

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
metsäteknologian tutkimusosasto
5/1979

PIENKOKOPUUN KAUKOKULJETUS

Kuormaa tiivistävän prototyyppilaitteiston kokeilu

MARTTI SALAKARI, HANNU KALAJA, ERKKI SALO

HELSINKI

ALKUSANAT

Tutkimustyömaan suunnittelusta ja valvonnasta ovat vastanneet
mt. H. KALAJA ja tj. E. SALO. Tutkimusapulaisena toimi J.
SCHILDT.

Puhtaaksikirjoituksesta ovat huolehtineet nti R. SIEKKINEN
ja nti L. TURUNEN sekä piirroksista rva L. MURONRANTA.

MARTTI SALAKARI

SISÄLLYSLUETTELO

	sivu
1. TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA SUORITUS	4
2. KALUSTO	4
3. TYÖMENETELMÄT	5
4. PUUSTOTIEDOT JA VARASTON LAATU	7
5. KUORMIEN KOKO JA PAINO	8
6. TILAVUUSPAINO JA TILAVUUDEN MUUTOS	12
7. KUORMATILAN JA PERÄVAUNUN OMINAISUUKSIEN KÄYTTÖ	14
71. Yleistä	14
72. Perävaunun kuormatilan käyttö	15
73. Puun koon vaikutus kuormien ominaisuuksiin	19
74. Puun koon vaikutus pinokuution ja hakekuution suhteeseen	21
75. Tiivistyslaitteiston käytön tehokkuus	22
8. AJANKÄYTTÖ JA SEN JAKAUMA METSÄVARASTOLLA	23
81. Ajankäyttö metsävarastolla	23
82. Ajankäytön jakauma metsävarastolla	26
9. AJANKÄYTTÖ JA SEN JAKAUMA KESKUSVARASTOLLA	30
91. Ajankäyttö keskusvarastolla	30
92. Ajankäytön jakauma keskusvarastolla	32
10. KUORMAUS- JA PURKUTYÖN TUOTOS	35
11. KUORMAUS- JA PURKUTAAKKOJEN KOKO SEKÄ MÄÄRÄ	38
12. TULOSTEN TARKASTELU	40
121. Vertailu pinotavaran kuljetukseen ja muihin kokopuun kuljetustutkimuksiin	40
122. Ajankäyttö ja tuotos	41
123. Vertailu muihin menetelmiin ja kustannukset	44
14. PÄÄTELMÄT	48
15. YHTÄLÖT	49
16. LÄHDELUETTELO	52

1. TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA SUORITUS

Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää kokopuukuormaa tiivistävän perävaunun ominaisuuksia sekä keskusvarastohaketuksen edellyttämää pienkokopuun kaukokuljetusta.

Tutkimusaineisto kerättiin Osuuskunta Metsäliiton koetyömailta Tuusniemeltä, Kaavilta ja Siilinjärveltä kesä-heinäkuussa 1978 normaalilla aikatutkimusmenetelmällä.

Metsäliiton puolesta koetyömaista vastasivat MH UUNO KAUHANEN ja Mt JOUKO SAVOLAINEN. Koetyömailta kerätty puu haketettiin keskusvarastolla.

2. KALUSTO

Ajoneuvoyhdistelmä oli normaalivarusteinen puutavara-auto. Perävaunuun oli Yhteisostot Oy JYKI-TEHTAAT suunnitellut ja asentanut prototyypilaitteiston, jolla kuorma voidaan tiivistää. SITRAn Lyhytkiertopuun kasvatus- ja käyttöprojekti rahoitti osittain perävaunun muutostyöt.

Vetosuton omistaja ja ajoneuvoyhdistelmän kuljettaja oli autoilija PERTTI LÄHIVAARA. Autossa oli mukana apumies. Perävaunun omisti Yhteisostot Oy.

Tiivistyslaitteiston toiminta perustuu kuormauksen ajaksi laajennettavaan kuormatilaan. Perävaunun tolpat käännetään auki noin 30 asteen kulmaan sivulle ja tolppien jatkokappaleet nostetaan pystyyn. Kun kuorma on valmis toimitaan seuraavasti:

- tolppien jatkokappaleet käännetään kuorman päälle
- toisen puolen tolppien ja niiden jatkokappaleiden mukaisesti ohjatut vaijerit kiinnitetään toisen kyljen tolppien jatkokappaleiden päihin
- tiivistetään kuorma kelaamalla vaijerit kuormatilan alle oikealle asennetun akselin vaijerikeloille, jolloin tolpat nousevat pystyyn.

Vaijerikela-akselia pyörittää nestemoottori, joka saa voimansa auton hydraulipumpusta.

Kuormatilan ulkopuolelle työntyvistä oksista aiheutuvan siistimistyön vähentämiseksi on perävaunun tolppien väliin asennettu panssari-verkot. Vetovaunussa käytettiin muutamien kuormien ajan vanerilevyjä, joiden tarkoitus oli myös siistimistyön vähentäminen.

Perävaunun pituus oli 6,5 m ja vetovaunun kuormatilan 7,0 m. Perävaunun yleisrakenne selviää kuvasta 1.

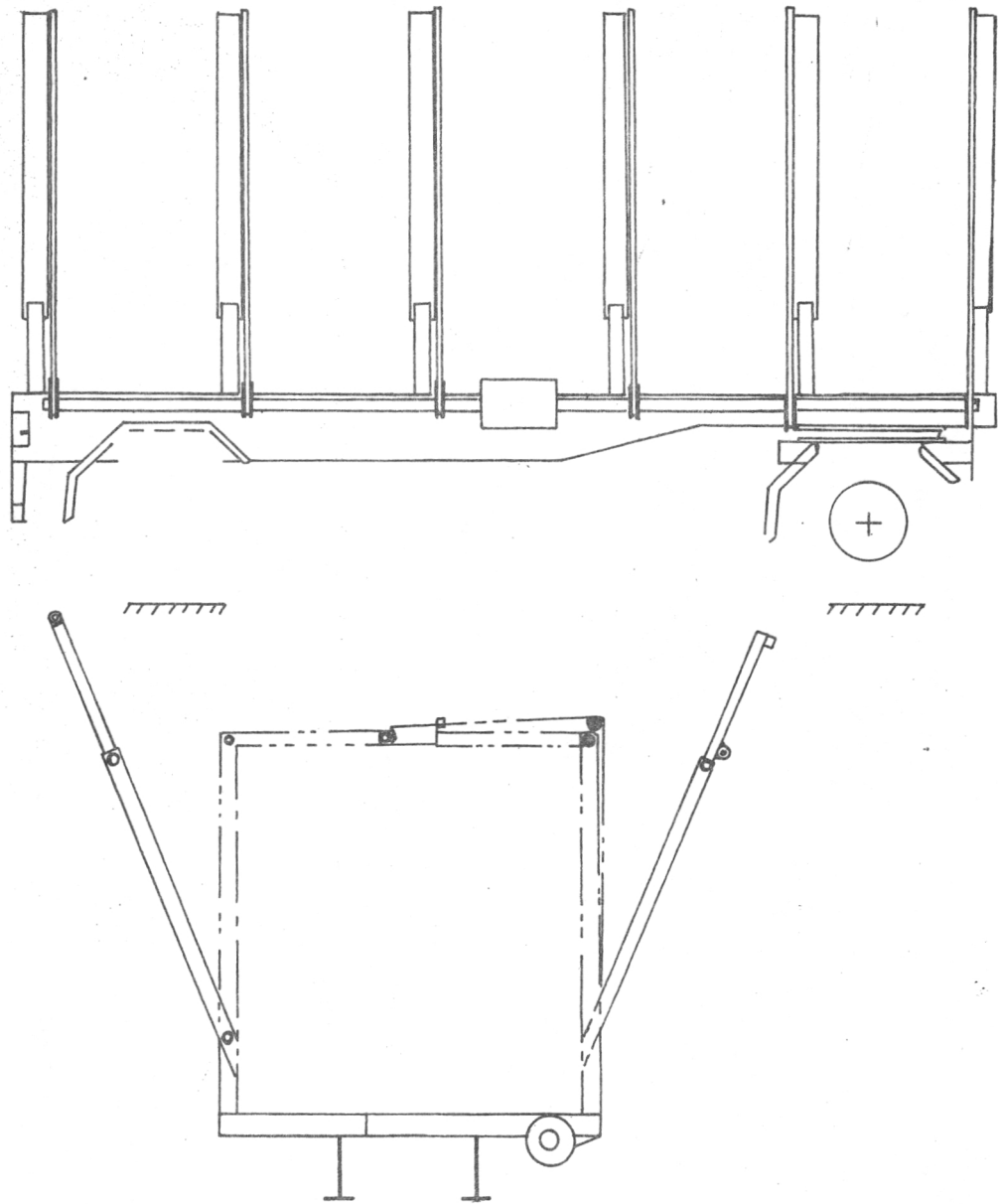
Kuormista osa tehtiin ja purettiin vetoauton omalla kuormaimella, osa erilliskuormaimella.

Kuormien siistiminen ja joidenkin kokopuiden pituuden vuoksi käytettiin myös jonkinverran moottorisahaa, joka on kuitenkin työturvallisuuden kannalta erittäin vaarallinen työväline kyseisissä töissä.

3. TYÖMENETELMÄT

Kuljetettava puusto oli suurikokoista harmaaleppää. Suurimmat puut oli jo palstalla katkottu 6 - 7 metrisiksi. Lähes oksattomat tyvi-osat pyrittiin kuormaamaan vetoautoon. Kuormauksen yhteydessä käytettiin useita eri työtapoja, jotka olivat kuormakohtaisia. Selvää perusmenetelmää ei ollut ja auton kuormaus ja varusteet oli kuormittain yhdistelmä seuraavista vaihtoehtoista:

1. Osa taakoista katkottu käsityönä moottorisahalla kuormauksen yhteydessä taakan ollessa kuormaimen kourassa.
2. Osa taakoista katkaistu moottorisahalla pinossa ennen kuormausta.
3. Vetovaunuun asennettu vanerilevyt siistimistyön vähentämiseksi (molemmille sivuille edestä alkaen kuormatilan puoleen väliin).
4. Perävaunuun lastattu puolet tyvi eteenpäin puolrt tyvi taaksepäin.
5. Veto- ja perävaunua lastattu samanaikaisesti
6. Lastaus erilliskuormaimella
7. Puut vastakaadettuja, lehdellisiä.



Kuva 1. Yleispiirros tiivistyslaitteiston rakenteesta.

Työmenetelmiä vaihdeltiin jonkin verran olosuhteista riippuen. Kokemuksen karttuessa menetelmät kehittyivät ja vakiintuivat. Myös varustusta vaihdettiin kokeen aikana.

Jäljempänä tutkimuksen tuloksia käsittelevissä taulukoissa on käytetty työtapa-, kalusto-, ym. luettelon numerointia koodinumerointina.

4. PUUSTOTIEDOT JA VARASTON LAATU

Taulukko 1. Puustotiedot pinoittain. Puulaji harmaaleppä

	Yk- sik- kö	Tuusniemi				Kaavi				Siilinjärvi	
		Pino n:o									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D _{1,3}	cm	9,1	10,1	11,0	11,0	4,6	12,4	12,0	9,3	9,7	9,4
Pituus	m	9,2	10,5	10,0	10,0	7,8	10,3	10,2	9,5	9,6	9,9
Oksaraja	m	4,3	4,7	5,0	5,0	3,2	5,2	5,1	4,6	4,7	4,6
Keskikoko runkopuuta	dm ³	29,4	40,6	45,8	45,8	6,5	59,4	55,2	31,5	34,6	32,5
Keskikoko kokopuuta	dm ³	36,0	49,2	55,0	55,0	8,5	70,7	65,7	38,4	41,9	39,0
Oksien määrä	dm ³	6,6	8,6	9,2	9,2	2,0	11,3	10,5	6,9	7,3	6,5

Pinot 1 - 8 haketettiin lähes välittömästi kuljetuksen jälkeen ja hakkeesta otettiin kosteusnäytteet. Erän keskimääräinen kosteusprosentti oli 37 %, jota voi pitää alhaisena. Pinoista 9 ja 10 ei kosteusnäytettä otettu, mutta ne kuljetettiin välittömästi kaadon jälkeen kaatotuoreina. Tuloksen perusteella näyttää keväällä kaadettu leppä kuivuvan pinossa suhteellisen nopeasti.

Varastojen laatu oli seuraava:

- kuormauspaikkaluokka	I	pinot	6 ja 8
"	II	"	1, 2, 3, 4, 5 ja 10
"	III	"	7 ja 9

5. KUORMIEN KOKO JA PAINO

Taulukon 2 luvut ovat eri menetelmien keskiarvoja.

Jos selvästi vajaaksi jääneet kuormat jätetään pois vaihteli kuormien koko (perävaunun kuorma tiivistetty) seuraavasti:

	Perävaunu	Vetovaunu p-m ³	Yhdistelmä
- kuormaus auton kuormaimella, kosteus 32 - 42 %, lehdet osittain varisseet	36,6 - 43,6	38,0 - 41,7	72,3 - 83,3
- kuormaus erilliskuormaimella, puut kaatotuoreita, lehdellisiä	32,5 - 39,3	37,2 - 41,6	70,9 - 77,3

Löysän perävaunun kuorman koko vaihteli välillä 58,8 - 90,6 p-m³ puun ollessa suhteellisen kuivaa. Puun ollessa tuoretta vaihteli perävaunun löysäkuorma välillä 53,5 - 64,7 p-m³.

Kuormien paino vaihteli seuraavasti:

	Perävaunu	Vetovaunu t	Yhdistelmä
- kuormaus auton kuormaimella, kosteus 32 - 42 %, lehdet osittain varisseet	6,0 - 9,4	3,3 - 9,7	9,3 - 19,1
- kuormaus erilliskuormaimella, puut kaatotuoreita, lehdellisiä	8,0 - 9,3	6,9 - 9,5	15,2 - 18,8

Auton kuormaimen paino oli 2 300 kg. Erilliskuormainta käytettäessä vetovaunun kuorma oli keskimäärin 1 600 kg painavampi kuin käytettäessä auton omaa kuormainta. Erilliskuormainta käytettäessä oli puu kaatotuoretta. Koska kuitenkin kuorman koko oli pienempi kuin kuivemmalla puulla on osa lisääntyneestä painosta katsottava kuormaimen poisjätöstä johtuvaksi.

Taulukko 2. Kuormien koko ja paino (sisältää myös punnitsemattomat kuormat).

