METSÄTEHON TIEDOTUS
METSÄTEHO REPORT

METSÄTEHO 380

Osapuun korjuu ja autokuljetus tukkipuuvaltaisesta leimikosta

HARVESTING AND TRUCK TRANSPORT OF PART-TREES FROM A CLEAR-CUTTING STAND

RAINER HÄGGBLOM
OLAVI PENNANEN

HELSINKI 1983

Metsätehon tiedotus — *Metsäteho Report* 380

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

OSAPUUN KORJUU JA AUTOKULJETUS TUKKIPUUVALTAISESTA LEIMIKOSTA

Harvesting and Truck Transport of Part-Trees from a Clear-Cutting Stand

Rainer Häggblom
Olavi Pennanen

METSÄTEHO, Fabianinkatu 9 B, 00130 HELSINKI 13

Kauppakirjapaino Oy, Helsinki

ISBN 951-673-088-4
ISSN 0356-7257

SISÄLLYS
Contents

	Sivu *Page*
TIIVISTELMÄ	4
1 JOHDANTO	5
2 MENETELMÄT JA TUTKIMUSAINEISTO	5
2.1 Aineiston keruu	5
2.2 Aineiston määrä, laatu ja käsittely	5
3 TUTKIMUSTULOKSET	6
3.1 Lisäraaka-ainemäärät	6
3.2 Hakkuu	6
3.3 Metsäkuljetus	8
3.4 Autokuljetus	8
3.5 Korjuu- ja kuljetuskustannukset	9
4 TULOSTEN TARKASTELUA	12
Summary	13
LIITTEET	14

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää osapuumenetelmän sopivuutta järeäpuustoisen leimikon puuston korjuuseen ja kuljetukseen, kun tukkiosuus karsitaan ja kuitupuuosuus sekä kuitupuurungot kuljetetaan karsimattomina tehtaalle.

Kuitupuuosan oksista ja latvoista saatiin lisäraaka-ainetta talteen 17 - 20 % tukkien latvaläpimitan mukaan. Talteen saatavissa oleva lisäraaka-ainemäärä olisi tukkiosan oksat mukaan lukien 34 %.

Hakkuussa saavutettiin 29 %:n ajansäästö tavaralajimenetelmään verrattuna. Metsäkuljetuksessa, jossa osapuu kuljetettiin tukilla tiivistettyinä kerroskuormina, tuottavuus pieneni kuutioyksikköä kohti 14 - 17 % verrattuna tukin ja palstalle kasatun noin 2 m kuitupuun ajoon, ajomatkan ollessa 250 m. Kun ajomatka pitenee, ero tavaralajimenetelmään kasvaa. Tuottavuus pieneni, koska kuorman koko pieneni ja koska osapuu oli hitaampaa kuormata kuin karsittu puutavara.

Osapuun autoonkuormauksen ajanmenekki m^3:ä kohti oli 3.5 kertaa niin suuri kuin tukkien autoonkuormauksen. Sen lisäksi osapuun autokuljetuksessa on vähäisiä lisätehtäviä verrattuna puutavaran kuljetukseen. Osapuun ja tukin purkamisaikojen suhde oli lähes sama kuin niiden kuormausaikojen suhde. Pelkkää osapuuta sisältävän kuorman (42 tonnin yhdistelmä ja 2 nippua) koko oli 15.3 m^3, sekakuorman 33.8 m^3 ja tukkikuorman 36.0 m^3. Sekakuormissa tukki kuormattiin osapuun päälle pinotiheyden ja kuorman koon suurentamiseksi.

Tutkimusleimikon korjuu- ja kuljetuskustannukset osapuumenetelmää käytettäessä olivat 2 - 4 mk / talteen saatu m^3 alhaisemmat, kuin jos käytettiin tavaralajimenetelmää. Osapuumenetelmän kustannukset olivat ainespuu-m^3:ä kohti 6 - 17 mk suuremmat kuin tavaralajimenetelmän. Talteensaadun lisäraaka-aineen korjuu- ja kuljetuskustannukset olivat menetelmän mukaan 31 - 83 mk/m^3. Autokuljetuksen kehittäminen on osapuumenetelmän edullisuudelle tärkeää.

1 JOHDANTO

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää osapuumenetelmän käyttömahdollisuuksia järeäpuustoisen leimikon avohakkuussa hankittaessa sahapuu karsittuna ja katkottuna sekä tukkirunkojen kuitupuuosa ja latvat sekä kuitupuurungot karsimattomana osapuuna. Selvityksessä tarkastellaan osapuumenetelmän vaikutuksia miestyövaltaiseen hakkuuseen, metsäkuljetukseen ja autokuljetukseen.

Tutkimus tehtiin yhdessä Paloheimo Oy:n kanssa ja se on osa kauppa- ja teollisuusministeriön osaksi rahoittamaa projektia: "Energiapuun korjuu teollisuuspuun korjuun yhteydessä".

2 MENETELMÄT JA TUTKIMUSAINEISTO

2.1 Aineiston keruu

Tutkimuksen kenttätyöt suoritettiin kevään ja kesän 1982 aikana Lopella. Hakkuun, metsäkuljetuksen ja autokuljetuksen ajanmenekkitiedot kerättiin vertailevan aikatutkimuksen periaatteen mukaan. Lisäksi selvitettiin mittauksin potentiaalisen ja talteensaadun raaka-aineen määrä.

Osapuumenetelmissä rinnankorkeusläpimitaltaan yli 13 cm:n puut kaadettiin yhdensuuntaisesti. Hakkuumies karsi ja katkoi havusahatukin 13 cm:n minimilatvaläpimittaan. Tukkirunkojen kuitupuuosa ja latvat sekä kuitupuurungot jätettiin karsimatta ja katkottiin noin 5 m:n pituisiksi. Läpimittaluokkien 5 - 11 cm puut kaadettiin siirtelykaatona suurempien puiden latvaosien viereen ja tarvittaessa katkottiin. Metsäkuljetuksessa kuormattiin metsätraktoriin ensin osapuuta siten, että se täytti noin 2/3 kuormatilan kehystilavuudesta. Osapuun päälle kuormattiin mahdollisimman paljon tukkeja tiivistämään kuormaa. Autokuljetuksessa karsimaton osapuu kuormattiin vetoautoon ja perävaunuun noin 2/3 nipun korkeudesta ja päälle kuormattiin tukkeja kuormatila täyteen. Kuormaus ja purkaminen tapahtuivat autokohtaisella irrotettavalla kuormaimella. Kuormat punnittiin täysinä ja tukkien purkamisen jälkeen sekä tyhjinä. Näin saatiin osasta kuormia kokonaispaino ja kaikista kuormista osapuun paino.

Oksien ja latvarunkopuun sisältämä potentiaalinen ja talteen saatu kuutiomäärä selvitettiin punnitsemalla kustakin yleisestä rinnankorkeusläpimittaluokasta 2 - 3 rungon kaikki oksat ja latvarunkopuu. Oksat punnittiin ottaen huomioon erilaiset karsintaläpimittavaihtoehdot. Lisäraakaaineen kuutiosisällön selville saamiseksi mitattiin oksien ja latvarunkopuun tiheydet Paloheimo Oy:n laboratoriossa. Lisäksi mitattiin osapuista tehdyn hakkeen irtotilavuus. Ainespuumäärät selvitettiin PMP-tietojen ja tukkien välivarastolla mittauksen perusteella.

Vertailumenetelmänä oli tavaralajimenetelmä, jossa havutukki tehtiin 13 cm:n latvaläpimittaluokkaan. Kuitupuu tehtiin noin 2 m:n pölkyiksi kasoihin ajouran varteen. Metsäkuljetuksessa vertailumenetelmänä oli sahatukin ajo. Aineisto kerättiin samalta leimikolta vastaavista olosuhteista kuin osapuumenetelmässäkin.

