

Metsätehon raportti 169
24.2.2004

Rajoitettu jakelu

Metsäliitto Osuuskunta
Metsäteollisuus ry
Stora Enso Oyj
UPM-Kymmene Oyj
Vapo Timber Oy

Oksapaalien autokuljetus

Antti Korpilahti

Oksapaalien autokuljetus

Antti Korpilahti

Metsätehon raportti 169
24.2.2004

Rajoitettu jakelu:

Metsäliitto Osuuskunta, Metsäteollisuus ry, Stora Enso Oyj,
UPM-Kymmene Oyj, Vapo Timber Oy

Asiasanat:

hakkuutähde, puupolttoaine, oksapaali, autokuljetus

© Metsäteho Oy

Helsinki 2004

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	4
TAUSTA JA TAVOITE	6
1 TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO	6
2 TULOKSET	8
2.1 Paalien ja kuormien koot	8
2.2 Kuormaus.....	11
2.2.1 Kuormauksen työvaiheiden ajanmenekit.....	11
2.2.2 Kuormaustulosten tarkastelu	12
2.3 Kuorman purkaminen	12
2.3.1 Purkamisen työvaiheiden ajanmenekit	12
2.3.2 Purkamistulosten tarkastelu.....	14
2.4 Ajonopeudet.....	14
2.5 Oksapaalien ja kuitupuun ajanmenekkien vertailu	16
2.6 Polttoaineenkulutus.....	17
3 OKSAPAALIEN KULJETUSKUSTANNUKSET.....	18
3.1 Perusteet.....	18
3.2 Kuljetuskustannukset 60 paalin kuormalla	18
3.3 Kuormakoon suurentaminen ja sen kustannusvaikutus	20
3.4 Oksapaalien kuljetuskustannukset energiasisältöä kohden.....	21
4 KUORMATILAN PÄÄTYSERMIEN KEHITTÄMINEN.....	24
5 TARKASTELU	25

TIIVISTELMÄ

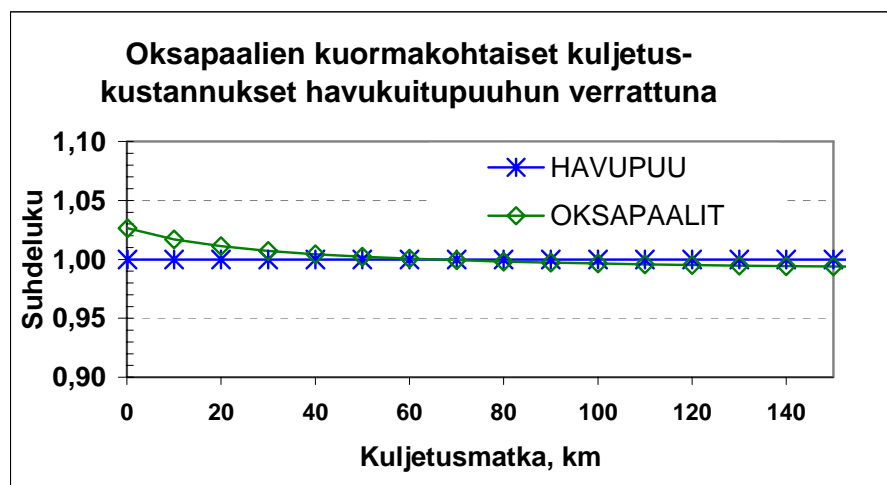
Tutkimuksessa selvitettiin oksapaalien autokuljetuksen ajanmenekkiä ja tarkasteltiin kuljetusmaksujen määrittämiseen liittyviä seikkoja. Oksapaalien ja havukuitupuun kuljetuksen ajanmenekkien suhde selvitettiin siten, että verrattiin samojen autojen ja kuljettajien suorituksia kelloaikatutkimuksen avulla. Tutkimuksessa oli 8 kuljettajaa. Varsinainen ajanmenekkien vertailu voitiin tehdä 6 kuljettajan ajoista.

Tutkimusaineistossa kuitupuukuorman keskikoko oli 47,4 ja paalikuorman 31,1 kiintokuutiota. Kuormassa oli keskimäärin 59 paalia. Ajoneuvoyhdistelmien kokonaispainot olivat kuitupuukuormilla noin 64 ja oksapaalikuormilla 49 tonnia. Paalikuljetuksessa kantavuudesta jäi keskimäärin 11 tonnia hyödyntämättä. Tavanomaiset puutavaravarusteiset ajoneuvoyhdistelmät painoivat kuormaimen kanssa lähes 23,6 tonnia.