1) Mene- telmät	Kuormia, kpl	Paino tn	Perävaunu		Vetovaunu		Yhteensä		
			Tiivis- tämätön ³ p-m	Tiivis- tetty	Paino tn	Paino p-m ³	Tiivis- tämätön ³ p-m	Tiivis- tetty	
*	2	8,1	79,7	40,6	6,0	38,5	14,1	118,2	79,1
1	2	8,0	68,7	38,4	6,5	40,0	14,5	108,7	78,4
13	6	8,0	67,3	39,4	6,3	37,4	14,3	104,7	76,8
34	3	6,2	86,0	38,0	3,8	39,5	10,0	125,5	77,5
135	3	8,2	62,6	38,8	7,8	40,7	15,9	103,3	79,5
235	1	-	47,6	35,8	-	38,0	-	85,6	73,8
167	6	8,1	55,4	34,7	7,9	38,7	15,9	94,1	73,4
Keskim.	23	7,8	66,3	37,8	6,8	38,8	14,6	105,1	76,7

1) Menetelmät, ks. kappale 3

* Harjoituskuormia

Vetovaunun ja perävaunun kokonaispaino vaihteli seuraavasti:

	Mitattu kokonaispaino	Sallittu kokonaispaino
- Vetovaunu kuormain mukana, puun kosteus 37 %	15,0 - 23,6 t	22,0 t
- Vetovaunu ilman kuormainta, puu tuoretta	18,5 - 21,1 t	
- Perävaunu, puun kosteus 37 %	12,9 - 16,3 t	20,0 t
- Perävaunu, puu tuoretta	14,9 - 16,2 t	

Sallitut kantavuudet olivat:

- Vetovaunu, sallittu kuorma	12,3 t
- Perävaunu, sallittu kuorma (laskettu perävaunun tyhjäpainon avulla)	13,1 t

Kuten huomataan kuorman paino jäi alle sallitun kaikissa koekuormissa sekä veto- että perävaunussa. Sensijaan vetoauton kokonaispaino ylitti sallitun kokonaispainon parilla koekuormalla. Perävaunun kokonaispaino jäi kaikilla kuormilla sallittua pienemmäksi.

Keskimäärin suhtautuivat koekuormat painorajoihin seuraavan asetelman mukaisesti:

	Paino kuormattuna keskimäärin t	Vajaus keskimäärin t	%
1. Kuormain mukana, puun kosteus 37 %			
Vetovaunu	20,1	1,9	9
Perävaunu	14,6	5,4	27
2. Ilman kuormainta, puu tuoretta			
Vetovaunu	19,5	2,5	11
Perävaunu	15,3	4,7	23
	Kuorman paino keskimäärin t	Vajaus keskimäärin t	%
1a. Kuormain mukana, puun kosteus 37 %			
Vetovaunu	6,2	3,8	38
Perävaunu	7,8	5,4	41
2a. Ilman kuormainta, puu tuoretta			
Vetovaunu	7,9	4,5	45
Perävaunu	8,4	4,7	36

Näyttää siltä, ettei kuormaimen poisjätö ole tarpeellista koska vetovaunun tiivistämätön kuorma jää aina luvallista pienemmäksi.

Perävaunun kuormat jäivät selvästi painoltaan alamittaisiksi. Kuormaa olisi mahtunut 4 - 6 t lisää. Syy löytyy perävaunun mitoista, kuormat jäivät esim. liian mataliksi. Kyseessä oli kuitenkin prototyypin koe ja matalaksi jäänyt kuormatila voidaan korjata.

Taulukko 3. Kokopuukuorman kiintotilavuus.

1) Menetelmä	Perävaunu	Vetovaunu m ³	Yhteensä
✖	12,2	11,6	23,8
1	11,5	12,0	23,5
13	12,5	12,0	24,5
34	9,5	9,8	19,3
135	12,6	13,3	25,9
235	5,2	5,5	10,7
167	10,4	11,6	22,0
Keskim.	11,2	11,5	22,6

1) Menetelmät, ks. kappale 3

✖ Harjoituskuormia

Taulukossa 3 on kuormien kiintotilavuudet. Taulukon kuutio-
määrät on muunnettu saadusta hakemäärästä kertoimella 0,45.
Koska haketiedot saatiin kuitenkin vain pinokohtaisina, ne on
jouduttu muuttamaan kuormakohtaisiksi kuormien koon avulla
eikä taulukon lukuja voi pitää tarkkoina.

Eri kuormausmenetelmien vaikutuksesta kuormien kokoon ei
aineiston pienuuden vuoksi voi tehdä johtopäätöksiä. Huonoin
on tulos ollut menetelmällä, jossa perävaunun puut kuormattiin

järjestyksessä: joka toinen taakka tyvi eteen ja joka toinen tyvi taakse. Työtapaa jouduttiin käyttämään, koska käsitellyn erän puut olivat selvästi pienempiä kuin muilla kuormilla. Lisäksi kuormaustavasta johtuen kuormatilan keskivaiheille kertyi "mälli", joka heikensi tiivistämisen vaikutusta. Kuormaaminen tyvet vastakkain olisi voinut muuttaa tulosta.

6. TILAVUUSPAINO JA TILAVUUDEN MUUTOS

Taulukko 4. Tilavuuspaino ja sen muutos menetelmittäin.

1) Menetelmä	Perävaunu			Vetovaunu kg/p-m ³	Koko yhdistelmä		
	Tiivistämätön kg/p-m ³	Tiivistetty	Muutos %		Tiivistämätön kg/p-m ³	Tiivistetty	Muutos %
*	102	200	96	156	119	179	50
1	123	209	70	154	137	181	32
13	119	203	71	168	137	186	36
34	72	163	126	96	79	129	63
135	131	211	61	192	154	200	30
235	-	-	-	-	-	-	-
167	146	233	60	204	169	217	28
Keskim.	121	210	74	172	140	190	36

1) Menetelmät, ks. kappale 3

* Harjoituskuormia

Taulukon 4 luvut ovat menetelmittäisiä keskiarvoja. Koko aineiston puitteissa tilavuuspaino (tiivistetty) ja sen muutos vaihteli:

	Vaihtelu	Muutos
- Vetovaunu, kuormain mukans, puun kosteus 37 %	82 - 235 kg/p-m ³	-
- Vetovaunu, ilman kuormainta, puut tuoreita	185 - 228 "	-
- Perävaunu, puun kosteus 37 %	160 - 246 "	50 - 137 %
- Perävaunu, puut tuoreita	197 - 262 "	59 - 66 "

Vastaavasti koko tiivistetyn ajoneuvoyhdistelmän tilavuuspaino vaihteli:

- Puun kosteus 37 %	120 - 240 kg/p-m ³
- Puut tuoreita	198 - 243 "

Perävaunun löysä tilavuuspaino vaihteli:

- Kuivat puut (37 %)	67 - 159 kg/p-m ³
- Tuoreet puut	128 - 160 "

Tilavuuspainon vaihtelu oli suurempaa kuivilla puilla. Tuoreitten puiden koko ei vaihdellut juuri lainkaan, mutta kuivempien puiden joukossa oli eriä, joiden keskiläpimitta jäi alle 6 cm:n.

Taulukko 5. Tilavuuden muutos.

1) Menetelmä	Perävaunu		Koko yhdistelmä	
	Tilavuuden muutos p-m ³	%	Tilavuuden muutos p-m ³	%
*	39,1	49	39,1	33
1	30,3	44	30,3	28
13	27,9	41	27,9	27
34	48,0	56	48,0	38
135	23,8	38	23,8	23
235	11,8	25	11,8	14
167	20,7	37	20,7	22
Keskim.	28,4	43	28,4	22

1) Menetelmä, ks. kappale 3

* Harjoituskuormia

Koska taulukon 5 luvut ovat menetelmittäisiä keskiarvoja on seuraavassa asetelmassa koko aineiston vaihtelurajat:

	Tilavuuden muutos $p-m^3$	Tilavuuden muutos %
- Kuormain mukana, puun kosteus 37 %	20,3 - 51,8	33 - 58
- Ilman kuormainta, puut tuoreita	19,9 - 25,4	37 - 40

Metsätehon tekemässä kokeessa (PELTOLA 1976) kuorma, jossa puolet oli tyvet meno- ja puolet tulosuuntaan, oli näin tehty kuorma tiiviydeltään paras. Tässä kokeessa tiiviys on heikoin (menetelmä 34). Tulosten päinvastaisuus johtuu puuston kokoeroista. Tässä kokeessa $D_{1,3}$ oli 4,6 cm ja Metsätehon 7,3 - 7,7 cm.

Taulukoista ei voi päätellä kokeiltujen kuormausmenetelmien ym. keskinäistä edullisuutta. Kulloinenkin menetelmä joudutaan valitsemaan puun koon mukaan.

7. KUORMATILAN JA PERÄVAUNUN OMINAISUUKSIEN KÄYTTÖ

71. Yleistä

Koska kyseessä oli prototyyppilaitteiston ja suhteellisen oudon puutavaran ajon kokeilu, yritetään tässä kappaleessa selvittää miten tehokkaasti ajoneuvoyhdistelmää esikokeessa käytettiin. Tavoite on kartoittaa kohdat, joihin menetelmien ja laitteiston kehittämisessä on keskityttävä.

Esityksen havainnollistamiseksi on käytetty yksinkertaisia käyriä, jotka soveltuvat vain tähän aineistoon.

Selittäväenä muuttujana on joissain käyrissä käytetty kantoläpimittaa (D_k), koska rinnankorkeusläpimitan mittaaminen kuormista tai pinoista ei onnistu. Kantoläpimitat voi kuitenkin tarvittaessa muuttaa rinnankorkeusläpimitoiksi yhtälöllä $D_{1,3} = 0,83 D_k - 0,27$, johon aineisto on kerätty samoista leimikoista kuin kuljetetut kokopuutkin.

72. Perävaunun kuormatilan käyttö

Seuraaville sivuille on koottu perävaunun käytön tehokkuutta ja siihen vaikuttaneita tekijöitä kuvaavia käyriä:

Kuvista 2 ja 3 voi tehdä seuraavat huomiöt:

- Kuorman koko ennen tiivistämistä on vaikuttanut selvästi lopullisen kuorman kokoon (kuva 2).
- Löysän kuorman tilavuuspaino ei ole vaikuttanut havaittavasti kuorman kokoon tiivistettynä (kuva 3). Kun kuorman lähtötilavuuspaino oli välillä 120 - 160 kg/p-m³, vaihteli tiiviin kuorman koko 30:stä 42 p-m³:iin.

Kuvien 2 ja 3 perusteella voi tehdä seuraavat johtopäätökset:

- Normaalimittainen kuormatila on vakio ja kuormien pitäisi olla suurinpiirtein yhtä suuria. Kuvan 2 mukainen riippuvuus on liian selvä eli perävaunun laitteisto ei ole toiminut moitteettomasti tai kuorma ei ole ollut tasainen ja siihen on jäänyt keskittymiä, joiden vuoksi tolppia ei ole voitu kääntää täysin pystyyn.
- Muutama kuorma on alunperin ollut liian pieni tai suuri, kuten voi olettaakin, koska tiivistämättömän kuorman koon riittävyys oli aiempien kokemusten puuttuessa arvioitava.

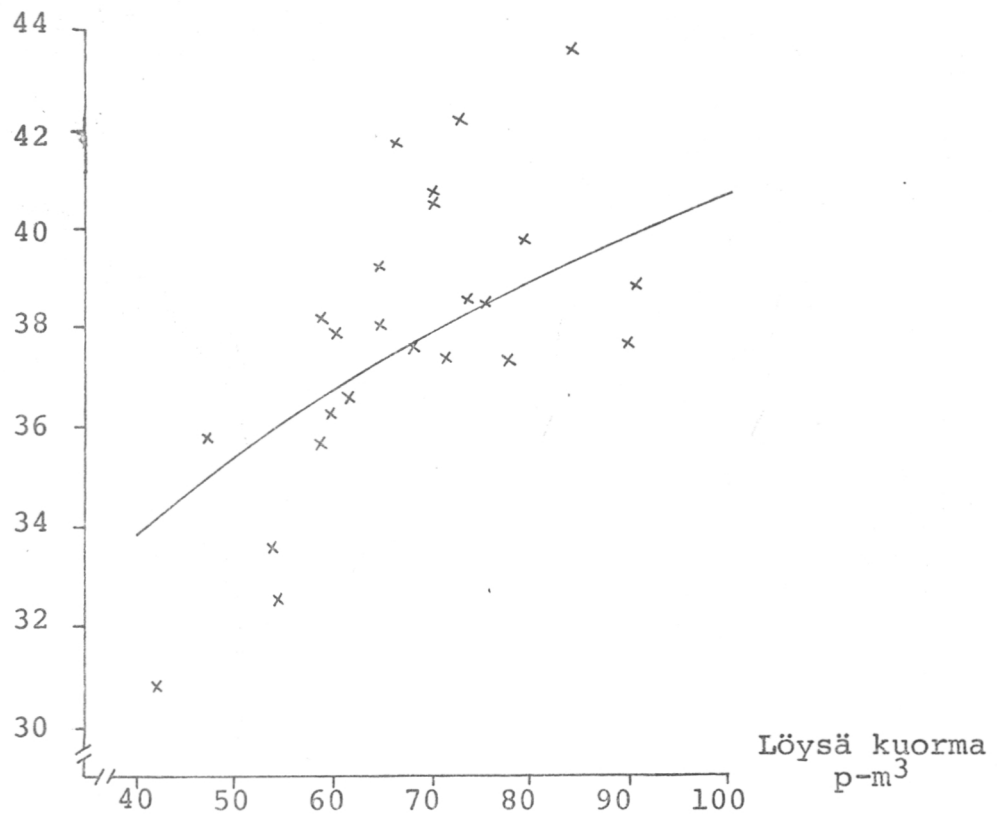
Kuvasta 4 voi tehdä seuraavat huomiöt:

- Tiivistämättömän kuorman koko näyttää pudottavan tiiviin kuorman tilavuuspainoa suhteellisen nopeasti. Koska kuitenkin alkuperäinen kuormauskoko nosti tiiviin kuorman kokoa on kyseessä ainakin osittain epätasaisesta kuormasta aiheutuneet tiivistysvaikeudet.

Kuvassa 5 on kuljettajan, puun koon perusteella, tekemän arvion vaikutus kuorman kokoon.