2.2 Aineiston määrä, laatu ja käsittely

Hakkuussa seurattiin kolmen hakkuumiehen työtä. Kaikki olivat ammattitaitoisia vakinaisia metsureita. Tutkimuksessa seurattiin 429 rungon hakkuuta, joista 352 hakattiin osapuumenetelmää ja 77 tavaralajimenetelmää käyttäen. Metsäkuljetus tehtiin keskikokoisella kuormatraktorilla (Valmet 872 K), joka oli varustettu vakiokuormaimella. Osapuumenetelmässä seurattiin 16 kuorman metsäkuljetusta ja tavaralajimenetelmässä 5 kuorman.

Autokuljetuksessa seurattiin yhteensä 17 kuorman kuormauksen, ajon ja purkamisen ajanmenekkejä. Tutkimuksen kohteena oli Merzedes Benz V-10 -kuorma-auto, joka oli varustettu kaksiakselisella perävaunulla ja Fiskars-65-kuormaimella. Lyhyen perävaunun vuoksi yhdistelmän kokonaispainoksi jäi 42 tonnia. Vetoautoon ja perävaunuun kuormattiin yksi puutavaranippu. Kuormatilat oli sivuilta varustettu laidoin, jotka pääosin peittivät kuormatilojen alaosan.

TAULUKKO 1 Tutkimusleimikon puustotiedot

Erittely	Osapuumenetelmä			Vertailumenetelmä		
	Mänty	Kuusi	Lehti-puu	Mänty	Kuusi	Lehti-puu
m^3/runko (ainespuuta)	0.675	0.342	0.162	0.668	0.272	0.275
% kuutio-määrästä	21	74	5	30	67	3
Aineisto, m^3 (ainespuuta)	487.9			202.9		

Taulukossa 1 esitetään tutkimusleimikon puustotiedot, jotka vastaavat menetelmittäin kaikkien hakkuumiesten työskentelyn keskimääräisolosuhteita. Kuutiomäärät tarkoittavat sekä osapuu- että tavaralajimenetelmässä runkojen ainespuusisältöä, ts. runkopuun tilavuutta 6 cm:n latvaläpimittaan ilman oksia.

3 TUTKIMUSTULOKSET

3.1 Lisäraaka-ainemäärät

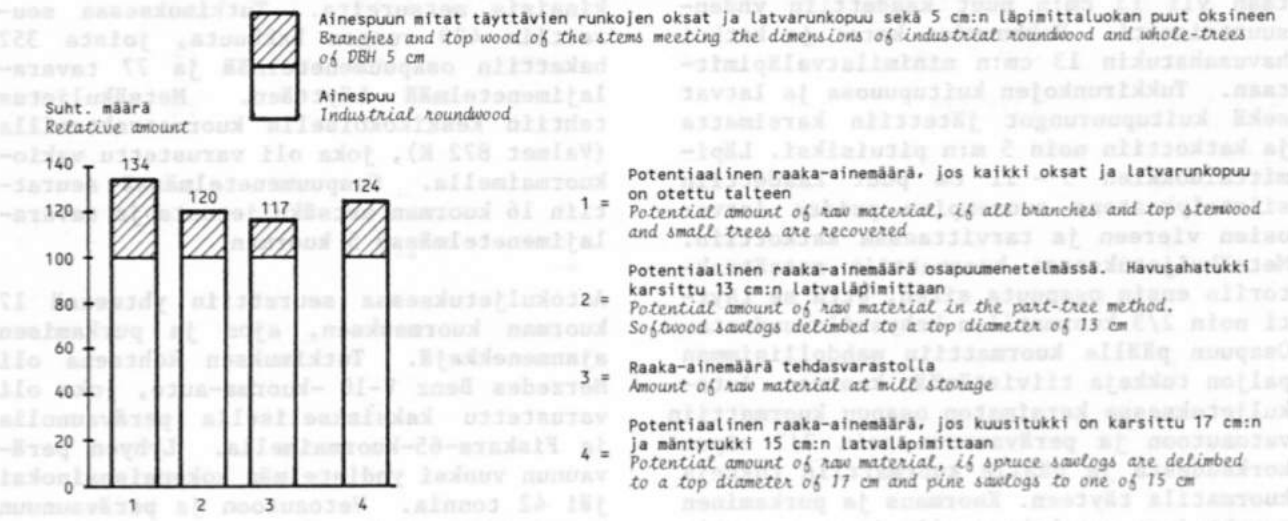
Ainespuun mitat täyttävien puiden oksat ja latvarunkopuu sekä 5 cm:n rinnankorkeusläpimittaan kuuluvat puut lisäsivät leimikosta talteen saatavissa olevaa määrää 34 %. Kuusen oksaisuusluokka oli 3 ja männyn 2. Osapuumenetelmässä, jossa havusahatukki karsittiin 13 cm:n minimilatvaläpimittaan, raaka-aineen potentiaalinen lisäys oli 20 %. Jos havusahatukki olisi tehty normaalisti mittavaatimuksen mukaisesti, kuusitukki 17 cm:n ja mäntytukki 15 cm:n minimilatvaläpimittaan, olisi potentiaalinen lisäraaka-ainemäärä ollut 4 prosenttiyksikköä suurempi kuin tutkitussa osapuumenetelmässä.

Hakkuussa, metsäkuljetuksessa, autokuljetuksessa ja tehdasvarastolla haketuksessa hävikki oli 15 % lisäraaka-ainemäärästä. Tehdasvarastolla haketuksen jälkeen lisäraaka-aineen määrä oli 17 % (kuva 1).

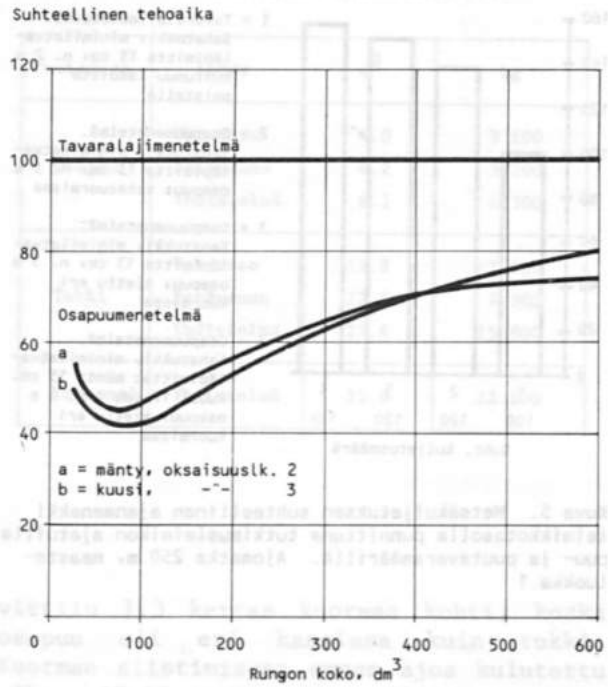
3.2 Hakkuu

Osapuumenetelmässä hakkuumiesten työ nopeutui tavaralajimenetelmään verrattuna, koska osa karsintaa, katkontaa ja kasausta jäi pois. Suurin vaikutus oli sillä, ettei kuitupuurunkoja ja tukkirunkojen kuitupuuosia karsittu lainkaan. Hakkuun ajanmenekki kasvaa selvästi siitä rungonkoosta lähtien, josta karsinta aloitetaan (kuva 2).

