korjuumenetelmiä. Tavaralajimenetelmässä kertymä on laskettu käyttäen kuitupuun minimilatvaläpimittana 6 cm:ä kuoren alta puutavaralajitaulukoista. Runkomenetelmän kertymä on pystymittauksella saatu runkopuun kuutiomäärä. Kokopuumenetelmässä kertymä on laskettu muuttamalla haketuspaikalla mitattu hakkeen irtokuutiometrimäärä kiintokuutioiksi kertoimella $0.4 \text{ m}^3/\text{i-m}^3$. Kaikki esitettyt kuutiomäärät tarkoittavat kuorellisia kuutiometrejä.

Runkopuun kuutiomäärä muutettiin kuiva-ainepainoksi kertoimella $385 \text{ kg}/\text{m}^3$. Tehtaalla mitattu kokopuuhakkeen tuorepaino muutettiin näytteistä mitattujen kuiva-ainepitoisuuksien avulla kuiva-ainepainoksi. Kuiva-ainepitoisuudet vaihtelivat 55.0 %:sta 60.9 %:iin. Alhainen kosteuspitoisuus johtuu pitkästä kaadon ja haketuksen välisestä "rasiajasta". Hakkeen painuma noin 200 km:n ajomatkalla oli 2.9...12.6 % ja keskimäärin 7.0 %.

Taulukko 5 Raaka-ainekertymä menetelmittään, jos olisi käytetty erilailla raaka-aineen talteen ottavia korjuumenetelmiä

Erittely	Menetelmä			
	A	B	C	D
Raaka-ainekertymä, m ³ /ha				
- tavaralajimenetelmä	17.8	13.8	9.9	19.6
- runkomenetelmä	38.3	35.3	30.0	45.1
- kokopuumenetelmä	56.9	51.6	36.8	54.7
Oksia ja neulasia runkopuumäärään verrattuna, %	49	45	23	21
Raaka-ainekertymä, kuiva-ainetta, t/ha				
- runkomenetelmä	14.7	13.6	11.5	17.3
- puumenetelmä	21.9	20.0	14.6	20.9
Oksia ja neulasia runkopuumäärään verrattuna, %	49	48	27	21
Oksaraaka-aineen osuus, % hakkeesta	33	31	19	18
Neulasia, % hakkeesta	keskimäärin 10 %			

Korjattaessa puut kokopuina runkopuuosan kertymä kasvoi keskimäärin 2.5-kertaiseksi ja talteen otetun raaka-aineen määrä yli 3-kertaiseksi tavaralajimenetelmään verrattuna. Menetelmissä A ja B raaka-ainekertymä on kasvanut 48...49 % runkopuun määrään verrattuna, kun se laahusjuontomenetelmissä on ollut vain 21...23 %. Näin suuret erot oksien kokonaismäärissä eivät voine johtua yksinomaan laahusjuonnossa karisseista oksista, vaan on luultavaa, että menetelmien A ja B tutkimuspalstoilla puut olivat keskimäärin oksaisempia. Kuormajuontopalstojen puuston tiheyserot verrattuina laahusjuontopalstojen vastaaviin tukevat tätä käsitystä. Menetelmän B tutkimuspalstalla ollut pienikokoinen lehtipuusto oli pieni- ja vähäoksaista.

5 YHTEENVETO

Vertailuja perinteisten puutavaralajimenetelmien tutkimustuloksiin vaikeuttaa se, että kokopuina korjattaessa tarkasteluissa ovat mukana myös oksat ja neulaset. Eri työvaiheiden ajanmenekkiin oksat vaikuttavat selvästi ajanmenekkiä lisäävästi. Toisaalta puuraaka-aineen kertymä paranee, kylläkin laadun kustannuksella. On huomattava, että tulokset on laskettu tässä tutkimuksessa runkopuun kiintokuutiometriä kohti.

Kaato muodostaa noin puolet kokonaistehoajanmenekistä hakkuussa. Kaadon ajanmenekki riippuu lähinnä puun koosta ja poistuman tiheydestä. Katkonan ja kasauksen ajanmenekkejä voidaan selittää puun koolla, lisäksi ne vaihtelevat menetelmittäin. Mainittujen työvaiheiden ajanmenekkejä ja samalla työn rasittavuutta voitaneen merkittävästi pienentää käyttämällä hakkuuseen paremmin soveltuvaa kaatolaitetta kuin tässä tutkimuksessa ollut tavallinen moottorisaha. Kaato pitäisi voida suorittaa selkä suorana. Toisaalta kaatolaitteen tulisi olla sellainen, että sahan voi jättää maahan välittömästi kaatoleikkauksen tultua tehdyksi. Tällöin vielä rinnankorkeuslähimitaltaan lähes 10-senttisenkin puun kasaaminen käy vaivattomimmin.