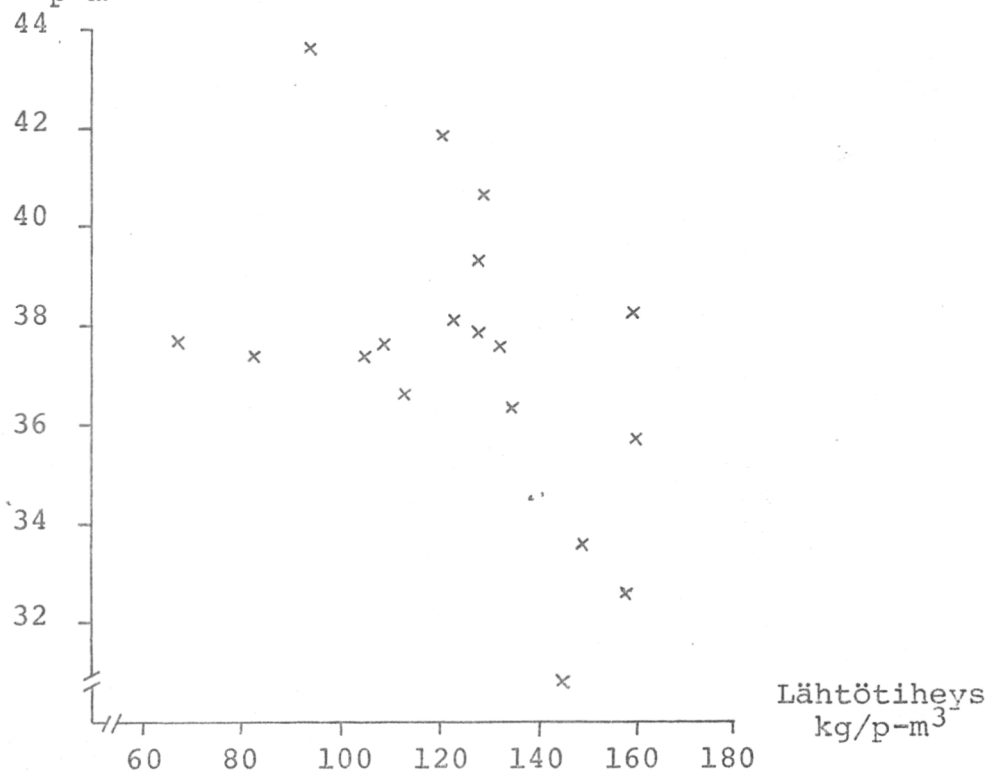
- Koska pienikokoisilla puilla ovat kuormat jääneet löysiksi voi osasy, aiemmin mainittujen lisäksi, olla kuljettajan varovaisuus.

Tiivis kuorma
p-m³

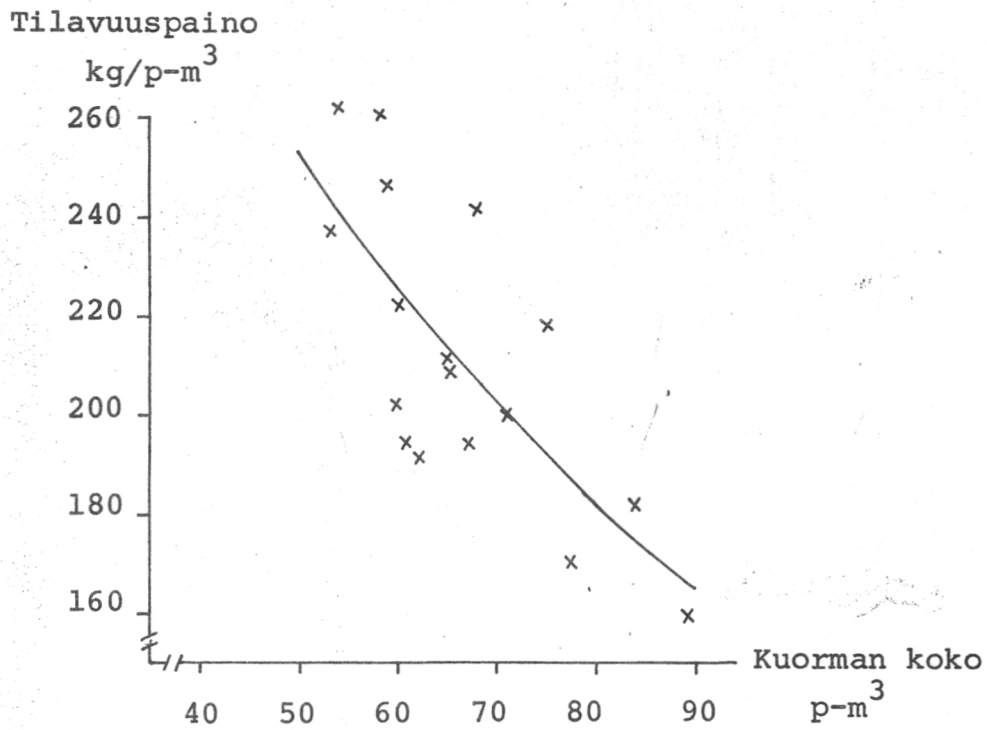


Kuva 2. Perävaunun tiivistämättömän kuorman vaikutus tiiviin kuorman kokoon.

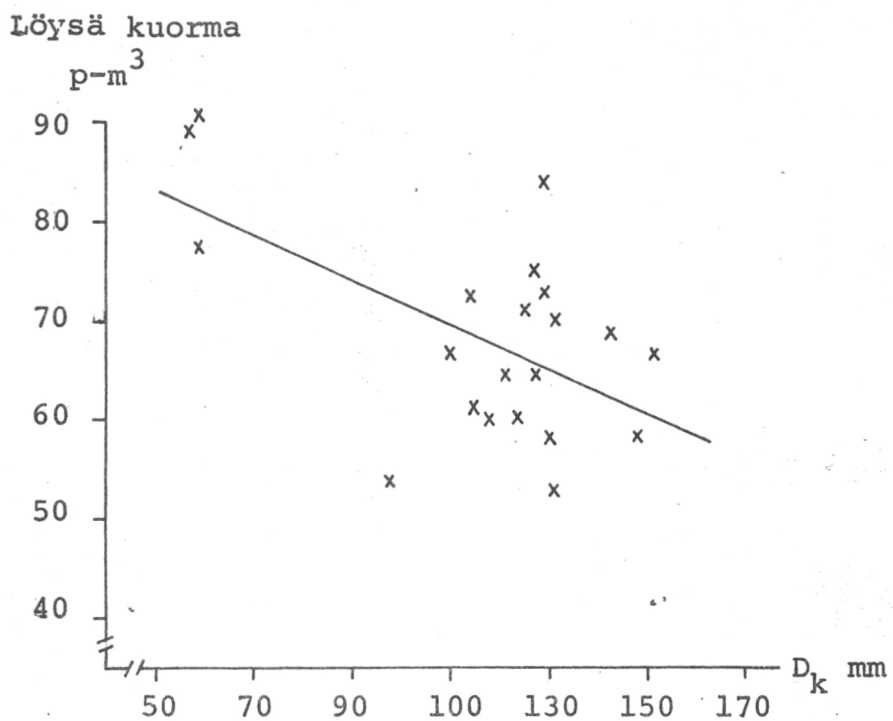
Tiivis kuorma
p-m³



Kuva 3. Tiivistetyn kuorman koon riippuvuus löysän kuorman tilavuuspainosta perävaunussa.



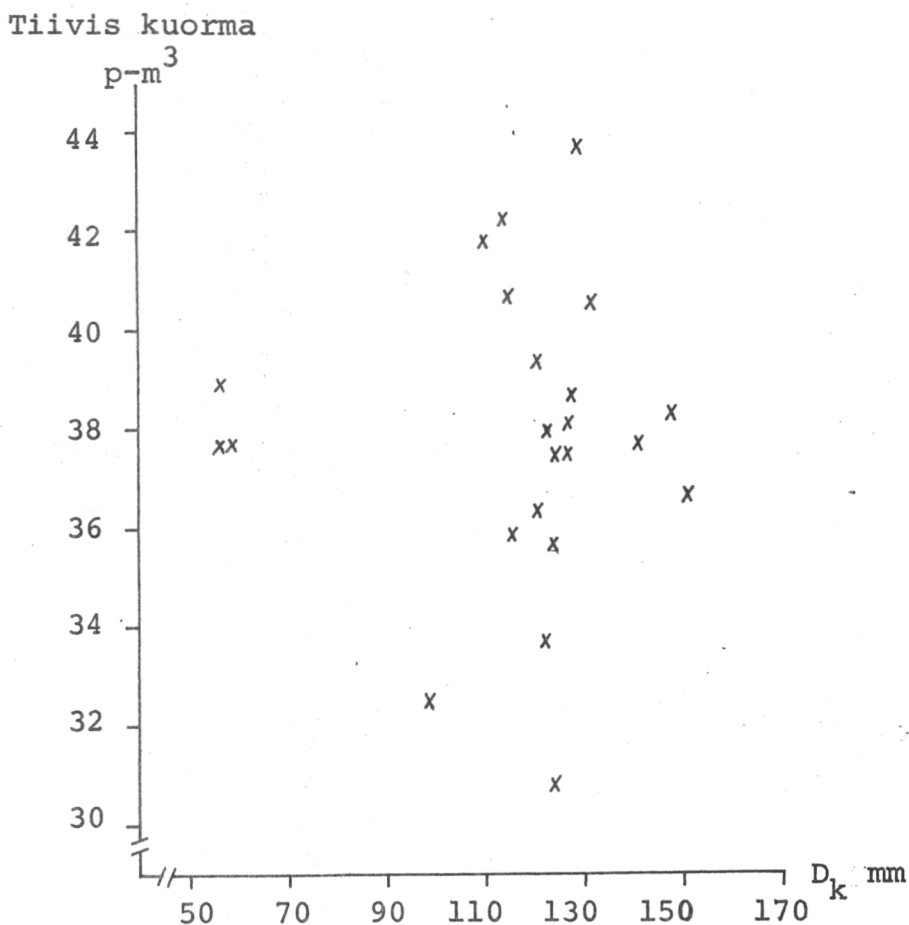
Kuva 4. Kuormauskoon vaikutus tiivistetyn kuorman tilavuuspainoon, perävaunu.



Kuva 5. Kuljettajan harkinnan mukaan määräytynyt tiivistämättömän kuorman tilavuus puun koosta riippuen.

Kuvasta 6 voi tehdä seuraavat johtopäätökset:

- Puun koko ei ole vaikuttanut tiivistetyn kuorman kokoon.
- Kuormien koon hajonta on kuitenkin huomattava mikä vahvistaa kuvien 2, 3, 4 ja 5 perusteella tehtyjä päätelmiä.



Kuva 6. Puun koon vaikutus tiivistetyn kuorman kokoon, perävaunu.

Yhteenvedona voidaan todeta, että kuormien keskimääräinen tilavuuspaino voidaan nostaa tutkimuksessa todettua korkeammaksi. Tämä kuitenkin edellyttää että:

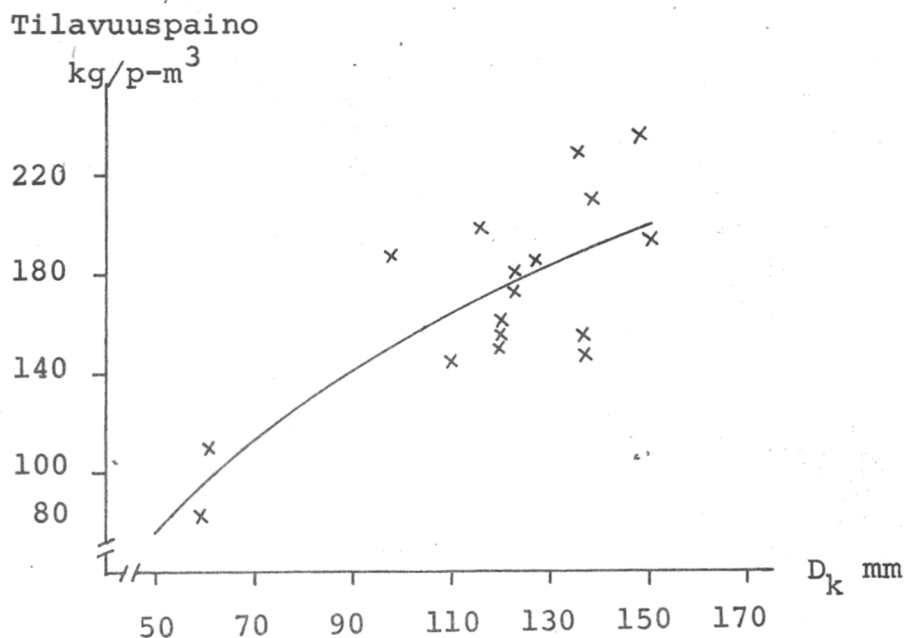
- kokopuiden katkonta on määriteltävä tarkasti kuormatilan mittojen perusteella

- kuormat on tehtävä tasaisemmiksi, jos mahdollista, ja kuormaustapoja kehitettävä
- löysän kuorman riittävä koko on varmistettava esim. antamalla puiden keskiläpimittaan perustuvat ohjeet kuorman korkeudesta ja kuormaustavasta
- laitteistoa on vahvistettava siten, että kuormauksessa syntyvät keskittymät voidaan tiivistää sen rikkoutumatta.