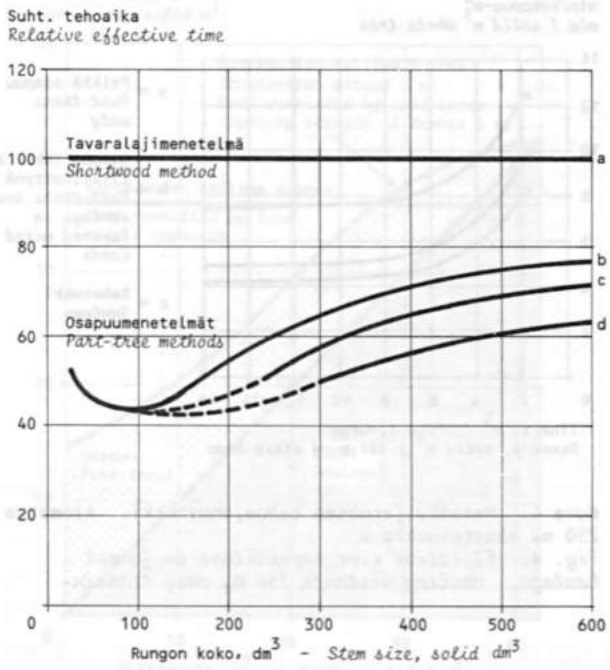
Sekä männyn että kuusen osapuuhakkuun suhteellinen ajanmenekin säästö pienenee rungon koon kasvaessa. Se johtuu siitä, että osapuumenetelmässä karsitun rungonosan suhteellinen osuus kasvaa rungon koon kasvaessa (kuva 2). Pienimmillään osapuuhakkuun suhteellinen ajanmenekki on suurien kuitupuurunkojen (noin 100 dm^3) hakkuussa, joita ei karsita. Osapuu-



Kuva 1. Suhteelliset raaka-ainemäärät
Fig. 1. Relative amounts of raw material



Kuva 2. Hakkuun suhteelliset tehoajanmenekit tutkitussa tavaralajimenetelmässä ja osapuumenetelmässä puulajeittain



a = Karsintaläpimitta 6 cm, kuitupuun katkontapituus n. 2 m
Top diameter of delimbed part 6 cm, bucking length of pulpwood part about 2 m

b = Karsintaläpimitta 13 cm, osapuun katkontapituus n. 5 m
Top diameter of delimbed part 13 cm, bucking length of pulpwood part about 5 m

c = Karsintaläpimitta 15 cm, osapuun katkontapituus n. 5 m
Top diameter of delimbed part 15 cm, bucking length of pulpwood part about 5 m

d = Karsintaläpimitta 17 cm, osapuun katkontapituus n. 5 m
Top diameter of delimbed part 17 cm, bucking length of pulpwood part about 5 m

Kuva 3. Karsintaläpimitan vaikutus hakkuun suhteelliseen tehoajanmenekkiin
Fig. 3. Relative effective-time expenditure on cutting

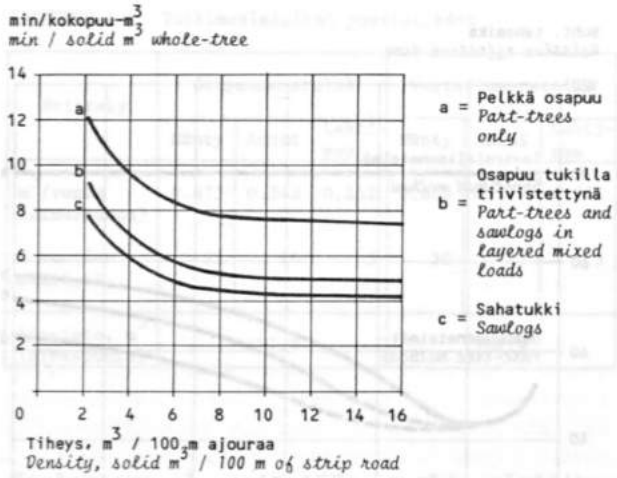
hakkuun ajanmenekin säästö pienenee rungon koon siitä pienentyessä, koska tavaralajihakkuussa karsinnan ajanmenekin suhteellinen osuus pienenee.

Karsittaessa 13 cm:n latvaläpimittaluokkaan osapuuhakkuun suhteellinen ajanmenekki oli puun koon mukaan 43 - 77 % tavaralajihakkuun ajanmenekistä. Esimerkiksi puun koon ollessa 350 dm^3 ajanmenekki oli 68 %. Jos karsintaläpimitta olisi ollut 15 cm, vastaava ajanmenekki olisi ollut 62 %, ja jos karsintaläpimitta olisi ollut 17 cm, ajanmenekki olisi ollut 54 % (kuva 3).

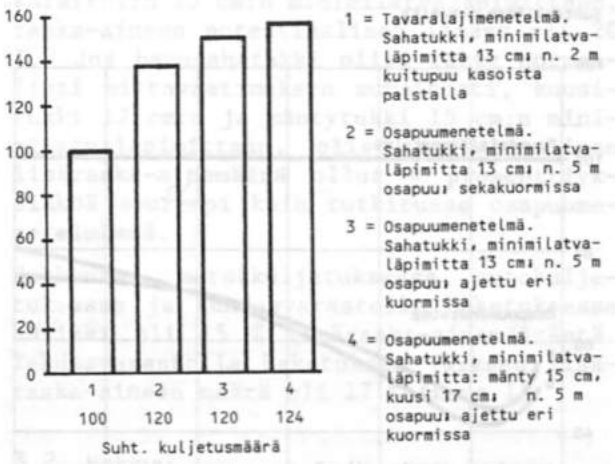
Karsitun osan latvaläpimitan suurentaminen luonnollisesti vähentää karsinta-aikaa; toisaalta katkonta-aika lisääntyy. Sillä ei kuitenkaan ole juuri merkitystä verrattaessa sitä karsinnassa saatavaan ajansäästöön. Suhteelliset ajanmenekit on laskettu kuusen oksaisuusluokan 3 ja männyn oksaisuusluokan 2 perusteella. Männyn oksaisuusluokassa 1 edellä mainitut karsintarajan muutokset voivat aiheuttaa erilaisen karsinta-ajan "käyttäytymisen", koska rungon oksaton osuus voi jatkua lähelle karsintarajaa.

Havutukkirunkojen latvaosien katkonnan kannalta toteutunut 14.4 cm:n karsintaläpimitta oli hankala. Latvan pituus oli useimmiten yli 5 metriä, mutta alle 10 metriä, joten kuljetuskelpoisuuden vuoksi määrätty noin 5 metrin katkontapituus tuotti runsaasti lyhyitä, 1.0 - 3.5 m:n pituisia, kuljetusta vaikeuttavia latvakappaleita. Näitä pieniä latvakappaleita oli kaikkiaan 34 % kappalemäärästä. Lisäksi yli 6-metrisiä osapuupölkkyjä oli 25 % latvakappaleiden määrästä. Latvan katkonnalle parempi vaihtoehto tässä tapauksessa olisi ollut karsitun osan latvaläpimitan määrääminen 15 cm:n luokkaan, jolloin hakkuussa tukkirunkojen latvasta olisi keskimäärin saatu kaksi noin 5 metrin pituista kappaletta.

Havupuiden hakkuun tehoajanmenekki osapuumenetelmässä oli keskimäärin 71 % tavaralajihakkuuseen verrattuna. Tehtäessä kuusitukki 17 cm:n ja mäntytukki 15 cm:n latvaläpimittaluokkaan ajanmenekki olisi ollut keskimäärin 59 % tavaralajihakkuun ajanmenekistä.



Kuva 4. Metsäkuljetuksen tehoajanmenekki. Ajomatka 250 m, maastoluokka 2
Fig. 4. Effective time expenditure on forest haulage. Hauling distance 250 m, easy terrain



Kuva 5. Metsäkuljetuksen suhteellinen ajanmenekki leimikkotasolla punnittuna tutkimusleimikon ajetuilla puu- ja puutavaramäärillä. Ajomatka 250 m, maastoluokka 1

3.3 Metsäkuljetus

Metsäkuljetuksen tehoajanmenekki on esitetty kuvassa 4. Osapuun kuormaus- ja purkamisaika m^3:ä kohti oli suurempi sekä kuormankoko pienempi kuin tavaralajimenetelmässä. Sahatukkia kuljetettaessa kuorman koko oli 10.6 m^3, sahatukkia ja osapuuta kuljetettaessa 8.1 m^3 (kokopuuta) ja pelkkää osapuuta sisältävien kuormien koko oli 4.1 m^3 (kokopuuta).