Ajanmenekkien vertailut perustettiin kuitupuulla kantavuuden mukaisiin 45 m³ kuormiin ja oksapaaleilla 60 tavoitekokoisen paalin kuormiin (33,25 m³). Varsinainen kuormaus oli oksapaaleilla hieman nopeampaa kuin kuitupuulla. Kuormauksen muu aika oli kuitenkin oksapaaleilla selvästi suurempi ja siksi kokonaisaika oli paalikuormalla hieman suurempi kuin kuitupuulla. Kertoimet vaihtelivat autoittain 0,82 - 1,37 ja niiden keskiarvo oli 1,02.

Kuitupuukuorma puretaan kurottajalla muutamassa minuutissa. Kun oksapaalikuorma puretaan ajoneuvon omalla nosturilla tai erillisnosturilla, ajanmenekki on yli 4-kertainen. Paaliauton purkamispaikalla viipymistä lisää ajoneuvon siivoaminen oksista ja roskista. Purkupaikalla autot joutuvat satunnaisesti odottamaan mittausta tai kuorman purkamista. Tässä tutkimuksessa olleilla autoilla odotusaika vaihteli kuitupuukuormilla 0 - 68 ja oli keskimäärin 17,5 minuuttia. Oksapaalikuormilla odotusajat olivat 0 - 18 ja keskimäärin 3,2 minuuttia.

Oksapaalien ja kuitupuun kuormakohtaiset kuljetuskustannukset ovat käytännöllisesti katsoen yhtä suuret (kuva).



Koska oksapaalikuormalla ei yleensä päästä kantavuuden mukaiseen kuormitukseen ja paalien paino vaihtelee kosteusvaihteluiden vuoksi paljon, kuljetusmaksuja ei voida määrittää pelkästään lastin painon mukaan. Käytännössä yksinkertaisinta olisi määrittää kuljetusmaksu täysille kuormille suurimman sallitun kokonaispainon mukaisesti.

Hankkeen yhteydessä kehitettiin puutavara-auton kuormatilan päihin irtonaisten kappaleiden putoamista estävät sermit. Kuormatilan sermit suunnitteli ja rakensi projektin tuella Karelian Puu ja Metallit Oy Kontiolahdelta. Vetoauton sermin nosto- ja laskumekanismia pitäisi vielä kehittää nosturin kuljettamisen vuoksi. Perävaunun päätysermi on ollut käytössä toimiva ja sen arvioidaan olevan tarpeellinen irtoavien oksien ja puukappaleiden putoilemisen estämiseksi.

Sermien käyttökokeiluun osallistuva kuljetusyrittäjä Kuljetusliike Sauvala Ky (Naarajärvi) on kehittänyt pitkän perävaunun, johon mahtuu 4 oksapaalinippua. Yhdistelmän kuormaan mahtuu 82 oksapaalia (45 m³) ja tuoreella materiaalilla yhdistelmän kokonaispaino on noin 60 t.

TAUSTA JA TAVOITE

Metsähaketta käytettiin Suomessa v. 2002 noin 1,7 milj. m³. Määrä kasvoi edellisvuodesta 24 %. Pääosa metsäpolttoaineesta on uudistusalojen hakkuutähdettä. Sen korjuuseen on yleistymässä paalaukseen perustuva menetelmä. Paalit on kuljetettu pääosin tavanomaisilla puutavara-autoilla. Pitkään varastoidut paalit ovat olleet osaksi pehmenneitä tai siteiltään löystyneitä ja niiden kuljetus on edellyttänyt pohjallista ja laidallista kuormatilaa.

Oksapaalien autokuljetusta on tutkittu eräiden puupolttoaineprojektien yhteydessä. Niissä ja käytännön toiminnassa on todettu, että ajoneuvoyhdistelmän kuorma yleensä jää kantavuuden suhteen vajaaksi. Lisäksi kuormien paino vaihtelee paljon, koska hakkuutähteen kosteus ja paalien ominaisuudet vaihtelevat. Kuorman tekeminen vaatii kuljettajalta erityistä huolellisuutta paaleissa olevien irrallisten puunkappaleiden vuoksi. Ne olisi pystyttävä havaitsemaan ja poistamaan, etteivät ne putoa matkalla liikennettä vaarantaen.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli määrittää oksapaalien autokuljetuksen ajanmenekki ja tarkastella oksapaalien kuljetuksessa huomioon otettavia seikkoja. Tutkimustietoa tarvitaan kuljetussuoritteiden ja -kustannusten määrittämisen perustaksi sekä oksapaalitekniikan ja kaluston kehittämiseksi. Tulokset auttavat tarkentamaan puupolttoaineen tuotantoketjujen vertailua.

Hankkeen yhteydessä kehitettiin puutavara-auton kuormatilan päihin irtonaisten kappaleiden putoamista estävät sermit. Kuormatilan sermit suunnitelti ja rakensi projektin tuella Karelian Puu ja Metallit Oy Kontiolahdelta.