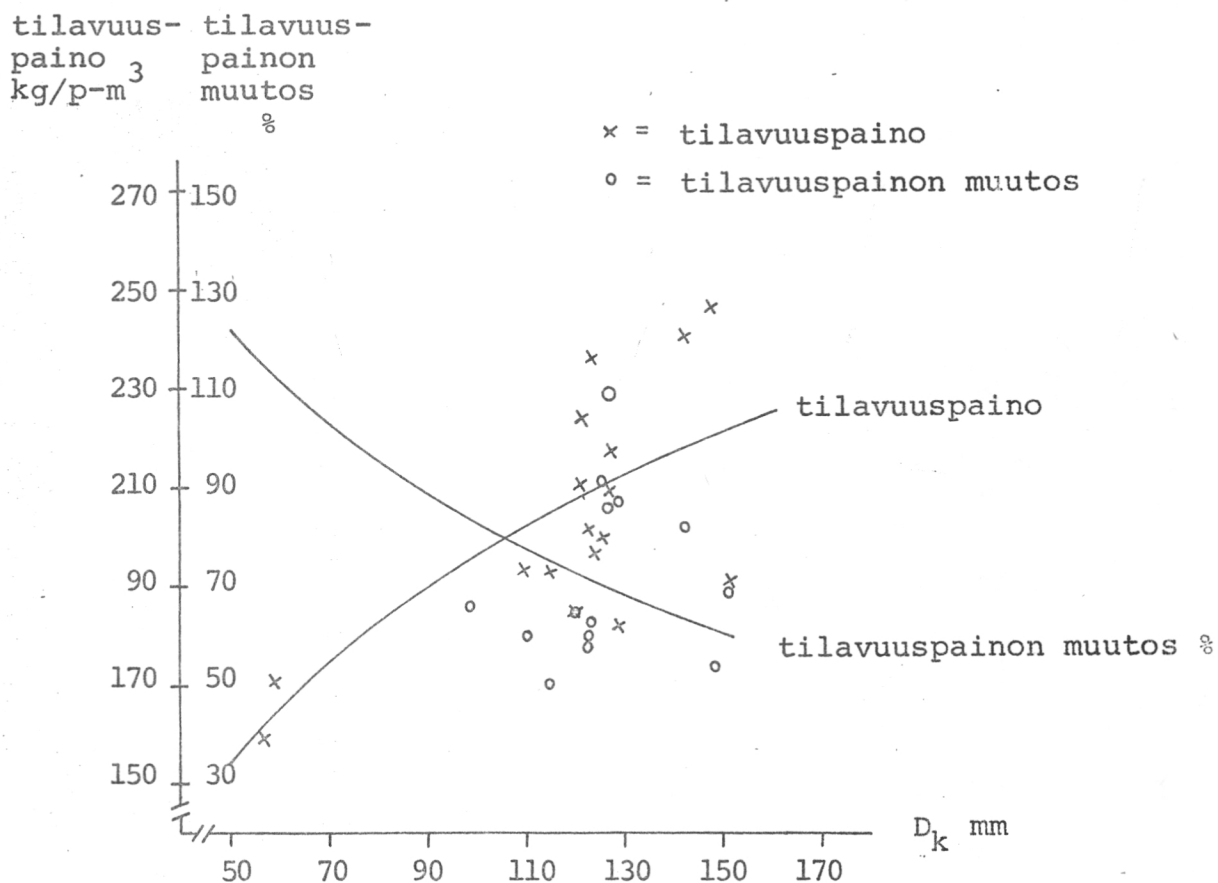
73. Puun koon vaikutus kuormien ominaisuuksiin

Puun koon vaikutusta vetovaunun kuorman tilavuuspainoon selittää kuva 7. Vetovaunussa ei ollut tiivistyslaitteistoa ja puun koon vaikutuksesta sen kuorman voidaan tehdä seuraavat arviot:

- Kuormaa voidaan tiivistää mm. valitsemalla vetovaunuun mahdollisimman paljon sopivan mittaiseksi katkottuja tyvipöllejä.
- Todennäköisesti tilavuuspainoa voidaan nostaa menetelmien kehittämällä vain jos puut ovat suuria. Pienikokoisista, oksikkaista puista tehdyt kuormat vaativat tiivistämisen puristamalla.



Kuva 7. Puun koon (kantoläpimitta) vaikutus vetovaunun kuorman tilavuuspainoon.

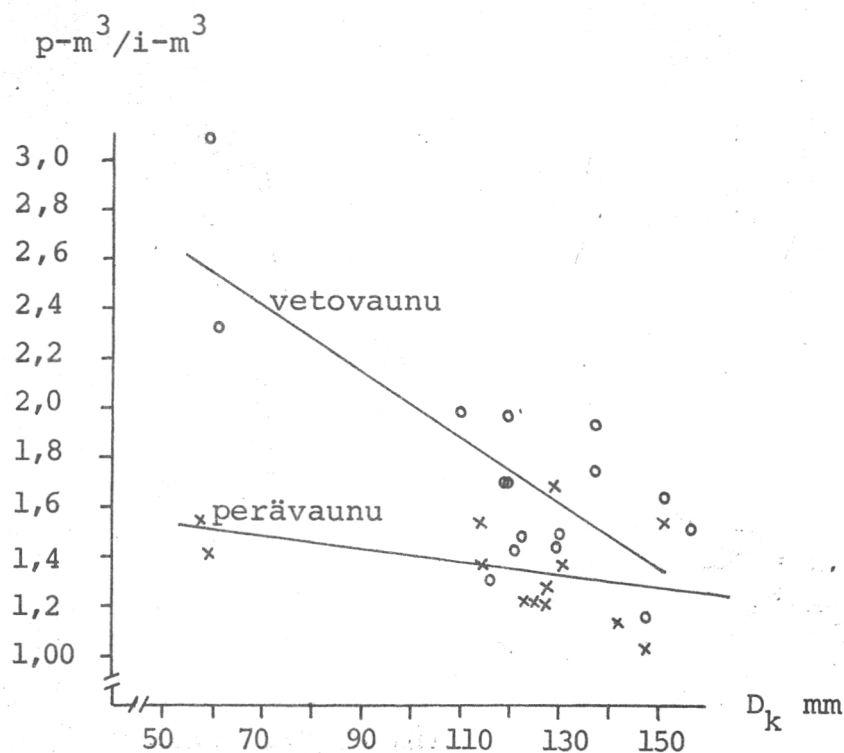


Kuva 8. Puun koon (kantoläpimitta) vaikutus perävaunun kuorman tilavuuspainoon ja sen muutokseen.

Puun koko on vaikuttanut perävaunun kuorman tilavuuspainoon ja sen muutokseen seuraavasti (kuva 8):

- Puun koon kasvaessa on tilavuuspaino lisääntynyt suhteellisen tasaisesti ja tilavuuspainon muutos laskenut myös tasaisesti.
- Pienillä puilla on tilavuuspaino jäänyt vähäiseksi vaikka muutos on ollutkin yli 100 %.

74. Puun koon vaikutus pinokuution ja hakekuution suhteeseen



Kuva 9. Puun koon vaikutus pinokuution ja hakekuution suhteeseen.

Koska osa kokopuukuormista haketettiin välittömästi voitiin verrata myös pinokuution ja hakekuution suhdetta. Tulos on piirretty kuvaksi 9.

Tämän aineiston perusteella lasketut kuvan 9 suorat ovat käyttökelpoisia vain esityksen havainnollistajina ja apuna alustavien, laitteiston kehittämismielessä tehtyjen johtopäätösten teossa. Laitteiston ja menetelmien vähäininkin kehittäminen muuttaa välittömästi pino- ja hakekuution välistä suhdetta.

Kuvan 9 suorista voi tehdä seuraavat huomiot:

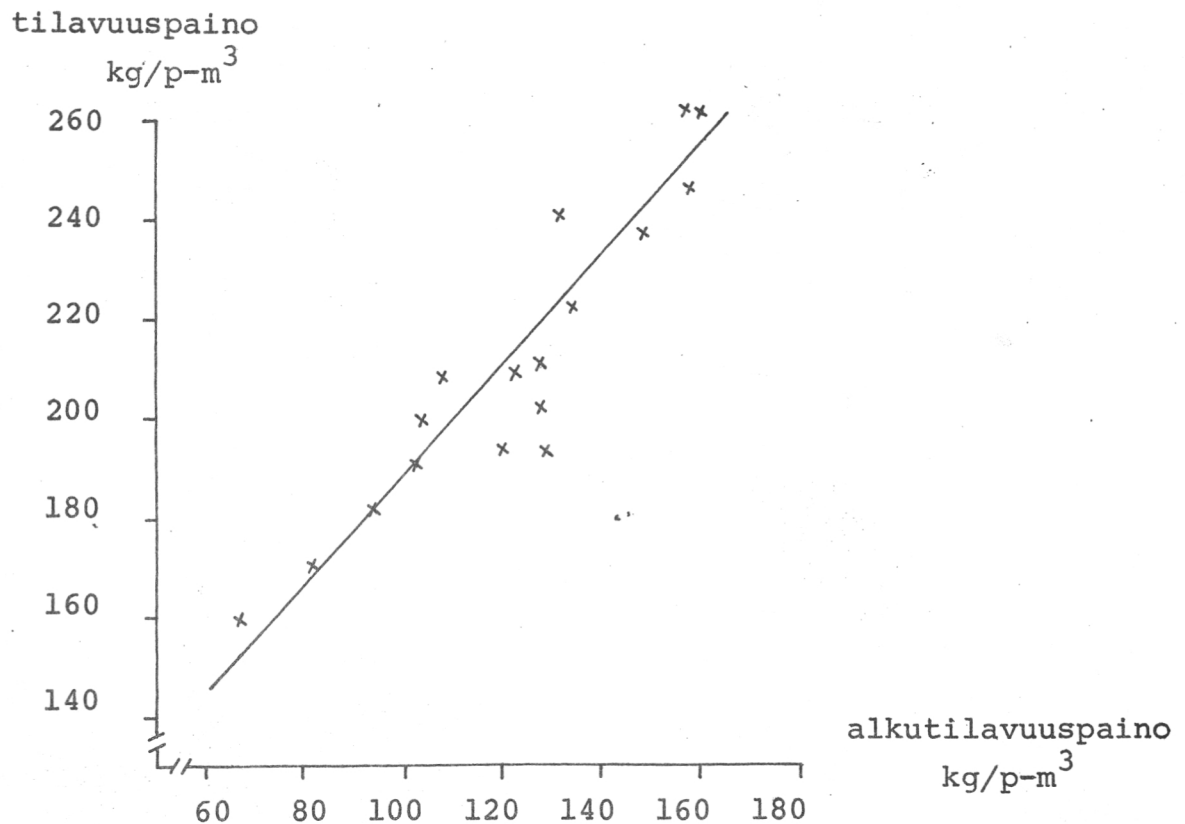
- Puristuslaitteiston edut ovat selvimmät pienillä puilla.

- Leppien ollessa suuria ovat suhdesuorat lähellä toisiaan. Vetovaunuun on kuitenkin tällöin lastattu lähes oksattomia tyviosia ja latvaosat ovat jääneet perävaunuun. Ellei perävaunukuormaa olisi tiivistetty olisi tulos jäänyt huonommaksi.
- Kokopuukuorman tiheys on ollut pienempi kuin siitä saadun hakkeen. Pienin pinokuution ja hakekuution suhde oli 1,02 (perävaunu) ja vetovaunussa 1,16. Keskimäärin koko ajoneuvo-yhdistelmässä tämä suhde oli 1,50.

Perävaunukuorman tilavuuspainoa voidaan nostaa laitteiston ja menetelmien kehittämällä. Todennäköisesti se yksittäisillä kuormilla saadaan jopa suuremmaksi kuin hakkeella.

Myös vetovaunun kuorman tiheyteen voidaan vaikuttaa, mutta jos siitä puuttuu tiivistyslaitteisto jää tulos huonommaksi kuin perävaunussa.

75. Tiivistyslaitteiston käytön tehokkuus



Kuva 10. Kuormaustilavuuspainon vaikutus tiivistämällä saatuun tilavuuspainoon perävaunussa.

Kuormaustilavuuspainon vaikutus tilavuuspainoon tiivistettynä on ollut selvä (kuva 10):

- Tiivistetyn tilavuuspainon selittäjinä käytetyistä muuttujista on kuormaustilavuuspainon vaikutus selvin.
- Pientä keskittymää lukuunottamatta tilavuuspainon muutos jatkuu suhteellisen suoraviibaisesti, joten vaikuttaa siltä, ettei suurinta mahdollista tilavuuspainoa kokeessa saavutettu.

8. AJANKÄYTTÖ JA SEN JAKAUMA METSÄVARASTOLLA

81. Ajankäyttö metsävarastolla

Taulukkoon 6 on koottu kuormaustyön menetelmittaiset keskiarvot.

Eri menetelmien paremmuus ei selviä tämän aineiston perusteella. Ainoastaan kaksi ensimmäistä kuormaa, joita voi pitää harjoittelukuormina, ovat vaatineet aikaa selvästi muita enemmän. Myös menetelmä (34), jossa puut on kuormattu puolet tyvi eteen puolet tyvi taakse on vienyt aikaa muita enemmän.

Taulukosta 6 voidaan lisäksi todeta seuraavaa:

- Taulukkoon on ajankäyttö laskettu sekä pino- että kiintokuutiota ja tonnia kohden. Koska pinokuutio on epätasainen mitta ja oksaisten puiden kiintokuution laskenta on pakosta epäluotettava vertailut on paras tehdä kuorman painon avulla.
- Perävaunun ja vetovaunun kuormauksen ajantarve näyttää olleen lähes sama (min/t) ja niiden keskimääräisellä ajankäytöllä ei olekaan merkittävää eroa (Lordin vaihteluvälitesti, L-arvo 0,124).

Koko ajoneuvoyhdistelmän kuormauksessa keskimääräinen ajantarve oli 5,4 min/tonni. Koska kyseessä kuitenkin oli prototyypin ja koko menetelmän esikoe ei kuljettajan ja apumiehen työkokemus voinut olla täydellinen vaikka molempia voidaankin pitää erittäin hyvinä ammattimiehinä.

Taulukko 6. Kuormauksen, tiivistämisen (perävaunu) ja kuormaus- ja ajokuntoon laitton yhteenlaskettu ajanmenekki metsävarastolla.

1) Menetelmä	Perävaunu			Vetovaunu			Koko yhdistelmä		
	min/p-m ³	min/m ³	min/t	min/p-m ³	min/m ³	min/t	min/p-m ³	min/m ³	min/t
*	1,4	4,1	7,2	1,9	5,3	6,9	1,6	4,2	7,1
1	1,0	2,7	3,9	1,8	5,0	6,5	1,3	3,5	5,1
13	0,9	2,3	4,3	1,5	3,9	5,1	1,1	2,6	4,6
34	1,2	4,1	5,7	1,4	5,2	8,5	1,3	4,0	6,8
135	-	-	-	-	-	-	1,5	3,5	5,7
235	-	-	-	-	-	-	1,3	7,0	-
167	1,2	3,1	5,2	1,7	4,6	4,9	1,4	3,6	5,1
Keskim.	1,1	3,3	5,2	1,6	4,1	5,6	1,3	3,5	5,4

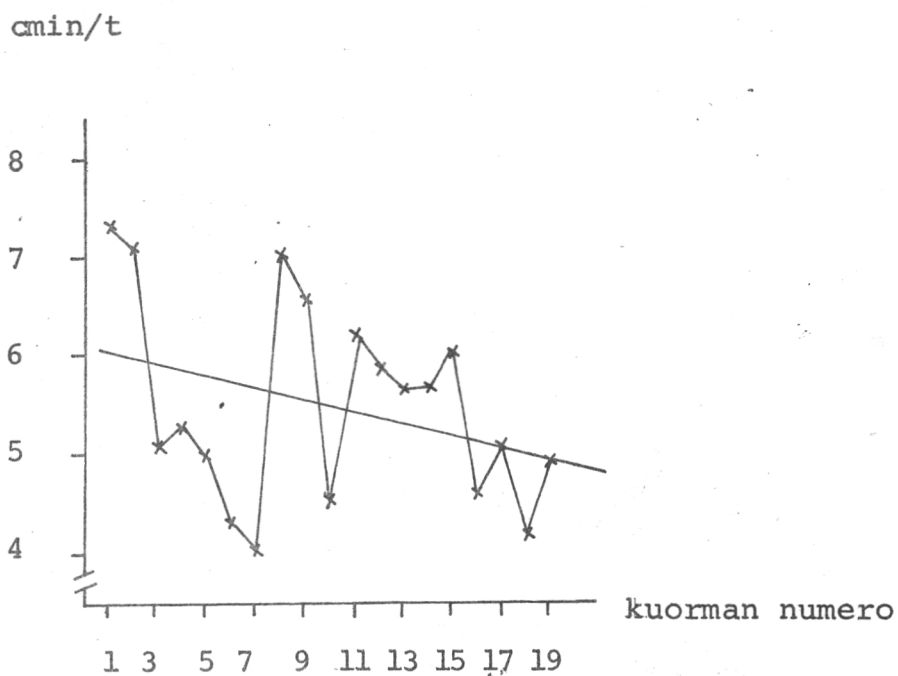
1) Menetelmät, ks. kappale 3

* Harjoituskuormia

Oppimisen vaikutus selviää kuvasta 11, josta voidaan tehdä mm. seuraavat huomiot ja päätelmät.