Ajomatkan pidentyessä osapuun metsäkuljetuksen ajanmenekkiero tavaralajimenetelmään kasvaa. Lisäksi ero tavaralajimenetelmään on esitettyä suurempi, jos metsäkuljetustuotos lasketaan kuljetetun ainespuumäärän perusteella. Toisaalta osapuumenetelmässä pinta-alayksiköltä ajettava puumäärä on oksista, latvarunkopuusta ja alamittaisista puista tulevan raaka-aineen vuoksi suurempi kuin tavaralajimenetelmässä.

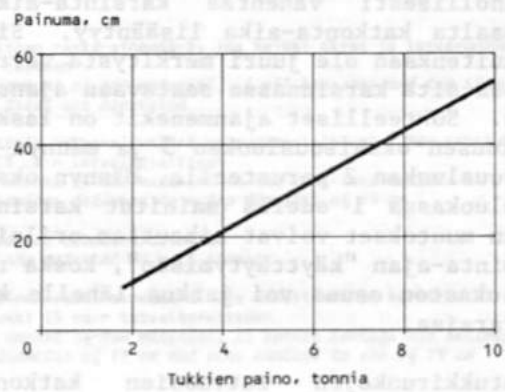
Osapuiden metsäkuljetusta vaikeuttivat lyhyet osapuupölkyt, jotka kääntyivät kuormatilassa helposti pystyyn tai poikittain ja pienensivät siten kuorman kokoa. Aivan pieniä ainespuun mitat täyttämättömiä latvoja jätettiinkin kuormaamatta, ellei niiden kuormaus onnistunut yhtäaikaisesti samassa kourataakassa järeämpien pölkkyjen kanssa.

Osapuumenetelmissä tutkimusleimikon ajetuilla puu- ja puutavaralajimäärillä punnittu leimikon metsäkuljetuksen ajanmenekki oli 38 - 51 % suurempi kuin tavaralajimenetelmässä (kuva 5).

3.4 Autokuljetus

Osapuuta kuormattiin ensin noin 160 cm korkea kerros. Päälle kuormattiin tukkia kuormatila täyteen. Osapuu tiivistyi niin, että sen lopulliseksi korkeudeksi jäi noin 120 cm. Osapuun pinotiheys muuttui 0.25 m^3:stä/kehys-m^3 0.34 m^3:iin/kehys-m^3. Tiivistyminen päälle kuormattujen tukkien painon mukaan on esitetty kuvassa 6 ja tutkimuskuormien keskimääräinen koko taulukossa 2.

Kääntämiseen sekä kuormauksen valmisteluun ja päättämiseen kului aikaa yhteensä 28.1 minuuttia kuormaa kohti. Kuormausajoa, kasalta toiselle siirtymistä, tar-



Kuva 6. Osapuunipun tiivistyminen sen päällekuormatun tukin painon mukaan (osapuukerroksen alkukorkeus 160 cm)

TAULUKKO 2 Keskimääräinen autokuorman koko

Puutavara	Kohde	m^3	kg
Osapuu	Vetoauto	4.0	3 100
	Perävaunu	4.2	3 200
	Yhdistelmä	8.2	6 300
Tukki	Vetoauto	12.8	7 900
	Perävaunu	12.8	7 900
	Yhdistelmä	25.6	15 800
Yhteensä	Yhdistelmä	33.8	22 100

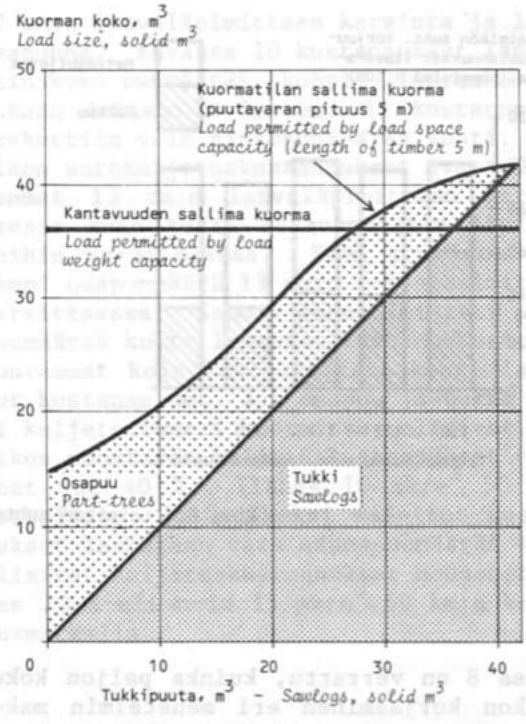
vittiin 1.3 kertaa kuormaa kohti, koska osapuu oli eri kasoissa kuin tukki. Kuorman siistimiseen ennen ajoa kulutettu aika, 10.45 minuuttia, johtuu suurelta osin siitä, että sivulaidat eivät peittäneet koko sivua, vaan törröttävät oksat katkottiin moottorisahalla. Kuormaimen kiinnittämisen ja irrottamisen ajanmenekit puuttuvat, koska kuormain kuljetettiin mukana.

Osapuun kuormaamiseen (3.02 min/m^3) meni noin 3.5 kertaa niin paljon aikaa kuin tukin kuormaamiseen (0.84 min/m^3). Taakka-ajoissa ero on pienempi. Tukin taakka-aika oli pienempi, sillä osapuut takertuivat toisiinsa. Aikaero kuutiometriä kohti johtuu kuitenkin pääasiassa taakkojen kokoerosta. Yhdistelmän sekakuormana kuormauksen tehoaika oli 1.36 min/m^3. Tukkien kuormaus oli tavallista hitaampaa, koska ne kuormattiin osapuun päälle.

Purkamiskuntoon laittoon, ajon valmisteluun, siirtymisiin ja purkamisen keskeytyksiin kului aikaa yhteensä 22.1 min/kuorma. Purkamista valmisteltiin ja auto laitettiin ajokuntoon kahteen kertaan, koska kuorman eri osat purettiin eri paikkaan.

Osapuun varsinainen purkaminen omalla kuormaimella (1.08 min/m^3) vei noin kolme kertaa niin paljon aikaa kuin tukin purkaminen (0.37 min/m^3). Se johtui pienemmästä taakankoosta ja suuremmasta taakka-ajasta. Yhdistelmän sekakuorman purkamisen tehoaika oli 0.56 min/m^3.

Aineiston perusteella laskettiin myös kuorman koko pelkkää osapuuta, pelkkää tukkia sekä erilaisia tukin ja kuitupuun määriä



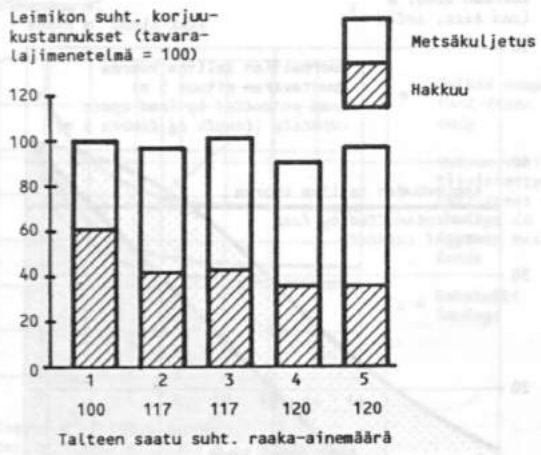
Kuva 7. Autokuorman koko osapuun päälle kuormatun tukkipuumäärän mukaan
Fig. 7. Size of the truck load depending on the amount of sawlogs loaded onto part-trees

kuljetettaessa. Lähtökohtana oli 42 tonnin autoyhdistelmä eli kuorma laskettiin 2 nipun mukaan. Kuormien koot eri vaihtoehdoille on esitetty kuvassa 7. Pelkkää osapuuta sisältävä kuorma oli 15.3 m^3. Yhdistelmän kuormatila rajoittaa kuorman kokoa aina 28 m^3:iin tukkia ja 8 m^3:iin osapuuta saakka. Sen jälkeen yhdistelmän kantavuus rajoittaa myös pelkkää tukkia sisältävän kuorman koon 36 m^3:iin, kun kuormain jätetään varastolle. Pelkkää osapuuta kuljetettaessa kuormain voidaan kuljettaa mukana ilman ylikuormaa. Tukkien tilavuuspaino oli 620 kg/m^3 ja osapuun 870 kg/m^3.