1 TUTKIMUSMENETELMÄ JA AINEISTO

Tutkimus toteutettiin vertailevana aikatutkimuksena. Työntutkija havainnoi 8 kuljettajaa ja 10 ajoneuvoyhdistelmää sekä oksapaalien että havukuitupuun kuljetuksessa. Kuormittaisista tiedoista laskettiin autokohtaisesti kuitupuun ja oksapaalien kuljetustyön ajanmenekkien keskiarvot ja niistä edelleen tavaralajikohtaiset keskiarvot. Suhteuttamalla paalien kuljetus kuitupuun kuljetukseen pyrittiin pääsemään pienellä aineistolla yleistämiskelpoisiin tuloksiin.

Aineistoksi tavoiteltiin kolmea oksapaalikuormaa ja kahta kuitupuukuormaa kullekin kuljettajalle ja autolle. Tutkimuksessa havainnoitiin 29 paalikuorman ja 16 kuitupuukuorman kuljetusta (taulukko 1). Kuljetuksia tutkittiin maaliskuussa 2002, loka-marraskuussa 2002 ja tammikuussa 2003.

TAULUKKO 1

Oksapaalien autokuljetustutkimuksen aineisto

Kuljettaja	Auto	Yhdistelmä		Nosturi	Kuormatilan mitat		Perävaunu		Laidat	Kuljetukset	
		Omapaino	Kantavuus		Vetoauto	korkeus, m	m2	korkeus, m			m2
K1	A1: Volvo FH 16	23 580	36 420	Loglift 95	2,62	6,29	2,62	6,29		kuusikuitu 2 kuormaa	
K1	A2: Scania 164	26 350	33 650	Loglift 105	2,62	6,29	2,62	6,29	on	oksapaalit 3 kuormaa	
K2	A3: Scania 164G	21 730	38 270	Loglift 81	2,68	6,43	2,68	6,43		kuusikuitu 2 kuormaa	
	- " -	21 800	38 200	- " -	- " -	- " -	- " -	- " -	ei	oksapaalit 3 kuormaa	
K2	A4: Scania 144G	27 340	32 660	Jonsered 1090	2,56	5,96	2,54	5,92	on	oksapaalit 2, vanhoja	
K3	A5: Volvo FH12	23 450	36 550	Loglift 82 S	2,56	6,14	2,70	6,48	ei	oksapaalit 3 kuormaa	
	- " -	23 650	36 350	- " -	- " -	- " -	- " -	- " -		kuusikuitu 2 kuormaa	
K4	A6: Volvo F12	23 450	36 550	Loglift 82 S	2,56	6,14	2,64	6,34		mäntykuitu 2 kuormaa	
	- " -	23 300	36 700	- " -	- " -	- " -	- " -	- " -	ei	oksapaalit 1 kuorma	
K4	A6: Volvo F12	24 250	35 750	Foresteri 910	2,47	5,93	2,70	6,48	on	kokopuupaalit 2 kuormaa	
	- " -	24 380	35 620	- " -	- " -	- " -	- " -	- " -	on	oksapaalit 2, vanhoja	
K5	A7: Scania 164G	19 450	40 550	Loglift 95	2,73	6,55	2,73	6,55		kuusikuitu 2 kuormaa	
	- " -	22 950	37 050	- " -	- " -	- " -	- " -	- " -	ei	oksapaalit 1, vanhoja	
	- " -	22 600	37 400	- " -	- " -	- " -	- " -	- " -	ei	oksapaalit 2 kuormaa	
K6	A8: Scania 460	25 350	34 650	Jonsered 1020	2,76	6,49	2,70	6,35		mäntykuitu 2 kuormaa	
	- " -	24 820	35 180	- " -	- " -	- " -	- " -	- " -	ei	oksapaalit 5 kuormaa	
K7	A9: Scania 144G	21 050	38 950	Jonsered 1020	2,63	6,15	2,71	6,34		mäntykuitu 2 kuormaa	
		21 120	38 880	- " -	- " -	- " -	- " -	- " -	ei	oksapaalit 3 kuormaa	
K8	A10: M-B 3353	24 080	35 920	Jonsered 1090D	2,64	6,18	2,84	6,65		mäntykuitu 2 kuormaa	
		24 050	35 950	- " -	- " -	- " -	- " -	- " -	ei	oksapaalit 2 kuormaa	

Kaikki vetoautot olivat 3-akselisia. Auton numero 1 ja auton 6 laidalliset perävaunut olivat 3-akseliset. Kaikissa muissa yhdistelmissä oli 4-akselinen perävaunu.

Autolla 7 kuljetettiin kuitupuukuormat ja autolla 9 sekä kuitupuu- että paalikuormat ilman kuormainta; kaikissa muissa kuljetuksissa kuormain oli koko ajan mukana. Aineiston laskennassa autojen 7 ja 9 kuormaimen irrotus- ja kiinnitysajat poistettiin aikatutkimuksen havaintojen perusteella ja siten niiden työvaiheet rinnastettiin muiden autojen työvaiheisiin. Punnitustiedoista auton 7 kuormaimen painoksi saatiin 3 270 kg. Muiden autojen nostureiden painoa ei selvitetty.