- Vaikka ajankäytön kehityksen selityskerroin onkin huono on suunta selvä. Ajantarve on laskenut koko kokeen ajan.
- Koska oppimista on tapahtunut koko kokeen ajan on todennäköistä, että kuormauksessa saatu keskiarvo 5,4 min/t jää käytännön työssä liian suureksi. Kuvan perusteella on mahdollista, että lopullinen keskiarvo jäisi välille 4,0 - 5,0 min/t.

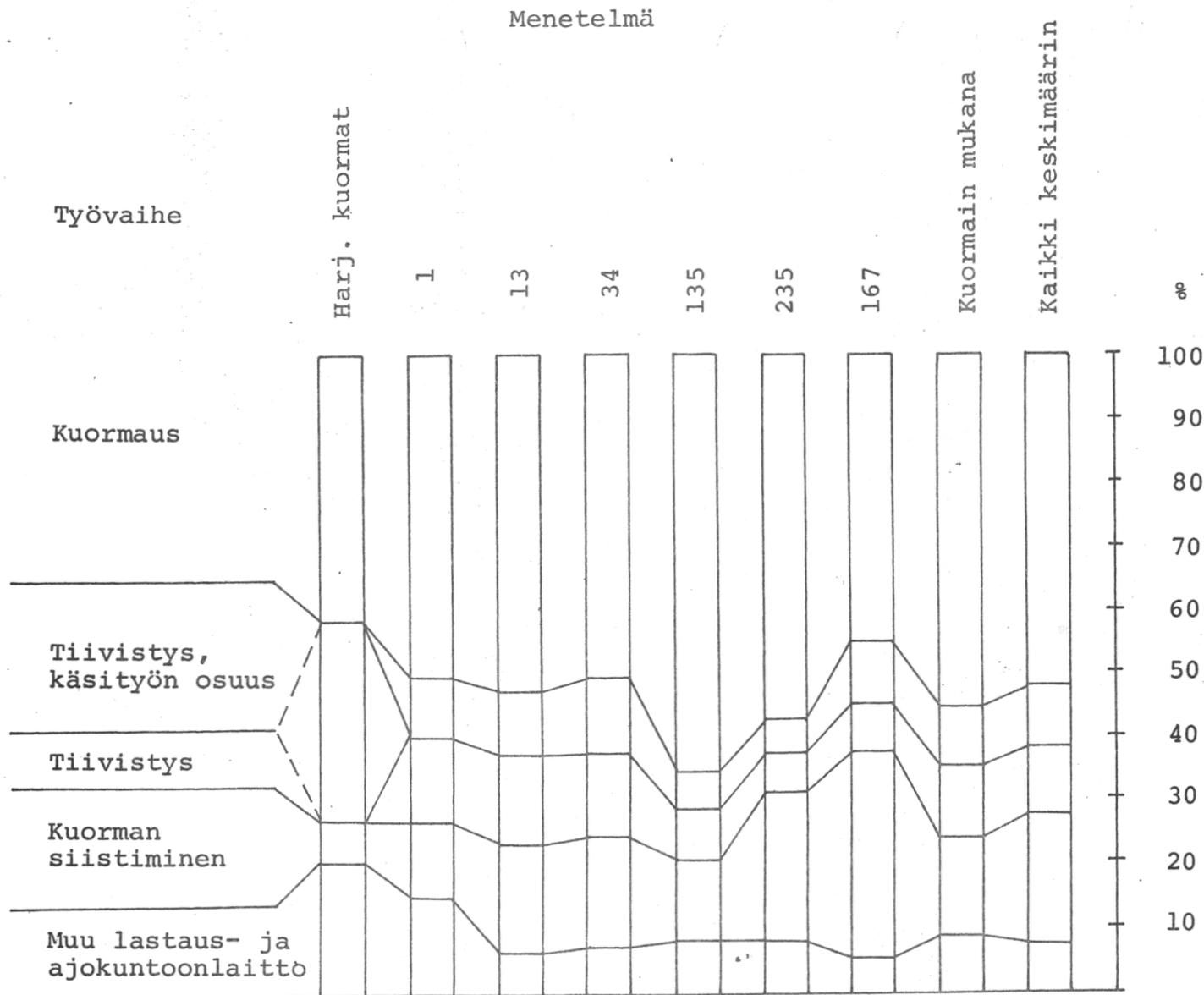
Myös puuston ominaisuuksien pitäisi vaikuttaa ajankäyttöön. Tämän asian selvittämiseksi aineisto oli pieni ja muiden tekijöiden vaikutus liian suuri.



Kuva 11. Oppimisen vaikutus ajantarpeeseen ajoneuvo-yhdistelmän kuormaustyössä (sisältää kaikki työvaiheet).

82. Ajankäytön jakauma metsävarastolla

Kuvassa 12 on työajan suhteellinen jakauma metsävarastolla menetelmittain. Ajoneuvoyhdistelmän mukana oli apumies ja kokonaisajan käytön erottaminen yhdistelmän eri osille ei siksi onnistunut. Suurin osa tämän kappaleen luvuista koskeekin koko ajoneuvoyhdistelmää.



Kuva 12. Ajankäytön jakauma metsävarastolla, koko ajoneuvoyhdistelmä.

Kuormaus. Kuormauksen osuus näyttää kasvaneen - kokemuksen lisääntyessä - muiden työvaiheiden kustannuksella, mikä on luonnollista, koska muut vaiheet sisälsivät normaalista puutavaran ajosta poikkeavia piirteitä ja niin muodoin uutta opittavaa (ks. kuva 11). Menetelmän 165 kohdalla (katkenta kuormaimen kourassa - lastaus erilliskuormaimella - puut tuoreita) on kuormauksen osuus kuitenkin laskenut, koska vetovaunusta puuttuivat vanerilevyt ja siistimistarve lisääntyi.

Tiivistys, käsityön osuus. Työvaiheella tarkoitetaan tiivistyslaitteiston käytön yhteydessä tapahtunutta vaijerikelojen ja vaijereiden käsin tapahtunutta selvittelyä ja löysän pois kiertoa. Työvaiheen suuri osuus johtuu laitteiston koekappaleluonteesta.

Kuorman siistiminen. Kuormasta törröttävien oksien sekä kuormien perän siistiminen. Viidennestä kuormasta alkaen oli vetovaunuun asennettu vanerilevyt kuormatilan etuosaan, molemmille puolille. Kuormien siistimistyö väheni, mutta se ei näy jakaumassa. Sensijaan varsinainen siistimisaika väheni seuraavasti:

	Keskimäärin	Vaihtelu
- Siistimistyö, vetovau- nussa ei vanerilevyjä	18,8 min/kuorma	0,0 - 32,3 min/kuorma
- Siistimistyö, vetovau- nussa vanerilevyt	11,1 "	6,0 - 20,1 "

Vanerilevyjen asennus vähensi siis kuormien siistimiseen kuluva aikaa 41 %. Suurin osa jäljelle jääneestä ajasta kuluikin perävaunun perän yli roikkuvien latvojen tasaukseen.

Menetelmän 235 kohdalla on siistimistyön osuus suuri. Syy on kesken kuormausta tehty siirto toiselle varastolle, jonka vuoksi työ jouduttiin tavallaan tekemään kahteen kertaan.

Muu kuormaus- ja ajokuntoon laitto. Työvaihe sisältää kuormatilojen aukaisun kuormausta varten ym. siihen liittyvän sekä kuormauksen jälkeen tapahtuvan ajoneuvon ajokuntoon laitton. Ensimmäisiä kuormia lukuunottamatta on tämän työvaiheen osuus pysynyt käytännöllisesti katsoen vakiona.

Ajoneuvoyhdistelmän kuormakohtainen ajantarve oli seuraavan asetelman mukainen:

	Keskimäärin min/kuorma	Vaihtelu
Kuormaus	40,2	28,2 - 85,8
Tiivistys yhteensä (Tiivistys, käsityön osuus)	15,2 (6,6)	6,0 - 24,2 (3,5 - 9,9)
Kuorman siistiminen	14,4	4,1 - 32,3
Muu kuormaus- ja ajokuntoon laitto	7,9	2,4 - 21,3
Kuorman teko yhteensä	77,7	57,6 - 121,0

Perävaunukuormaa tiivistettäessä oli käsityön osuus 43 % tiivistämiseen kuluva ajasta. Käsityön voi katsoa olevan työvaihe, joka ainakin huomattavasti vähenee laitteistoa kehitettäessä.

Työvaiheitten "tiivistys ja kuormien siistiminen" keskimääräinen yhteisaika/kuorma oli 29,6 minuuttia.

Molemmat työvaiheet lisäävät varastoaikaa normaaliin puutavaran ajoon verrattuna.

Kyseessä oli kuitenkin prototyyppilaitteiston esikoe ja jo pelkkä käsityöosuuden poisto tiivistämisestä pudottaa ajan 23,0 minuuttiin/kuorma.

Kun laitteisto ja menetelmät ovat nykyistä valmiimmat jää lisätyöaika todennäköisesti n. 15 minuuttiin/kuorma. Olihan jo nyt molempien työvaiheiden keston alaraja 10,1 minuuttia/kuorma.

Jos tarkastellaan pelkän kuormauksen ajanmenekkiä (taulukko 7) näyttää perävaunuun kuormaus olleen menetelmästä riippumatta lähes sama pinokuutiota kohden, mutta painoyksikköä kohden on jo selviä eroja.

Taulukko 7. Perävaunun ja vetovaunun varsinaisen kuormauksen ajantarve menetelmittäin.

1) Menetelmä	min/p-m ³		min/t	
	Perävaunu löysä	Veto- tiiv. vaunu	Perä- vaunu	Veto- vaunu
✕	0,22	0,43	0,64	2,16
1	0,23	0,42	0,59	1,89
13	0,24	0,41	0,48	1,36
34	0,21	0,48	0,52	2,66
167	0,29	0,47	0,53	2,02
Keskim.	0,24	0,44	0,53	1,21

1) Menetelmät, ks kappale 3

✕ Harjoituskuormia

Edellämämainitun lisäksi taulukosta 7 erottuvat seuraavat piirteet:

- Perävaunun varsinainen kuormaus oli nopeampaa kuin veto-vaunun. Koska perävaunu ennen puristusta kuormauksen aikana on leveämpi kuin vetovaunu on se ilmeisesti helpompi kuormata.
- Menetelmässä, jossa puut lastattiin toinen puoli tyivistä eteenpäin ja toinen taaksepäin, ajantarve tonnia kohden on ollut suurin. Puut olivat kuitenkin pienikokoisia ja myös siksi on ajanmenekki voinut lisääntyä.
- Taakkojen katkonta moottorisahalla kuormaimen kourassa ei näytä hidastaneen kuormausta, mutta vaikutuksen varmistamiseksi aineisto oli liian pieni.

9. AJANKÄYTTÖ JA SEN JAKAUMA KESKUSVARASTOLLA

91. Ajankäyttö keskusvarastolla

Keskusvarastolla kokopuukuormat purettiin autokohtaisella tai erilliskuormaimella.

Verrattaessa ajanmenekkiä keskusvarastolla (taulukko 8) ajankäyttöön metsävarastolla (taulukko 6) löytyy mm. seuraavia eroja:

- Ajantarve on keskusvarastolla huomattavasti pienempi kuin kuormauksen ajantarve metsässä. Esim. ajoneuvoyhdistelmän kuormaus metsävarastolla vei aikaa keskimäärin 3,2 kertaa enemmän kuin purku samalla kalustolla.
- Kuormauksen ajantarve tonnia kohden oli sekä perävaunulla että vetovaunulla sama. Keskusvarastolla on kuitenkin vetovaunun purku ollut selvästi nopeampaa.
- Metsävarastolla kului eniten aikaa harjoituskuormiksi katsottavien kuormien teossa, toiseksi hitainta oli työn suoritus kun oli käytettävä menetelmää 34 eli puut olivat pieniä ja ne kuormattiin joka toinen kourallinen tyvi eteen- ja joka toinen tyvi taaksepäin. Keskusvarastolla harjoituskuormien purku on ollut yhtä nopeaa kuin muidenkin. Kun haketuksen vuoksi osa taakoista jouduttiin kuormaa purettaessa kääntämään tyvet pinon etureunaan päin purkuun kuluva aika nousi (menetelmä 34).
- Ajankäytön vaihtelu on keskusvarastolla ollut pienempi kuin metsävarastolla.

Ajoneuvoyhdistelmän purkuun keskusvarastolla kului kokeessa aikaa keskimäärin 1,7 min/t.

Metsävarastolla oli oppimisen vaikutus työskentelyn nopeuteen suhteellisen selvä (kuva 11) ja samaa voidaan sanoa työskentelystä keskusvarastolla (kuva 13).

Taulukko 8. Purkamisen sekä purku- ja siirtokuntoon laitton yhteenlaskettu ajanmenekki tehdasvarastolla.