3.5 Korjuu- ja kuljetuskustannukset

Korjuukustannukset vastaavat Etelä-Suomen kesän 1982 kustannuksia ja ne on laskettu tutkimusleimikon olosuhteita vastaaviksi. Hakkuuseen sisältyvät sosiaalikustannukset. Suunnittelu-, mittaus-, työnjohto- ja siirtokustannuksia ei ole otettu huomioon. Leimikon tiheys oli 329 m^3/ha ja metsäkuljetusmatka 250 m.

Tutkittujen menetelmien lisäksi korjuukustannukset on aikatutkimustulosten perusteella laskettu myös kolmelle muulle osapuumenetelmälle.



1 = Tavaralajimenetelmä. Sahatukki, minimilatvaläpimitta 13 cm; n. 2 m kuitupuu kasoihin palstalle

2 = Osapuumenetelmä. Sahatukki, minimilatvaläpimitta 13 cm; n. 5 m osapuu; metsäkuljetus sekakuormissa

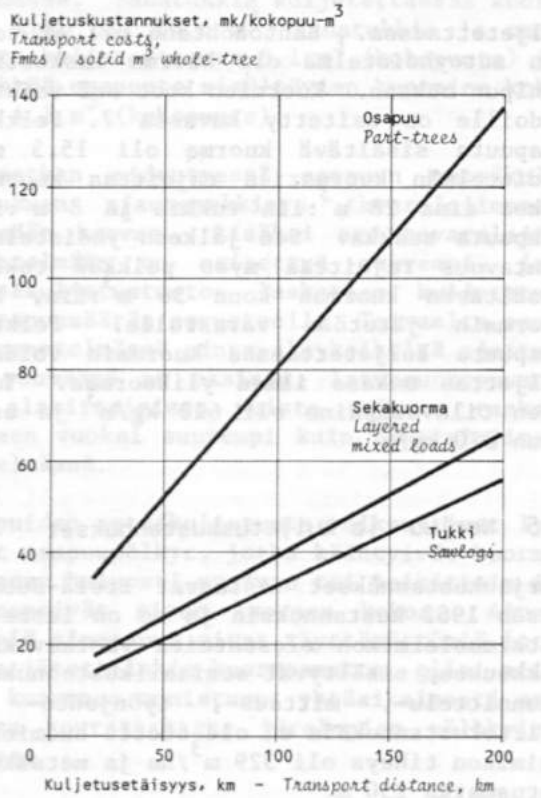
3 = Osapuumenetelmä. Kuten edellä, mutta metsäkuljetuksessa tukki ja osapuu omissa kuormissaan

4 = Osapuumenetelmä. Sahatukki, minimilatvaläpimitta: mänty 15 cm, kuusi 17 cm; n. 5 m osapuu; metsäkuljetus sekakuormissa

5 = Osapuumenetelmä. Kuten edellä, mutta metsäkuljetuksessa tukki ja osapuu omissa kuormissaan

Kuva 8. Leimikon suhteelliset korjuukustannukset

Kuvassa 8 on verrattu, kuinka paljon koko leimikon korjaaminen eri menetelmin maksaa. Osapuumenetelmää käytettäessä leimikon korjuukustannuksissa saavutettiin ajanmenekin perusteella noin 3 %:n säästö tavaralajimenetelmään verrattuna. Tosin tavaralajien valmistukseen ei käytetty rationaalisinta menetelmää. Esimerkiksi pitkän kuitupuun hakkuuseen verrattuna leimikon korjuukustannuksissa ei osapuumenetelmää käyttäen olisi saavutettu säästöä.



Kuva 9. Autokuljetuskustannukset puutavaralajeittain koko puumäärää kohti
Fig. 9. Truck transport costs per solid cubic metre whole-tree by timber assortments

Korjuukustannukset ovat talteen saatua kuutioyksikköä kohti osapuumenetelmissä 13 - 25 % alhaisemmat kuin tavaralajimenetelmässä. Alhaisimmat korjuukustannukset saavutetaan sellaista osapuumenetelmää käyttäen, jossa osapuun ja tukin rajaläpimitta on mäntytukkirunkojen osalta 15 cm ja kuusitukkirunkojen 17 cm ja metsäkuljetus tehdään tukkien ja osapuiden sekakuormina.

Puutavaralajeittaiset autokuljetuskustannukset, jotka on esitetty kuvassa 9, laskettiin kolmelle eri vaihtoehdolle: tukille, sekakuormalle ja osapuulle. Viidenkymmenen kilometrin matkalta sekakuormien kuljetus oli 20 % kalliimpaa kuin pelkän tukin kuljetus. Pelkän osapuun autokuljetuskustannukset olivat 2.4-kertaiset tukin autokuljetuskustannuksiin verrattuna. Eron syynä oli pääasiassa kuorman kokoero. Myös osapuun hitaampi kuormaus- ja purkamisaika vaikutti. Sivulaitojen lisäkustannuksiksi arvioitiin 30 000 mk hankintavaiheessa. Kustannuslaskelmat perusteineen on esitetty liitteissä 1 - 3 (s. 14 - 16). Perusteet ja laskenta poikkeavat puutavaran autokuljetusmaksujen vastaavista.

Leimikoittain kaukokuljetuskustannukset muuttuvat eri puutavaralajien osuuksien mukaan. Olennaista on myös se, kuinka eri tavaralajeja voidaan kuljetuksessa yhdistää samoihin nippuihin. Sekakuormien kuljetuskustannukset muuttuvat sen

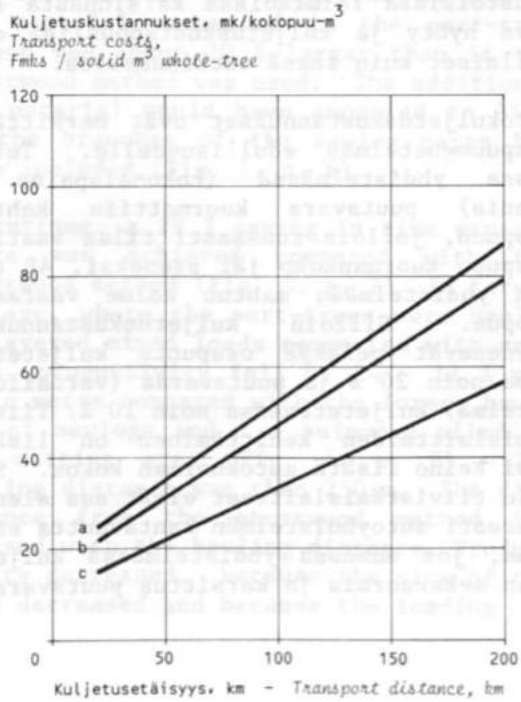
mukaan, mikä on osapuun ja karsitun puutavaran suhde leimikossa ja kuinka eri tavaralajit voidaan yhdistää. Jos kaikki osapuu voidaan kuljettaa puutavaralla tiivistäen, kuljetuskustannukset nousevat tutkimusta vastaavissa olosuhteissa koko puutavaramäärää kohti 50 km:n ajomatkalla noin 4 mk/m^3 eli noin 20 % vertailumenetelmään nähden. Jos osapuusta joudutaan kuljettamaan 20 % ilman tiivistävää puutavaraa, nousevat kuljetuskustannukset 43 % karsitun puutavaran kuljetuskustannuksiin nähden ja 79 %, jos 50 % osapuusta kuljetetaan ilman tiivistävää puutavaraa.