Vajaan neljänneksen hakkuun kokonaistehoajanmenekistä muodostavat siirtyminen ja alaoksien karsinta. Poistuman tiheys ei juuri vaikuta hakattua puuta kohti laskettuun siirtymisen ajanmenekkiin. Alaoksien karsinta on riippuvainen poistuman tiheydestä. Edellä mainittuihin riippuvuuksiin perustuen hakkuun tuotos voidaan esittää menetelmittäin lähimitalan ja tiheyden funktiona.

Hakkuun tuotos tutkimuspalstoilla, joiden puiden keskilähimittana oli 6...8 cm ja tiheys 1 200...2 200 runk./ha, on 1.6...2.1 m³/h kuorma-juontoon perustuvissa menetelmissä ja laahusjuontoon perustuvissa menetelmissä 0.6...1.4 m³/h suurempi. Poistuman tiheys vaikuttaa hieman hakkuun tuotosta pienentävästi varsinkin laahusjuontoon perustuvissa menetelmissä.

Lähikuljetuksen ajanmenekistä huomattavimman osan, 200 m:n ajomatkalla yli 70 %, vaativat kuormaus ja kuormausajo. Kuormauksen ajanmenekin suuri osuus johtuu lähinnä jäävän puuston aiheuttamista pitkien taakkojen käsittelyhankaluuksista. Samasta syystä myös yhdeltä paikalta kuormattava puumäärä on jäänyt pieneksi ja siirtymismatka lyhyeksi. Jäävän puuston vaikutusta kuormauksen ajanmenekkiin ei voitu selvittää.

Taakan koolla ei ole kovinkaan suurta vaikutusta taakanottoaikaan. Taakan suuressa 30 dm^3 :stä 100 dm^3 :iin sen ottoaika lisääntyy 20 %. Siirryttäessä edullisimmasta kuormausetäisyydestä, 2 m:stä, suurimmalle mahdolliselle ottoetäisyydelle, 9.3 m:iin, taakan ottoaika kasvaa 25...35 %. Kuormattuna- ja tyhjänäajonopeus on ollut kutakuinkin sama kuin tavanomaisten puutavaralajien ajossa. Purkamisen ajanmenekki on vain noin 10 % kokonaistehoajanmenekistä.

Lähikuljetuksen tuotos riippuu täten lähinnä kuormaustaakan ja kuorman koosta. Lähikuljetuksen tuotosta voidaan parantaa suurentamalla kasoja hakkuussa, kuitenkin niin että kasa voidaan ottaa yhdellä kertaa. Kasauustyön ergonomisia haittavaikutuksia voidaan huomattavasti vähentää oikealla työjärjestyksellä ja työtekniikalla. Koska kasauksen ajanmenekki kasvaa huomattavasti käsiteltäessä yli 9 cm:n läpimittaisia puita, kasaus olisi keskitettävä pienempiin puihin. Läpimitaltaan 8 cm:n tai sitä pienempiä puita on yli 70 % poistuman runkoluvusta. Taakan ja kuorman koon suurentamisen kannalta rajoittavana tekijänä tulevat olemaan taakan ja kuorman suuri kehystilavuus.

Kuormajuontoon perustuvien menetelmien tuotos 100...500 m:n ajomatkalla on $2.4...1.6 \text{ m}^3/\text{h}$ ja laahusjuontomenetelmän $2.2...1.7 \text{ m}^3/\text{h}$. Koiviston menetelmällä lähikuljetuksen tuotos jää selvästi tämän alapuolelle.

Hakkuun ja lähikuljetuksen tuotokset sekä jäävälle puustolle aiheutuneet vauriot huomioon ottaen kuormajuonto on 20 m:n ajouraväliä käytettäessä paras korjuuketju. Ajouravälin levantäminen 25 m:iin ei ainakaan vähennä jäävälle puustolle aiheutuvia vaurioita. Vastaava ottoetäisyyden pidentyminen sen sijaan pienentää kuormauksen tuotosta noin 15 %. Myös hakkuun tuotos on hieman pienempi menetelmässä B, kuormajuonnossa 25 m:n ajouraväleihin. Tämä johtuu siitä, että pienemmällä ajouravälillä

palstan keskipisteessä kaadettu puu on melkein kuormaimen ulottuvilla, mutta 25 m:n ajouravälillä sitä joutuu siirtämään 3 m lähemmäksi uraa. Lyhyillä juontomatkoilla laahusjuonto on edullisempi kuin kuormajuonto 25 m:n ajouraväleihin. Järeämmässä ja harvemmassa puustossa hakkuu laahusjuontoa varten tulee entistä edullisemmaksi kuormajuontoon verrattuna. Tällöin laahusjuontoon perustuva ketju voi lyhyillä juontomatkoilla tulla kysymykseen, varsinkin jos varastotila sallii purkamisen pudottamalla. Koiviston menetelmää on pidettävä tutkitun kokoisille pienille puille soveltumattomana, koska puut eivät kestäneet latvat edellä ottoa. Kookkaammassa ja harvemmassa puustossa tällä menetelmällä voidaan pienentää kasaustarvetta ja ottoaajanmenekkiä palstan keskiosan puiden tullessa lähemmäksi ajouraa.