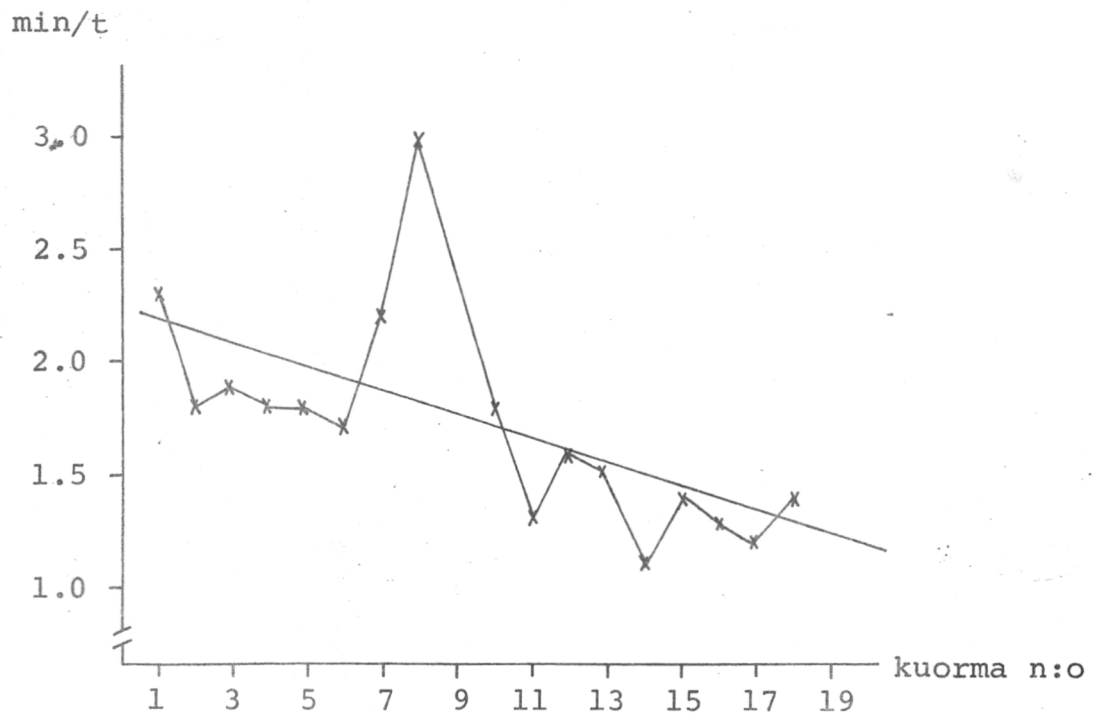
1) Menetelmä	Perävaunu			Vetovaunu			Koko yhdistelmä		
	min/p-m ³	min/m ³	min/t	min/p-m ³	min/m ³	min/t	min/p-m ³	min/m ³	min/t
*	0,5	1,6	2,6	0,3	0,9	1,2	0,5	1,2	2,0
1	0,6	1,6	2,6	0,2	0,7	1,0	0,5	1,2	1,9
13	0,5	1,3	2,5	0,3	0,8	1,2	0,3	1,1	1,9
34	0,5	2,9	3,3	0,3	1,0	1,5	0,4	1,4	2,6
135	0,4	1,3	2,1	0,3	1,0	1,0	0,4	1,0	1,5
235	0,4	2,7	-	0,4	2,1	-	0,4	2,2	-
167	0,4	1,1	1,6	0,3	1,1	1,1	0,4	0,9	1,3
Keskim.	0,5	1,5	2,2	0,3	0,9	1,1	0,4	1,1	1,7

1) Menetelmät, ks. kappale 3

* Harjoituskuormia

Kuvasta 13 voidaan tehdä mm. seuraavat huomiot.

- Ajantarve min/t on laskenut koko ajan. Kuorman 9 kohdalla on kuitenkin selvä piikki, joka johtuu tälle kohtaa sattuneista pieniä puita sisältäneistä kuormista.
- Koska oppimista on tapahtunut koko kokeen ajan on kuvan 13 perusteella arvioitavissa, että purkutyön keskimääräinen ajantarve tulee laskemaan 1,7 min/t:sta välille 1,0 - 1,5 min/t.



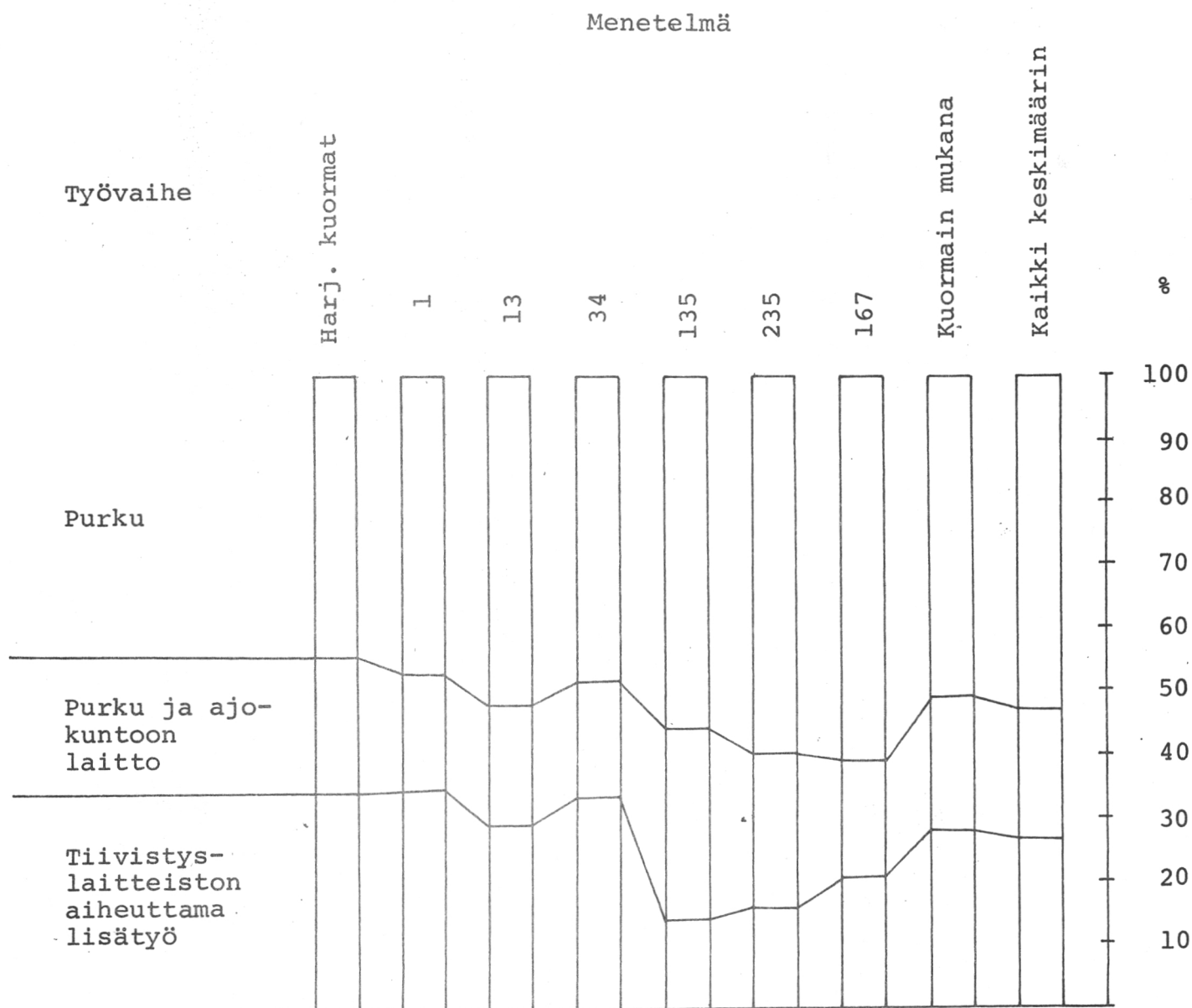
Kuva 13. Oppimisen vaikutus purkutyön ajantarpeeseen keskusvarastolla.

92. Ajankäytön jakauma keskusvarastolla

Työajan suhteellinen jakauma keskusvarastolla menetelmittain on kuvassa 14. Ajoneuvoyhdistelmän mukana oli apumies ja siksi voitiin suorittaa samanaikaisesti kahta työvaihetta, joiden jakamista yhdistelmän eri osille ei suoritettu.

Näinollen tässä kappaleessa käsitellään pääasiassa koko ajoneuvoyhdistelmää koskevia aikoja.

Työvaiheen "purku" osuus koko jakaumasta on kasvanut loppupään kuormissa (pylväitten järjestys on samalla tekojärjestys). Sen suhteellisen osuuden kasvu johtuu oppimisen vaikutuksesta. Tämä työvaihe on nimittäin suhteellisen tuttu verrattuna muihin ja oppimisen vaikutus näkyykkin selvimmin muissa työvaiheissa niiden osuuden laskuna.



Kuva 14. Työajan jakauma keskusvarastolla.

Menetelmässä 167 purkuun käytettiin erillisellä alustalla olevaa puutavarakuormainta ja kuvan perusteella on purku-työvaiheen osuus tällöin ollut suurempi kuin jos auto on tyhjennetty omalla kuormaimella. Omalla kuormaimella purettiin kuitenkin alkupään kuormia, jolloin oppiminen ei vielä ehtinyt vaikuttaa muihin työvaiheisiin. Jos työtä olisi tehty pitemmän aikaa, erotus olisi ainakin pienempi.

Tiivistyslaitteiston aiheuttama lisätyö. Tämä työvaihe sisältää pelkästään perävaunun aukaisun ja sulkemisen sekä niihin kuuluvien työvaiheiden osuuden.

Muu purku- ja ajokuntoon laitto. Työvaiheeseen sisältyy vetovaunun kuorman aukaisu ja purun jälkeen tapahtunut kuormatilan kunnostus (kuormatilojen puhdistus, vetovaunun ketjujen kiinnitys, tolppien lyhentäminen jne).

Pelkän "kuormien purun" ajanmenekki oli taulukon 9 mukainen. Jos sitä verrataan taulukossa 7 olevaan varsinaisen kuormauksen ajan tarpeeseen löytyy seuraavia eroja:

- Kuorman purku oli selvästi nopeampaa kuin varsinainen kuormaus.
- Pinokuutiota kohden laskettuna oli perävaunun kuormaus nopeampaa kuin vetovaunun. Kuormaa purettaessa ei vastaavaa eroa näy, vaan siihen näyttää kuluvan jokseenkin sama aika ajoneuvoyhdistelmän osasta ja käytetystä vertailuyksiköstä riippumatta.
- Jos varsinaiseen kuormaukseen ja purkuun kulunutta aikaa verrataan menetelmittain näyttää pienistä eroista huolimatta menetelmien välinen ero olevan käytännössä merkityksetön. Ainoastaan menetelmässä 34, jossa kokopuut olivat pieniä ja perävaunu oli kuormattu siten, että tyvet olivat vuorotellen perään ja keulaan päin, ajantarve oli selvästi keskimääräistä suurempi.

Taulukko 9. Perävaunun ja vetovaunun purun (pelkkä purku- ilman muita työvaiheita) ajantarve menetelmittain.

1) Menetelmä	min/p-m ³		min/t		
	Perävaunu löysä	Veto- tiivis vaunu	Perä- vaunu	Veto- vaunu	
x	0,09	0,17	0,14	0,88	0,87
1	0,11	0,20	0,13	0,91	0,85
13	0,11	0,18	0,17	0,94	1,01
34	0,10	0,22	0,12	1,42	1,27
135	0,12	0,19	0,15	0,93	0,80
235	0,17	0,23	0,16	-	-
167	0,11	0,18	0,17	0,77	0,85
Keskim.	0,10	0,18	0,15	0,91	0,90

1) Menetelmät, ks. kappale 3

* Harjoituskuormia

10. KUORMAUS- JA PURKUTYÖN TUOTOS

Kun jätetään pois keskeytykset oli kuormaustyön tuotos metsävarastolla taulukon 10 mukainen. Taulukosta erottuu mm. seuraavat piirteet:

- Keskimäärin perävaunua kuormattaessa on tuotos ollut parempi kun käytetään yksikkönä kuorman painoa, mutta huonompi jos yksikkö on kehyskuutio. Perävaunun tuotokseen sisältyy kuitenkin myös kuorman tiivistämiseen kulunut aika ja lopullinen kuorma on tiiviimpi kuin vetovaunussa. Koska yhdistelmän osien kuormat olivat saman kokoisia, mutta perävaunun kuorma oli huomattavasti painavampi, on tulos kuitenkin johdonmukainen.
- Käytettäessä erilliskuormainta (menetelmä 167) on kuormaustuotos vetovaunun osalta ollut parempi kuin perävaunun myös painoyksiköiden mukaan laskettuna.

Taulukko 10. Kuormaustyön tuotos metsävarastolla (keskeytykset eivät sisälly)

1) Menetelmä	Perävaunu			Vetovaunu			Koko yhdistelmä		
	p-m ³ /h	m ³ /h	t/h	p-m ³ /h	m ³ /h	t/h	p-m ³ /h	m ³ /h	t/h
*	42,0	12,7	8,3	55,2	16,5	8,8	47,5	14,3	8,5
1	62,5	19,0	15,3	56,9	17,4	9,2	59,1	17,8	11,8
13	70,6	22,4	14,0	72,3	23,1	11,7	71,0	22,8	12,9
34	52,2	12,3	10,4	71,0	17,0	7,0	61,1	15,1	8,8
135	-	-	-	-	-	-	53,0	17,2	10,6
235	-	-	-	-	-	-	60,1	8,6	-
167	49,2	14,6	11,4	60,1	19,1	12,2	54,7	16,7	11,9
Keskim.	55,4	18,3	11,5	63,7	19,5	10,7	58,2	17,1	11,0

1) Menetelmät, ks. kappale 3

* Harjoituskuormia

Taulukko 11. Purkutyön tuotos tehdasvarastolla ilman keskeytyksiä.

1) Menetelmä	Perävaunu			Vetovaunu			Koko yhdistelmä		
	p-m ³ /h	m ³ /h	t/h	p-m ³ /h	m ³ /h	t/h	p-m ³ /h	m ³ /h	t/h
*	117,6	31,3	23,2	315,3	95,3	50,0	169,7	51,1	30,2
1	103,4	31,7	23,1	410,1	128,5	61,9	169,9	50,6	32,1
13	122,4	38,8	24,2	331,6	92,3	51,3	174,7	56,6	31,9
34	111,1	17,6	18,1	372,4	108,0	38,7	175,3	43,3	22,7
135	139,5	40,0	29,1	310,1	89,6	58,8	193,8	63,4	39,0
235	133,3	19,5	-	293,5	41,8	-	185,3	26,7	-
167	157,9	47,2	36,8	262,4	82,4	52,6	212,0	64,0	45,5
Keskim.	127,7	40,9	27,1	314,6	94,1	53,1	184,3	54,6	35,5

1) Menetelmät, ks. kappale 3

* Harjoituskuormia

Ajoneuvoyhdistelmän purkamistuotos keskusvarastolla (taulukko 11) on luonnollisesti suurempi kuin lastauksessa metsävarastolla. Tämän lisäksi tuotoksen jakautuminen ajoneuvoyhdistelmän osille ja eri menetelmissä on erilainen.