Kuviin 10 ja 11 on laskettu leimikon puumäärän kuljetuskustannukset, kun tukki ja osapuu kuljetetaan eri kuormissa. Menetelmät ovat 1) vertailumenetelmä, 2) tukin 13 cm:n latvaläpimittaan karsinta ja osapuu sekä 3) mäntytukin 15 cm:n ja kuusitukin 17 cm:n latvaläpimittaan karsinta ja loppu osapuuna. Kuvassa 10 kustannukset laskettiin koko puumäärää kohti lisäraaka-aine mukaan lukien ja kuvassa 11 kustannukset laskettiin vain ainespuumäärää kohti. Leimikon autokuljetuskustannukset ovat alhaisemmat 13 cm:n latvaläpimittaan karsittaessa kuin tukin tavanomaisiin läpimittoihin karsittaessa. Eron syynä on pienempi osapuumäärä 13 cm:n latvaläpimittaan karsittaessa. Samoin luonnollisesti ainespuumäärää kohti lasketut kustannukset ovat suuremmat kuin kokopuumäärää kohti lasketut kustannukset. Jos osapuu ja tukki olisi kuljetettu eri kuormissa, olisivat leimikon puumäärän kuljetuskustannukset nousseet yli 40 % (lähes 10 mk/m^3 50 km:n matkalla). Jos viimeksi mainitut kustannukset lasketaan vain ainespuumäärää kohti, olisivat kuljetuskustannukset nousseet lähes 70 % eli noin 15 mk/m^3 50 km:n kuljetusmatkalla.

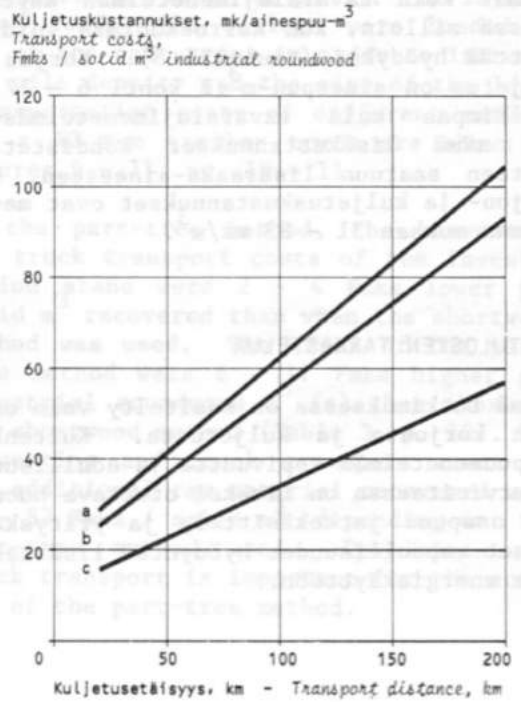
a = Tukki karsittu 15 cm:n (mänty) ja 17 cm:n (kuusi) latvaläpimittaan, osapuu katkottu n. 5-metriseksi
Sawlogs delimbed to a top diameter of 15 cm (pine) and 17 cm (spruce), part-trees bucked to about 5 m lengths

b = Tukki karsittu 13 cm:n latvaläpimittaan, osapuu katkottu n. 5-metriseksi
Sawlogs delimbed to a top diameter 13 cm, part-trees bucked to about 5 m lengths

c = Vertailumenetelmä (tukkia 80 %, 2 m kuitupuuta 20 %)
Shortwood method (sawlogs 80 %, 2-m pulpwood 20 %)



Kuva 10. Leimikon puutavarain autokuljetuskustannukset koko puumäärää kohti. Tukki ja osapuu kuljetettu eri kuormissa
Fig. 10. Truck transport costs per solid cubic metre whole-tree by cutting methods. Sawlogs and part-trees transported in separate loads



Kuva 11. Leimikon puutavarain autokuljetuskustannukset ainespuumäärää kohti. Tukki ja osapuu kuljetettu eri kuormissa
Fig. 11. Truck transport costs per solid cubic metre industrial roundwood by cutting methods. Sawlogs and part-trees transported in separate loads

TAULUKKO 3 Leimikon korjuu- ja kuljetuskustannukset
Table *Harvesting and truck transport costs of the stand*

Erittely *Itemisation*	Tavaralajimenetelmä, sahatukki, n. 2 m kuitupuu kasoihin palstalle *Shortwood method, sawlogs, about 2-m pulpwood in piles in the cutting area*	Osapuumenetelmä, sahatukin minimilatvaläpimitta 13 cm *Part-tree method, minimum top diameter of sawlogs 13 cm*		Osapuumenetelmä, sahatukin minimilatvaläpimitta: mänty 15 cm, kuusi 17 cm *Part-tree method, minimum top diameter of sawlogs: pine 15 cm, spruce 17 cm*	
	mk / kokopuu-m^3 — *Fmks / solid m^3 whole-tree*				
Hakkuu — *Cutting*	21,30	12,86		10,46	
Metsäkuljetus, 250 m *Forest haulage, 250 m*	13,75	16,11		16,11	
		Sekakuormat *Layered mixed loads*	Tukki ja osapuu erikseen *Sawlogs and part-trees in separate loads*	Sekakuormat *Layered mixed loads*	Tukki ja osapuu erikseen *Sawlogs and part-trees in separate loads*
Autokuljetus, 50 km *Truck transport, 50 km*	22,20	26,39	31,78	26,37	34,91
Yhteensä — *Total*	57,25	55,36	60,75	52,94	61,48
	mk / ainespuu-m^3 — *Fmks / solid m^3 industrial roundwood*				
Yhteensä — *Total*	57,25	64,77	71,08	63,53	73,78

Korjuu- ja kuljetuskustannukset osapuumenetelmää käytettäessä ovat talteen saatua kuutioyksikköä kohti noin 2 - 4 mk alhaisemmat kuin tavaralajimenetelmää käytettäessä silloin, kun kerroskuormia voidaan käyttää hyödyksi (taulukko 3). Korjuu ja kuljetus on ainespuu-m^3:ä kohti 6 - 17 mk kalliimpaa kuin tavaralajimenetelmässä. Kun nämä lisäkustannukset kohdistetaan talteen saatuun lisäraaka-aineeseen, sen korjuu- ja kuljetuskustannukset ovat menetelmän mukaan 31 - 83 mk/m^3.

4 TULOSTEN TARKASTELUA

Tässä tutkimuksessa on käsitelty vain osapuun korjuuta ja kuljetusta. Kuitenkin osapuumenetelmän sopivuutta ja edullisuutta arvioitaessa on lisäksi otettava huomioon osapuun jatkokäsittely ja yrityskohtaiset mahdollisuudet hyödyntää lisäraaka-aine energiakäyttöön.

Tutkimus kohdistui yhteen järeäpuustoiseen kuusivaltaiseen leimikkoon. Erilaisissa leimikko-olosuhteissa ja etenkin pienipuustoisissa leimikoissa karsinnasta saatava hyöty ja kuljetuskustannuslisä ovat erilaiset kuin tässä tutkimuksessa.