Kokopuina korjuussa runkopuukuutiometriä kohti laskettu lähikuljetuksen tuotos jää vain murto-osaan siitä, mikä se on samoissa olosuhteissa ja samalla lajitiheydellä 3 m kuitupuun korjuussa. Jos oletetaan puuta korjattavan tutkimusalueen keskivertometsikössä, poistuma 2 000 runk./ha ja 35 m³ runkopuuta/ha, keskiläpimitta 7.5 cm ja keskiajomatka 200 m, olisivat kustannukset eri menetelmissä seuraavan asetelman mukaiset.

Menetelmä	Hakkuu,	Lähikulj. mk/m ³	Yht.
a 3 m kuitupuu, hakkuu kourakasoihin ajouran varteen, kuormajuonto	30	9	39
b 3 m kuitupuu, hakkuu palstalle kourakasoihin, kuormajuonto liukupuomilla varustetulla traktorilla	29	19	48
c korjuu kokopuina, kuormajuonto (kustannukset runkopuun kuutiometriä kohti)	12	35	47

Esitetyt kustannukset eivät ole tavaralajimenetelmien osalta tarkkoja, koska kyseisten menetelmien tuotoksia ei tätä tutkimusta vastaavissa olosuhteissa tunneta.

Kyseisessä keskivertometsikössä kuitupuun mittaisen puun osuus poistumasta on 45 % eli $16 \text{ m}^3/\text{ha}$. Laskelmissa oletetaan kuormatraktorin tuntikustannuksiksi 77 mk/h ja liukupuomikuormaimella varustetun kuormatraktorin tuntikustannuksiksi 80 mk/h. Hakkuumiehen työkustannusten oletetaan olevan 150 mk/päivä sosiaalikuluneen. Esitetyt kustannukset vastannevat vuoden 1975 kustannustasoa.

Edellä olevasta asetelmasta selviää myös korjuukustannusten jakautuminen hakkuun ja lähikuljetuksen osalle. Oksat lisäävät talteen otetun raaka-aineen määrää 21...49 % runkopuun määrään verrattuna. Tämä pienentää vastaavasti 18...33 % esitettyjä kiintokuutiometrikohtaisia korjuukustannuksia. Tulojen puolelle voidaan kirjata myös taimistonhoitokustannusten säästyminen. Lämpimitaltaan alle 8 cm:n puita oli keskivertometsikössä 60 % runkoluvusta eli 1 200 runk./ha. Taimistovaiheessa oli suoritettu kerran taimiston perkaus. Metsikön metsänhoidollinen tila olisi joka tapauksessa vaatinut käsittelyä.

Kaiken kaikkiaan karsimattomien puiden juonto onnistui kokeillun kuormaustekniikan ansiosta hyvin. Kyseinen kuormaustekniikka, taakan kuljetaminen puiden latvojen yläpuolella, tuskin onnistuu enää keskipituudeltaan 12...13-metrisissä metsiköissä.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on ollut vertailla kokopuunkorjuun eri menetelmiä metsävaiheen osalta. Esitetyt kustannusvertailut saattavat muuttua ratkaisevasti, kun otetaan huomioon haketus-, varastointi-, kaukokuljetus- ja tehdaskäsittelyn eri vaiheiden kustannukset sekä eri prosesseista saatujen tuotteiden arvo. Kokopuina korjuun taloudellisuutta arvosteltaessa olisi otettava huomioon koko korjuuketju kannolta tehtaaseen sekä sen vaikutukset puuraaka-aineen hyväksikäyttöön ja metsänhoitoon.

Kirjallisuutta

- ELOVAINIO, AARNE 1973. Puiden tai runkojen pystyyn nostamiseen perustuva harvennuspuun korjuumenetelmä. Metsätehon katsaus 25/1973. Helsinki
- ELOVAINIO, AARNE ja MELKKO, MARKKU 1975. Ensiharvennuspuun korjuu pystykääntömenetelmällä (Jatkoselvitys). Metsätehon katsaus 13/1975. Helsinki
- KAHALA, MIKKO 1969. Tutkimus puutavaran valmistukseen vaikuttavista tekijöistä. Metsätehon julkaisu n:o 44. Helsinki
- KAHALA, MIKKO 1972. Puutavaran metsäkuljetus kuormatraktorilla. Metsätehon tiedotus 310. Helsinki
- KAHALA, MIKKO 1974. Erikokoisten kuormatraktoreiden tuotostaso. Metsätehon tiedotus 334. Helsinki
- MELKKO, MARKKU ja TAIPALE, JUKKA 1975. Marttiin liukupuomi harvennuspuun korjuussa. Metsätehon katsaus 22/1975. Helsinki