- Koska perävaunun tiivistyslaitteisto oli löysättävä ennen purkua oli vetovaunun purkutuotos parempi kaikissa yksiköissä laskettuna.
- Erilliskuormaimen käyttö näyttää laskeneen perävaunun purkutuotosta.

11. KUORMAUS- JA PURKUTAAKKOJEN KOKO SEKÄ MÄÄRÄ

Taulukkoon 12 on laskettu perävaunun kuormaustaakan koko tiivistämättömälle kuormalle:

- Perävaunun kuormaustaakan koko tiivistetyn kuorman mukaan laskettuna oli keskimäärin $1,34 \text{ p-m}^3$.
- Vetovaunuun pyrittiin valitsemaan katkottuja tyvipölkkyjä, jolloin taakat jäivät lyhyemmiksi ja myös pienemmiksi kuin perävaunussa.
- Menetelmässä 135 kuormattiin molempia vaunuja samanaikaisesti ja perävaunuun nostetun taakan koko näyttää pudonneen. Tämä voi johtua puiden valinnasta.

Taakkojen koko ja määrä kuormia purettaessa on taulukossa 13. Taakkojen kehyskuutio perävaunua purettaessa on laskettu tiiviin kuorman perusteella:

- Perävaunun purkutaakat jäivät keskimäärin pienemmiksi kuin vetovaunun. Purettaessa perävaunun kuorma oli tiiviimpi kuin vetovaunussa ja on mahdollista, ettei suurempia taakkoja voitu kuormasta irrottaa. Myös perävaunun verkkolaidat ovat voineet haitata kouran käyttöä.
- Vaikka vetovaunusta nostetut taakat ovat olleetkin keskimäärin painavampia kuin perävaunun purkutaakat ei näin kuitenkaan ole välttämättä eri menetelmissä.
- Ilman tarkempaa selvitystä ei syytä menetelmittäiseen taakkojen painoeron vaihteluun voida sanoa.

Taulukko 12. Kouraisutaakkojen määrä ja koko kuormauksessa (perävaunun kuorma tiivistämätön).

1) Menetelmä	kpl	Perävaunu			Vetovaunu			
		p-m ³	m ³	kg	kpl	p-m ³	m ³	kg
*	29	2,74	0,42	278	27	1,43	0,43	299
1	25	2,70	0,45	319	24	1,67	0,51	250
13	24	2,84	0,53	338	22	1,73	0,55	282
34	24	3,53	0,39	288	24	1,64	0,41	187
135	35	1,80	0,36	235	31	1,33	0,43	254
235	26	1,83	0,20	-	25	1,52	0,22	-
167	32	2,37	0,44	345	28	1,01	0,30	205
Keskim.	28	2,35	0,40	272	28	1,37	0,40	187

1) Menetelmät, ks. kappale 3

* Harjoituskuormia

Taulukko 13. Purkutaakkojen määrä ja koko.

1) Menetelmä	kpl	Perävaunu			Vetovaunu			
		p-m ³	m ³	kg	kpl	p-m ³	m ³	kg
*	14	2,89	0,87	575	12	3,21	0,97	504
1	17	2,19	0,66	469	16	2,50	0,75	406
13	17	2,32	0,74	479	15	2,35	0,91	453
34	21	1,81	0,45	302	13	3,10	0,77	306
135	20	1,94	0,63	408	16	2,49	0,81	476
235	11	3,26	0,47	-	17	2,24	0,32	-
167	19	1,79	0,54	416	18	2,17	0,65	440
Keskim.	18	2,09	0,62	430	15	2,58	0,76	441

1) Menetelmät, ks. kappale 3

* Harjoituskuormia

12. TULOSTEN TARKASTELU

121. Vertailu pinotavaran kuljetukseen ja muihin kokopuun kuljetustutkimuksiin

Kokopuun ja pinotavaran kuljetusta on vaikea verrata koska erot ovat suuret. Alla on asetelma, jossa on verrattu varsinaisen kuormauksen ajanmenekkiä (SAVOLAINEN 1977). Kokopuulle on mukaan laskettu myös kuorman tiivistämisen viemä aika:

	Varsinainen kuormausaika min/t
<u>Kuitupuu</u>	
- 2-m kuusikuitupuu	1,6
- 3-m kuusikuitupuu	1,3
<u>Kokopuu</u>	
- Perävaunun kuormaus ja kuorman tiivistys	4,2
- Vetovaunun kuormaus	3,2
- Koko yhdistelmän kuormaus ja perävaunun kuorman tiivistys	3,9

Kuusikuitupuun painoksi on asetelmaa laskettaessa oletettu 701 kg/m^3 , jolloin sen kosteus on 45 % tuorepainosta (HAKKILA 1978).

Kokopuun tiivistämistä on kokeiltu Pohjoismaissa useamman vuoden ajan. Kokeilulaitteistot ovat olleet hyvinkin erilaisia, samoin puulajit ja -koot. Pääpiirtein ovat tulokset tähän tutkimukseen verrattuna seuraavanlaisia:

Tilavuuspainon muutos. Tässä kokeessa tilavuuspaino nousi perävaunussa 50 - 137 %, keskimäärin muutos oli 74 % laskettuna löysän kuorman tilavuuspainosta:

- Lähes vastaavilla laitteilla tanskalaiset (MÖLLER 1975) saivat tulokset, joiden mukaan tilavuuspainon muutos oli 12 - 56 %. Puulaji oli mänty ja löysä tilavuuspaino oli 135 kg/p-m^3 (tässä kokeessa 121 kg/p-m^3 perävaunussa).

- Ruotsissa tiivistettiin hakkuutähdekuormia (HANSEN 1975), järeätköjen hakkuutähteiden tilavuuspaino nousi keskimäärin 22 % ja pienempien 33 %.
- Norjalaisessa kokeessa (SKAAR 1977) tilavuuspainon muutos oli 8 - 22 %. Kokeessa oli sekä kuusta että mäntyä.
- Suomessa on tiivistystä kokeiltu ennenkin. Tiivistäminen tehtiin auton omalla kuormaimella ja kuorman paino nousi 7 - 13 % (PELTOLA 1976). Puulajit olivat havukokopuu ja lehtikokopuu.

Kuorman tilavuus. Tässä kokeessa kuorman tilavuuden muutos alkuperäisestä oli keskimäärin 43 %. Muissa kokeissa oli tulos seuraava:

- Tanskassa 11 - 36 %
- Ruotsissa 17 - 26 %
- Norjassa 8 - 22 %
- Suomessa kuorma painui havupuulla 10 - 30 cm ja lehtipuulla 10 - 20 cm.

Suomessa 1976 tehdyssä kokeessa oli kokeiltu ratkaisu halpa ja yksinkertainen. Tiivistämiseen käytettiin auton omaa kuormainta, vaijeria ja rissapyörää.

122. Ajankäyttö ja tuotos

Keskimäärin tämän tutkimuksen tulos koko ajoneuvoyhdistelmän osalta oli seuraava:

- Kuorman koko	105,1 p-m ³ , tiivistämättömänä 76,7 p-m ³ , tiivistettynä 22,6 m ³ 50,2 i-m ³ , hakkeena
- Kuorman paino	14,6 t
- Ajankäyttö, kuormaus ja purku yhteensä (tiivistettynä)	1,7 min/p-m ³ 4,6 min/m ³ 2,1 min/i-m ³ (hakkeena) 7,1 min/t

- Kuormauksen ja purun tuotos (tiivistettynä)	121,3 p-m ³ /h 35,8 m ³ /h 79,6 i-m ³ /h (hakkeena) 23,3 t/h
- Kuormakohtainen ajantarve (ei sisällä kääntymisiä, siirtymisiä eikä häiriöitä)	77,7 min/kuorma

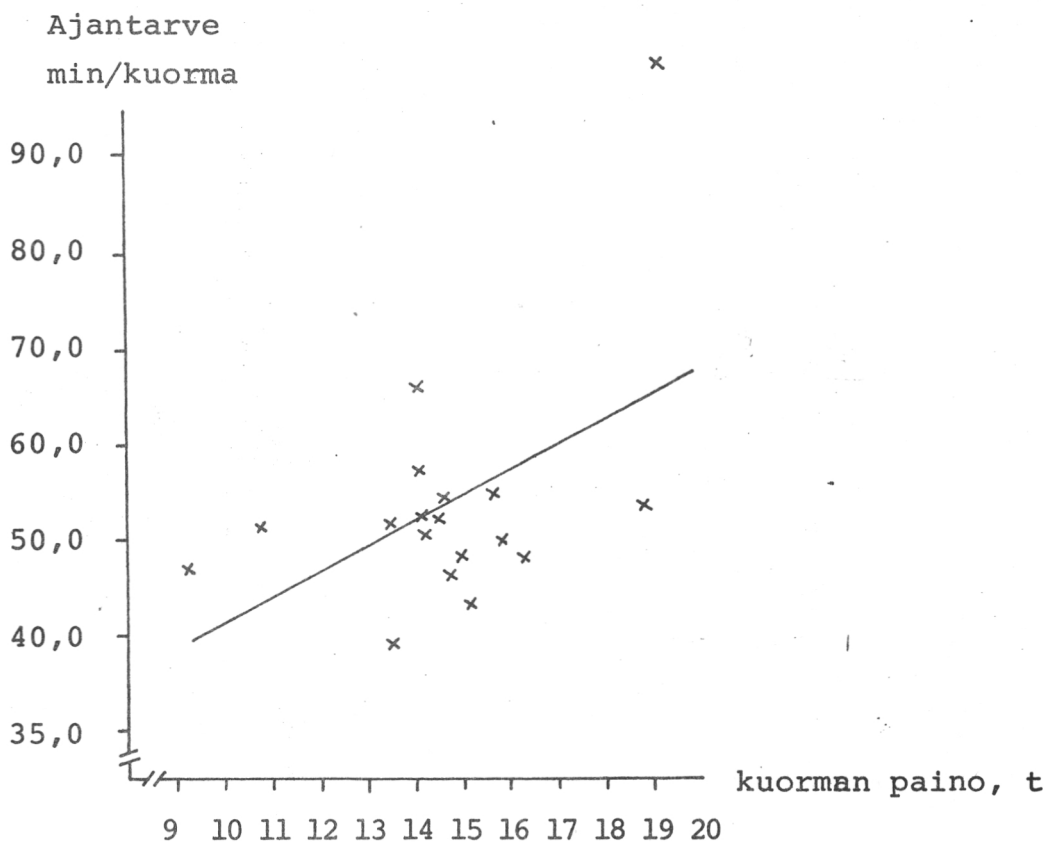
Tutkittu laitteisto oli prototyyppi ja sen toiminnassa oli luonnollisesti toivomisen varaa. Sama koskee kuorma-, katkenta- ym. -menetelmiä. Taulukkoon 14 on laskettu kuormakoon nostamisen ja laitekehittelyn vaikutus ajan menekkiin. Keskus- ja metsävarastolla kuluva aika on laskettu yhteen.

Taulukko 14. Ajanmenekki yhteensä keskus- ja metsävarastolla menetelmä- ja laitekehittelyn jälkeen

Työvaihe	Ajantarve, min/kuorma				
	Koetulosten mukaan		Menetelmä- ja laitekehittelyn jälkeen		
	Kuorman paino, tonnia				
	10,7	14,6	16,6	18,6	20,6
	Tiivistämätön		min/kuorma		
	min/kuorma				
Kuormaus ja purku	42,7	53,3	58,8	64,0	69,3
Tiivistyslaitteiston viemä lisäaika	-	22,0	11,7	11,7	11,7
Kuorman siistiminen	11,1	14,4	11,1	11,1	11,1
Purku, kuormaus- ja ajokuntoon laitto	10,9	12,8	10,9	10,9	10,9
Yhteensä	64,7	102,5	92,5	97,7	103,0
Kuormausajo (siirtyminen varastolla)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Kääntyminen	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
Keskeytykset	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5
Yhteensä	85,0	122,8	112,8	118,0	123,3

Taulukko 14 on laskettu seuraavin perustein:

Kuormaus ja purku. Kuormakoon suurentamisen vaikutus varsinaisen kuormauksen ja purun ajantarpeeseen on laskettu yhtälöstä: $1483,86 + 0,26x$, jossa x = kuorman paino, kg, y = ajantarve, cmin. Yhtälö on saatu kokeen aineistosta (kuva 15).



Kuva 15. Ajantarpeen riippuvuus kuorman painosta varsinaisessa kuormauksessa ja kuorman purussa, koko ajoneuvoyhdistelmä.

Tiivistyslaitteiston viemä kuormakohtainen vakioaika.

Laitteistoa käytettäessä jouduttiin vaijereita sekä vaijeri-kelejä selvittelemään käsin. Tästä ajasta on metsäpäässä oletettu voitavan poistaa 3/4 laitekehittelyllä ja lisäksi laitteiston käytön tehostuvan 2 min/kuorma nopeammaksi. Keskusvarastolla laitteiston aiheuttaman lisätyön on oletettu putoavan puoleen nykyisestä.

Kuormien siistiminen. Vanerilevyjen käyttö vetovaunun apu-laitoina pudotti kuormien siistimistyön 11,1 min/kuorma. Aika on oletettu kuormakohtaiseksi vakioajaksi.

Purku-, kuormaus- ja ajokuntoon laitto. Työvaiheen on oletettu nopeutuvan oppimisen ym. ansiosta vähintään 2 min/kuorma.

Kuormausajo, kääntyminen, keskeytykset. Ajanmenekki oletettu samaksi kuin normaalissa puutavaran ajossa ja ajat ovat peräisin sitä koskevista tutkimuksista (HAAJA 1971 ja JUKKOLA 1973).

Taulukon 14 mukainen ajanmenekki (työmaa-aika) vastaa seuraavan-suuruksia tuotoksia:

Kuorman paino	Tuotos työmatunnissa
t	t/h
14,6	7,13
16,6	8,83
18,6	9,46
20,6	10,02

Mainittakoon, että raskain kuorma painoi tässä kokeessa 19,1 t.

123. Vertailu muihin haketusmenetelmiin

Taulukko 15 on laadittu seuraavin perustein:

Yleiset perusteet: Tuotos sisältää kuormauksen metsäpäässä ja purun keskusvarastolla. Se ei sisällä ajoon kuluva-aikaa.

Taulukko 15. Kuorman teon ja purkamisen tuotos eri haketusketjujen osana. Kuljetusvaihetta ei oteta huomioon.