Autokuljetuskustannukset ovat merkittävät osapuumenetelmän edullisuudelle. Tutkitussa yhdistelmässä (kokonaispaino 42 tonnia) puutavara kuormattiin kahteen nippuun, jolloin runsaasti tilaa vaativan osapuun kuormankoko jäi pieneksi. 48 tonnin yhdistelmään mahtuu kolme vastaavaa nippua. Silloin kuljetuskustannukset pienenevät pelkkää osapuuta kuljetettaessa noin 20 % ja puutavaraa (vertailumenetelmä) kuljetettaessa noin 10 %. Tiivistämislaitteiden kehittäminen on lisäksi yksi keino lisätä autokuorman kokoa. Silloin tiivistämislaitteet eivät saa alentaa suuresti autoyhdistelmän kantavuutta etenkään, jos samassa yhdistelmässä kuljetetaan sekakuormia ja karsittua puutavaraa.

HARVESTING AND TRUCK TRANSPORT OF PART-TREES FROM A CLEAR-CUTTING STAND

By Rainer Häggblom and Olavi Pennanen

S u m m a r y

In the part-tree method, the tree or a part of it is transported un-delimbed for processing. As delimbing is the most time consuming work phase of cutting, its elimination from the forest is a significant aim.

The object of the project was to study the suitability of the part-tree method for harvesting and truck transport of heavy timber from a marked stand, when the sawlog part of the tree is delimbed by a power saw in the forest and the pulpwood parts and pulpwood stems are delivered un-delimbed to the mill.

Due to branches and tops the amount of raw material recovered in the part-tree method was about 20 % larger than if the shortwood method was used. The additional raw material would have amounted to 34 % if the branches of the sawlog parts had been included (Fig. 1, p. 6).

In cutting, a 29 % saving in time expenditure was achieved compared with the shortwood method (Fig. 3, p. 7). In forest haulage, where the part-trees were hauled as layered mixed loads compacted with sawlogs, productivity fell by 14 - 17 % per cubic metre compared with the forest haulage of sawlogs and 2 m pulpwood piled in the cutting area (Fig. 4, p. 8). The hauling distance was then 250 m. The difference from the shortwood method increased with the hauling distance. Productivity decreased, because the size of the load decreased and because the loading of part-trees was slower than that of delimbed timber.

Loading of part-trees onto a truck took 3.5 times as long per cubic metre as the loading of sawlogs. In addition, there were a few extra tasks in truck transport of part-trees compared with that of timber. The ratio of the unloading times of part-trees compared with sawlogs was approximately the same as the ratio of their loading times. The size of the pure part-tree load (42 ton trailer truck and 2 bunches) was 15.3 solid m^3, that of a layered mixed load of part-trees and sawlogs 33.8 solid m^3, and a sawlog load 36.0 solid m^3 (Fig. 7, p. 9). In layered mixed loads, the sawlogs were loaded on top of the part-trees in order to increase the pile density and the size of the load. Transportation costs of different methods for a 42 ton trailer truck are shown in Figures 9 - 11, pp. 10 - 11.

In the part-tree method, the harvesting and truck transport costs of the investigation stand were 2 - 4 Fmks lower per solid m^3 recovered than when the shortwood method was used. The costs of the part-tree method were 6 - 17 Fmks higher per industrial roundwood m^3 (s) than those of the shortwood method (Table 3, p. 12). The harvesting and truck transport costs of the additional raw material recovered were 31 - 83 Fmks / solid m^3 depending on the part-tree method used. Development of truck transport is important for the economy of the part-tree method.

PUUTAVARAN AUTOKULJETUSKUSTANNUSTEN LASKELMA

1 Lähtötiedot

Puutavaralaji	tukki
Autoyhdistelmä	3-akselinen vetoauto ja 2-akselinen perävaunu
Käyttöaika, h/a	2 500
Kuorma, m^3	36.0
Kokonaispaino, t	42
Kantavuus, t	27
Yhdistelmän hinta yht. mk	820 000
Vakuutukset, liikennöimismaksut, hallinto ym. kustannukset, mk/a	46 800

2 Perusteet	Kuljetusetäisyys, km 20	50	100	200
Ajonopeus, km/h	45.0	58.8	67.0	72.0
Kuorma-aika, h	2.3	3.1	4.4	7.0
Kuormia vuodessa	1 077.8	798.4	566.1	357.9
Ajosuorite, 1 000 km/a	43.1	79.8	113.2	143.2
Kuljetussuorite, 1 000 m^3/a	38.8	28.7	20.4	12.9
Polttoaineen kulutus, 1/100 km	83.1	62.0	52.3	45.1

3 Kustannukset, 1 000 mk/a				
Kiinteät yhteensä	216.8	233.8	248.5	261.8
Muuttuvat yhteensä	166.9	216.6	252.6	273.7
Palkat	156.7	156.7	156.7	156.7
Toimintaylijäämä	19.4	22.4	24.6	25.8
Kokonaiskustannukset	559.8	629.5	682.4	718.0

4 Yksikkökustannukset				
mk/km	12,99	7,88	6,03	5,02
mk/m^3	14,43	21,90	33,48	55,73

PUUTAVARAN AUTOKULJETUSKUSTANNUSTEN LASKELMA

1 Lähtötiedot

Puutavaralaji		osapuu
Autoyhdistelmä		3-akselinen vetoauto ja 2-akselinen perävaunu (42 t)
Käyttöaika,	h/a	2 500
Kuorma,	m^3	15.3
Kokonaispaino,	t	29
Kantavuus,	t	27
Yhdistelmän hinta yht.	mk	850 000
Vakuutukset, liikennöimismaksut, hallinto ym. kustannukset,	mk/a	46 800

2 Perusteet

		Kuljetusetäisyys, km			
		20	50	100	200
Ajonopeus,	km/h	45.0	58.8	67.0	72.0
Kuorma-aika,	h	2.5	3.3	4.6	7.2
Kuormia vuodessa		987.8	747.9	540.3	347.4
Ajosuorite,	1 000 km/a	39.5	74.8	108.1	139.0
Kuljetussuorite,	1 000 m^3/a	15.1	11.4	8.3	5.3
Polttoaineen kulutus,	1/100 km	81.6	58.3	47.9	40.3

3 Kustannukset, 1 000 mk/a

Kiinteät yhteensä	213.8	233.1	250.1	265.8
Muuttuvat yhteensä	153.5	196.9	229.1	248.1
Palkat	156.7	156.7	156.7	156.7
Toimintaylijäämä	18.6	21.2	23.1	24.3
Kokonaiskustannukset	542.5	607.9	659.0	694.9

4 Yksikkökustannukset

mk/km	13,73	8,13	6,10	5,00
mk/m^3	35,90	53,13	79,72	130,75

PUUTAVARAN AUTOKULJETUSKUSTANNUSTEN LASKELMA

1 Lähtötiedot

Puutavaralaji		osapuu ja tukki
Autoyhdistelmä		3-akselinen vetoauto ja 2-akselinen perävaunu
Käyttöaika,	h/a	2 500
Kuorma,	m^3	32.0
Kokonaispaino,	t	42
Kantavuus,	t	27
Yhdistelmän hinta yht.	mk	850 000
Vakuutukset, liikennöimismaksut, hallinto ym. kustannukset,	mk/a	46 800

2 Perusteet

		Kuljetusetäisyys, km			
		20	50	100	200
Ajonopeus,	km/h	45.0	58.8	67.0	72.0
Kuorma-aika,	h	2.6	3.5	4.7	7.3
Kuormia vuodessa		944.8	723.0	527.1	341.9
Ajosuorite,	1 000 km/a	37.8	72.3	105.4	136.8
Kuljetussuorite,	1 000 m^3/a	30.2	23.1	16.9	10.9
Polttoaineen kulutus,	1/100 km	87.7	63.8	53.2	45.6

3 Kustannukset, 1 000 mk/a

Kiinteät yhteensä	210.0	229.8	247.2	263.6
Muuttuvat yhteensä	154.1	202.1	239.6	264.3
Palkat	156.7	156.7	156.7	156.7
Toimintaylijäämä	18.7	21.5	23.8	25.3
Kokonaiskustannukset	539.5	610.1	667.2	709.8

4 Yksikkökustannukset

mk/km	14,28	8,44	6,33	5,19
mk/m^3	17,85	26,37	39,55	64,88

ISBN 951-673-088-4
ISSN 0356-7257

METSÄTEHON
TIEDOTUS
METSÄTEHO REPORT

381

Tukkien katkontatavan vaikutus sydäntavaran saantoon

INFLUENCE OF SAWLOG BUCKING METHOD
ON YIELD OF CENTRE GOODS

RAINER HÄGGBLOM
OLAVI PENNANEN

HELSINKI 1983

Metsätehon tiedotus — *Metsäteho Report* 381

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

TUKKIEN KATKONTATAVAN VAIKUTUS SYDÄNTAVARAN SAANTOON

Influence of Sawlog Bucking Method on Yield of Centre Goods

Rainer Häggblom
Olavi Pennanen

METSÄTEHO, Fabianinkatu 9 B, 00130 HELSINKI 13

ISBN 951-673-089-2
ISSN 0356-7257

Kauppakirjapaino Oy, Helsinki

SISÄLLYS
Contents

	Sivu *Page*
TIIVISTELMÄ	4
1 JOHDANTO	5
2 TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄ	5
3 TUTKIMUSTULOKSET	6
3.1 Tasaukset	6
3.2 Sydäntavaran saanto	9
3.3 Tukkien ja sydäntavaran laatu	9
3.4 Katkontatapojen taloudellinen vertailu	10
3.5 Tasausvara	10
4 TULOSTEN TARKASTELU JA PÄÄTELMÄT	13
KIRJALLISUUTTA	14
Summary	14

TIIVISTELMÄ

Määrämittaan katkonnan vaikutusta sydäntavaran saantoon tutkittiin Pohjan Saha Oy:ssä koesahaamalla 4 453 tukkia, joista puolet oli katkottu määrämittaan ja puolet silmävaraisesti.

Männyn sydäntavaran tyvitasauksen pituus oli 5.1 cm ja kuusen 3.5 cm. Katkontatapojen välillä ei ollut eroa. Latvatasaukset sen sijaan poikkesivat katkontatavoittain. Määrämittaisissa mäntytukeissa ne olivat keskimäärin 4.3 cm ja kuusitukeissa 4.7 cm lyhyempiä kuin silmävaraisesti katkotuissa. Pituusero johtui lähes kokonaan sydäntavaran moduulitasauksesta. Laatutasauksessa katkontatapojen välillä ei ollut merkitsevää eroa.

Kun tukit katkottiin määrämittaan, männyn sydäntavaraa saatiin 0.4 prosenttiyksikköä ja kuusen 0.9 prosenttiyksikköä enemmän, kuin jos ne katkottiin silmävaraisesti. Saantoeron perusteella männyn sydäntavaran keskihinnan ja hakehyvityksen erotuksen tulee olla vähintään 600 mk/m^3 ja kuusen vähintään 425 mk/m^3, jotta tukkien määrämittaan katkonnasta aiheutuneet lisäkustannukset korvautuisivat.

Sydäntavaran laadussa katkontatapojen välillä ei havaittu eroa. Lautojen laatua ei selvitetty.

Sekä mänty- että kuusitukeille 10 cm:n tasausvara oli riittävä. Tasausvaraa olisi ollut mahdollista lyhentääkin. Se edellyttää kuitenkin tukkien tarkkaa pituuskatkontaa ja sahatavaran huolellista tasausta sekä varastointivikojen ja kuivumishalkeamien vähäistä esiintymistä.

Tuloksia tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon, että katkontatapojen välinen saantoero ja tasausvara ovat riippuvaisia sahasta ja niistä olosuhteista, joissa saha toimii.

1 JOHDANTO

Määrämittaan katkonnassa hakkuumies katkoo tukit metsässä mittanauhaa apuna käyttäen ±3 cm:n tarkkuudella tukkipituuksiin (310 cm, 340 cm, 370 cm ... 550 cm, 580 cm, 610 cm). Kahden lähimmän tukkipituuden ero on 30 cm. Tukit ovat silloin noin 10 cm pitempiä kuin lähin sydäntavaran pituus.

Silmävaraisessa katkonnassa taas tukin pituutta ei mitata ja se jakautuu tasaisesti sydäntavaran pituuksien (myös 30 cm:n kerrannaisia) välille, joten poikkeama lähimpään sydäntavaran pituuteen on keskimäärin 15 cm. Siten sydäntavaran keskimääräinen tasausvaran pituus on teoriassa määrämittaan katkonnassa lyhyempi kuin silmävaraisessa katkonnassa.

Katkontatavoissa voi olla eroa lisäksi laadun ja kapenemisen huomioon ottamisessa.

Katkontatapojen vaikutusta sydäntavaran tasaukseen selvittivät yhdessä Metsäteho, Pohjan Saha Oy ja Puulaaki Oy koesahauksin Pohjan Sahalla Vilppulassa. Tutkimuksen suorittamiseen myötävaikuttivat etenkin metsänhoitaja Juhani Pöllänen Puulaaki Oy:stä sekä tuotantopäällikkö Eero Partanen, sahauspäällikkö Juhani Nenonen ja laadunvalvoja Markku Tenkanen Pohjan Saha Oy:stä.

2 TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄ

Tutkimusaineisto koostui seitsemän Puulaaki Oy:n vakinaisen hakkuumiehen tekemistä tukeista. Määrämittaan ja silmävaraisesti katkottiin vierekkäisillä, mahdollisimman samanlaisilla palstoilla. Kaikkiaan tutkimusaineistona oli 7 584 tukkia (taulukko 1). Määrämittaan ja silmävaraisesti katkotut tukit pidettiin erillään kaikissa korjuu-, kuljetus- ja jalostusvaiheissa.

TAULUKKO 1 Aineiston määrä

Katkontatapa	Tukit yhteensä, kpl		Koesahatut tukit, kpl	
	Mänty	Kuusi	Mänty	Kuusi
Määrämittainen	1 684	1 578	1 253	546
Silmävarainen	2 731	1 591	2 084	570

Tukit lajiteltiin sahan tavanomaisen luokittelun mukaan laadultaan A- ja B-tukkeihin sekä läpimittaluokkiin. Laatuluokitus perustui pääasiassa oksaisuuteen. Latvaläpimitan perusteella tukit luokiteltiin seuraavasti.

Asetelma 1 Tukkiluokat

MÄNTYTUKIT		KUUSITUKIT	
175A	130B	140A	130B
185A	140B	150A	140B
195A	155B	160A	150B
210A	165B	170A	160B
220A	175B	180A	170B
230A	185B	190A	180B
240A	195B	200A	190B
250A	210B	210A	200B
260A	220B	220A	210B
270A	230B	230A	220B
285A	240B	240A	230B
300A	250B	250A	240B
320A	260B	260A	250B
	270B	270A	260B
	285B	285A	270B
		300A	285B
		320A	
		420A	

Luokittelussa kustakin tukista mitattiin pituus, kuoreton ja kuorellinen latvaläpimitta, kartiokkuus, tilavuus ja lenkous. Lenkous mitattiin siten, että mitattiin tukin keskiviivan pisin etäisyys tyvi- ja latvaleikkauksien keskipisteiden kautta kulkevasta suorasta. Nämä seikat otettiin huomioon tukkien läpimittaluokituksessa.

Asetelma 2 Tutkimusaineiston keskimääräistunnukset

	Määrämittaan katkotut	Silmävaraisesti katkotut
MÄNTYTUKIT		
Pituus, cm	504	496
Kuorellinen latvaläpimitta, mm	197	192
Lenkous, mm	25	26
KUUSITUKIT		
Pituus, cm	495	515
Kuorellinen latvaläpimitta, mm	205	207
Lenkous, mm	21	21