Haketusketju	Tuotos	
	tonnia/ työmaatunti	suhteellisena
<u>1. Välivarastohaketus I</u>		
Keskikokoinen hakkuri, tehotuntituotos 42 i-m ³ /h	5,3	62
Järeä hakkuri, tehotuntituotos 68 i-m ³ /h	8,6	100
<u>2. Välivarastohaketus II</u>		
Keskikokoinen hakkuri, tehotuntituotos 42 i-m ³ /h	6,2	72
Järeä hakkuri, tehotuntituotos 68 i-m ³ /h	10,0	116
<u>3. Palstahaketus</u>		
Kuorman paino 20,0 t	27,9	324
<u>4. Haketus keskusvarastolla</u>		
Löysä kuorma, 10,7 t	7,5	87
Tiivistetty kuorma, 14,6 t	7,1	83
" " 16,6 t	8,8	102
" " 18,6 t	9,5	110
" " 20,6 t	10,0	116

Välivarastohaketus I. Kuormaustuotoksen perustana on käytetty hakkureiden tehotuntituotosta. Keskikokoisella hakkurilla 42 i-m³/h, lehtipuun haketuksessa (TUOMOLA 1977) ja järeällä 68 i-m³/h, lepän haketuksessa (SALAKARI 1976). Tuotos on muutettu työmaatuntituotokseksi sen jakautumaa koskevan tutkimuksen perusteella (SALAKARI 1978). Autojen varsinaisen kuormauksen osuus oli 49,2 % työmaa-ajasta. Työmaa-ajan jakautuma välivarastohaketuksessa näyttää olevan hakkurin

koosta riippumaton. Esim. Suomessa tehdyssä tutkimuksessa oli hakkurin tuotos n. 12 tuoretonnia tehotunnissa ja hake-
tuksen osuus 47 % työmaa-ajasta. Kanadalaisessa tutkimuksessa (FOLKEMA 1977) olivat vastaavat luvut 31 t/h ja 48 %.

Väliivarastohaketus II. Hakkureiden tuotos ja samalla siis varsinaisen kuormauksen tehotuntituotos on sama kuin väli-
varastohaketus I:ssä, mutta haketusketjun eri lenkkien painotus on oletettu toiseksi. Huomio on yksipuolisesti kiinnitetty vain autojen tuotokseen, tavoitteena sen nostaminen. Hakkurin päivätuotoksesta ei välitetä. Autojen osalta työmaa-ajan jakauma sisälsi jonotusta 13,7 % (SALAKARI 1978). Tämä aika voidaan ehkä poistaa, jos autoille laaditaan pitävä aikataulu ja niiden määrää mitoitetaan siten, että ne pystyvät toimimaan jatkuvasti täydellä teholla. Toisin sanoen kuljetus-
kapasiteetti mitoitetaan hakkurin luomaa tarvetta pienemmäksi. Jonotusaikojen poistamisella voidaan kuormausajan osuutta nostaa kuitenkin vain 8,5 % eli 57,7 %:iin työmaa-ajasta.

Palstahaketus. Kuormaustuotoksen pohjana palstahaketuksen jälkeen on käytetty tyhjien vaihtolavojen pudotuksen ja täysien kuormaan vedon vaatimaa aikaa (täysperävaunu). Valmistajan edustajan (JALONEN 1979) mukaan tämä vie yhteensä aikaa 4 - 10 minuuttia. Ajantarve on kuitenkin nostettu 15 minuuttiin kuormaa kohden, koska metsävarasto ei vastaa hyvin tasoitettuja varastopaikkoja.

Kokopuun kuljetus. Tuotos on laskettu samoin perustein kuin taulukko 14. Tiivistämättömän kuorman paino on laskettu keskimääräisen kuorman koon ja löysän kuorman tilavuuspainon avulla.

Kuormien tilavuuspaino. Väliivarastohaketuksen jälkeen on tilavuuspainona käytetty tuoreen leppähakkeen todettua painoa 276 kg/i-m^3 (KANNINEN ym. 1979). Palstahaketuksen jälkeen on leppähakekuorma hieman löyhempi eli 264 kg/i-m^3 (KALAJA 1978). Kokopuukuorman tilavuuspaino on tässä kokeessa todettu

(10,7 t ja 14,6 t). Sarjavalmisteiselle laitteistolle on käytetty arvioita, jotka tämän kokeen perusteella näyttävät mahdollisilta.

Kuormien koko. Palstalta tuodun hakkeen kaukokuljetuskuormat oletettiin 76 i-m^3 :n suuruisiksi. Muiden menetelmien lsdken-
nassa ei kuorman kokoa tarvittu.

Työmaa-aika. Välivarastohaketuksessa autoa kuormattiin keskimäärin 49,2 % työmaa-ajasta (SALAKARI 1978). Loppu kului odottelussa, jonotuksessa, valmistelussa jne.

Palstahaketuksen jälkeisen kuormauksen työmaa-aika. Mainittu jo aiemmin. Myös siihen on lisätty samat ajat kuin taulukossa 14 (kääntymiset, keskeytykset, siirrot jne eli yhteensä 35,4 min).

Kokopuun kuljetuksen työmaa-aika on sama kuin taulukossa 14.

Autoilta keskusvarastolla kuluva aika. Metsähaketusketjuilla on autojen kippausaika oletettu samaksi eli 8 min/ kuorma (JALONEN 1979). Kokopuun kuljetuksen keskusvarasto-aika perustuu tämän tutkimuksen tuloksiin.

Raaka-aineen kaukokuljetuksen kannalta näyttää eri menetelmien edullisuus seuraavanlaiselta:

- Palstahaketus on kaukokuljetuksen kannalta kiistattomasti edullisin menetelmä.
- Pelkän kuljetustuotoksen kannalta välivarastohaketus on toiseksi paras menetelmä edellyttäen, että hakkurin teho on vähintään 50 i-m^3 tehotunnissa, jos kilpaileva menetelmä on kokopuun kuljetus tiivistämättömänä, ja yli 60 i-m^3 /tehotunti, jos vaihtoehtona on puiden kuljetus tiivistetyissä kuormissa.
- Ellei edellämainittuja välivarastohaketusta koskevia ehtoja voida täyttää on tiivistettyjen kokopuukuormien kuljetus toiseksi edullisin menetelmä.

Kaikki kokopuumenetelmät ovat suhteellisen nuoria ja kannattavuuslaskelmat ovat siksi vain arvioluonteisia

Kokopuun kaukokuljetus tarjoaa välivarastohaketukseen nähden mm. seuraavia etuja:

- varastokustannukset metsäpäässä laskevat
- haketuskaluston siirtokustannukset jäävät pois
- hakkurin kuljettajan matkakustannukset jäävät pois
- hakkurin huolto ja korjaustyöt helpottuvat
- hakkurin päivätuotos nousee
- työnjohdolliset ongelmat vähenevät
- kokopuun säilyvyys on parempi kuin hakkeen

Kokopuun kuljetukseen sopiva kalusto on kalliimpi kuin hakkeen kuljetuskalusto, mutta kuten edelläolevasta luettelosta käy ilmi, kuljetusmuoto sinänsä voi tuoda mukanaan kustannussäästöjä, joiden ansiosta kaluston hintaero vähintäänkin tasoittuu.

Kokopuun kaukokuljetusta voisi verrata myös pinotavaran kuljetukseen. Koska kalusto on molemmissa tapauksissa lähes sama (kokopuun kuljetuksessa hiukan kalliimpi) olisi vertailun lähtöedellytys, että kokopuukuormasta saataisiin vähintään sama korvaus kuin pinotavarakuormastakin. On kuitenkin ilman muuta selvää, että kokopuun kuljetuksen välittömät kustannukset ovat kalliimmat kuin pinotavaran. Vertailun tekemisessä ei muutenkaan ole mieltä, koska jo raaka-aineet, korjuumenetelmistä puhumattakaan, eroavat toisistaan tuntuvasti.

14. PÄÄTELMÄT

Tämän tutkimuksen perusteella pienkokopuiden kaukokuljetus ja haketus keskusvarastolla näyttää, jo ilman kuormien tiivistämistäkin, olevan ainakin lyhyillä matkoilla menetelmänä suurinpiirtein yhtä edullinen kuin välivarastohaketus ja kaukokuljetus hakkeena. Jos kokopuukuormien kokoa voidaan nostaa ja metsävarastolla kuluvaa aikaa tässä tutkimuksessa todetusta

vielä vähentää, mikä on täysin mahdollista, voi kokopuiden kuljetus osoittautua edullisemmaksi kuin välivarastohaketus.

Tässä tutkimuksessa on kuitenkin puutteita, joiden vuoksi jatkotutkimukset ovat tarpeen:

- tutkittiin vain yhtä puulajia, leppää
- kuljetettu leppä oli suurimmaksi osaksi suurikokoista, pienien läpimittojen osuus jäi liian vähäiseksi
- tutkittu laitteisto oli I-prototyyppi
- menetelmän kokonaisedullisuuden tarkistamiseksi tarvitaan tietoa keskusvarastohaketuksen tuotoksesta ja työmaa-ajan jakaumasta

15. YHTÄLÖT

1. Rinnankorkeusläpimitan riippuvuus kantoläpimitasta

$$y = 0.83x - 0.27$$

x = kantoläpimitta, cm

y = rinnankorkeusläpimitta, cm

2. Puitten pituuden riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta

$$y = 51.06x^{0.28} \quad (r^2 = 0.89)$$

x = rinnankorkeusläpimitta, cm

y = puun pituus, dm

3. Oksarajan korkeuden riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta

$$y = -45.28 + 20.18 \ln x \quad (r^2 = 0.17)$$

x = rinnankorkeusläpimitta, cm

y = oksarajan korkeus, dm

4. Perävaunun tiivistämättömän kuorman vaikutus tiiviin kuorman kokoon

$$y = 16.21x^{0.20} \quad (r^2 = 0.45)$$

x = tiivistämätön kuorma, p-m³

y = tiivistetty kuorma, p-m³

5. Kuormauskoon vaikutus tiivistettyyn tilavuuspainoon

$$y = 841.44 - 150.38 \ln x \quad (r^2 = 0.54)$$

x = kuormauskoko, p-m³

y = tilavuuspaino, kg/p-m³

6. Puun koon vaikutus tiivistämättömän kuorman kokoon

$$y = -0.229 + 94.97 x \quad (r^2 = 0.33)$$

x = kantoläpimitta, mm

y = tiivistämättömän kuorman tilavuus, p-m³

7. Puun koon vaikutus vetovaunun kuorman tilavuuspainoon

$$y = -355.29 + 110.65 \ln x \quad (r^2 = 0.58)$$

x = kantoläpimitta, mm

y = tilavuuspaino, kg/p-m³

8. Puun koon vaikutus perävaunun kuorman tilavuuspainoon ja sen muutokseen

$$y = -80.56 + 60.27 \ln x \quad (r^2 = 0.48)$$

x = kantoläpimitta, mm

y = tilavuuspaino, kg/p-m³

$$y = 343.28 - 56.42 \ln x \quad (r^2 = 0.45)$$

x = kantoläpimitta, mm

y = tilavuuspainon muutos, % alkuperäisestä

9. Puun koon vaikutus pinokuution ja hakekuution suhteeseen

$$y = -0.003x + 1.67 \quad (r^2 = 0.20)$$

x = kantoläpimitta perävaunussa, mm

y = pinokuution ja hakekuution suhde perävaunussa, $\text{p-m}^3/\text{i-m}^3$

$$y = -0.013x + 3,34 \quad (r^2 = 0.62)$$

x = kantoläpimitta vetovaunussa, mm

y = pinokuution ja hakekuution suhde vetovaunussa, $\text{p-m}^3/\text{i-m}^3$

10. Kuormaustilavuuspainon vaikutus tiivistettyyn tilavuuspainoon

$$y = 1.035x + 84.46 \quad (r^2 = 0.83)$$

x = lähtötilavuuspaino, kg/p-m^3

y = lopullinen tilavuuspaino, kg/p-m^3

11. Oppimisen vaikutus ajankäyttöön ajoneuvoyhdistelmän kuormauksessa

$$y = -6.28x + 614.16 \quad (r^2 = 0.12)$$

x = kuorman järjestysnumero

y = ajantarve, cmin

12. Oppimisen vaikutus kuorman purkuun keskusvarastolla

$$y = -0.52x + 2,23 \quad (r^2 = 0.33)$$

x = kuorman järjestysnumero

y = ajantarve, min

13. Ajantarpeen riippuvuus kuorman painosta varsinaisessa kuormauksessa ja kuorman purussa

$$y = 1483.86 + 0.26 \quad (r^2 = 0.23)$$

x = kuorman paino, kg

y = ajantarve, cmin

LÄHDELUETTELO

- FOLKEMA, M.P. 1977. Whole-Tree Chipping with the Morbark Model 22 Chipharvester. FERIC. Technical Note No. TN-16.
- HAAJA, R. 1971. Tutkimus silmävaraisesti katkotun kuitupuun autokuormauksesta ja autokuorman koosta. Metsätehon tiedotus 303.
- HAKKILA, P. & HEISKANEN, V. 1978. Puu teollisuuden raaka-aineena. Tapion taskukirja 18 p.
- HANSEN, R. 1975. Lastbiltransport och komprimering av träddelar. Skogsarbeten ekonomi, NR 15.
- JALONEN, R. 1979. Suullinen lausunto.
- JUKKOLA, S. & SAVOLAINEN, R. 1973. Puutavaran autokuormaus ja puutavara-autojen ajonopeus. Metsätehon Tiedotus 323.
- KALAJA, H. 1978. Pienpuun korjuu TT 1000 F palstahakkurilla. Folia For. 374.
- KANNINEN, K., VALONEN, P. & UUSVAARA, O. 1979. Kokopuuraaka-aineen mittaus, käsikirjoitus.
- MØLLER, F. 1975. Lastbiltransport af heltree fra nåletrees tyndinger. Skovteknisk Institut.
- PELTOLA, H. 1976. Kokopuuraaka-aineen autokuljetus. Metsätehon tiedotus 340.
- SALAKARI, M. 1976. TT-varastohakkuri 1500 T. Metsä ja Puu 8/1976. ss. 26-27.
- SALAKARI, M. 1978. Hakkurin ja hakeautojen työmaa-ajan ja kaantuminen välivarastolla. Metsäntutkimuslaitos, metsäteknologian tutkimusosasto, moniste 1/1978.
- SAVOLAINEN, R. 1977. Tukin ja kuitupuun autoon kuormauksen tuotossuhteet. Metsätehon katsaus 2/1977.
- SKAAR, R. 1977. Heltransport-lastebil, Projekt heltreutnyttelse statusrapport mai 1977.
- TUOMOLA, T. 1977. Trelan D-60 kokopuuhakkurin tuotos ja kustannukset välivarastohaketuksessa. Helsingin Yliopiston metsäteknologian laitoksen tiedonantoja n:o 34.