Tutkimuksen aikana ilmeni, että kuljettajalla numero 4 ei ollut kokemusta puutavaran kuljettamisesta. Kyseinen aineisto jätettiin siksi pois ajamenekkitarkasteluista, mutta kuormankokotarkasteluissa se oli mukana.

2 TULOKSET

2.1 Paalien ja kuormien koot

Paalit olivat noin 70 cm paksuja ja kuormittain niiden keskipituudet vaihtelivat 274 – 324 cm (taulukko 2). Kun paalien tavoitepituus oli 320 cm, paalit olivat usein sitä lyhyempiä. Samansuuntaisia eroja on todettu aiemmissakin tutkimuksissa.

TAULUKKO 2

Oksapaalien keskikoot ja ominaisuustiedot

Kuljettaja ja auto	Paalin laatu	Pituus cm	Halkaisija cm	Koko kehys-m ³	Massa kg/kpl	Kosteus %	Kuutiopaino kg/m ³	Tilavuus m ³ /kpl	Tiiviyys %
K1 A2, laidat	Tuore	318	72	1,295	429	40	653	0,657	51
K2 A3	Tuore	324	71	1,283	505	43	724	0,698	54
K2 A4, laidat	Vanha	274	74	1,178	324	31	677	0,479	41
K3 A 5	Tuore	316	71	1,251	445	48	844	0,527	42
K4 A6	Tuore	309	70	1,189	397	39	795	0,500	42
K4 A6, laidat	Kokopuu	316	70	1,216	479	50	795	0,603	50
K4 A6, laidat	Vanha	395	61	919	0,430	..
K5 A7	Vanha	306	68	1,111	306	26	621	0,493	44
K5 A7	Tuore	315	65	1,045	362	43	796	0,455	44
K6 A8	Tuore	299	74	1,286	486	53	957	0,508	40
K7 A9	Tuore	307	72	1,250	430	61	978	0,440	35
K8 A10	Tuore	301	66	1,030	477	74	941	0,507	49
Keskiarvot	Tuore	311	70	1,204	441	50	836	0,536	45
	Vanha	290	71	1,145	342	39	739	0,467	42
	Kokopuu	316	70	1,216	479	50	795	0,603	50
Maksimiarvo		324	74	1,295	505	74	978	0,698	54
Minimiarvo		274	65	1,030	306	26	621	0,430	35

Paalien kuormakohtaisesti määritetyt tiiviydet (kiintoprosentit) vaihtelivat 35 – 54 %. Vaihtelu oli melko suurta, sillä ääriarvot olivat tuoreista hakkuutähdepaaleista. Paalien laadun mukaan keskitiiviydet olivat kuitenkin loogisia siten, että tiiviys oli pienin vanhoilla, pehmenneillä paaleilla, tuoreilla vähän suurempi ja kokopuupaalit olivat tiiveimmät.

Paalien kosteus vaihteli noin 30:stä 60:een %:iin. Yhdestä näytteestä saatiin jopa 74 % kosteus, mutta analysoijan mukaan murskeen joukossa oli runsaasti lunta.

Oksapaaleja oli kuormassa 50 – 69 kpl, keskimäärin 59. Laidallisessa kuormatilassa paaleja oli 55 ja tavanomaisen puutavara-auton kyydissä keskimäärin 60 kpl.

Ajoneuvoyhdistelmien kokonaispainot olivat kuitupuukuormilla lähes 64 ja oksapaalikuormilla runsaat 49 tonnia (taulukko 3). Paalikuljetuksessa kantavuudesta jäi keskimäärin 11 tonnia hyödyntämättä. Kuitupuukuorman keskikoko oli 47,4 ja paalikuorman 31,1 kiintokuutiota.

Paalikuljetuksissa laidallisten autojen keskimääräinen omapaino oli lähes 25,7 tonnia. Tavanomaiset puutavaravarusteiset ajoneuvoyhdistelmät painoivat kuormaimen kanssa lähes 23,6 tonnia.

TAULUKKO 3

Tutkimuksessa havainnoidut kuormat

Kuljettaja ja auto	Puutavara	Bruttopaino	Omapaino	Kuorman koko		Paalit	m3/kpl	Tiheys
		kg	kg	t	m3	kpl		kg/m3
K1 A1	Kuusikuitupuu	64 220	23 600	40,6	48,2			843
	Kuusikuitupuu	65 800	23 560	42,2	50,5			837
K1 A2, laidat	Oksapaalit	50 650	26 350	24,3	39,3	61	0,644	619
	Oksapaalit	51 800	26 350	25,5	38,3	60	0,639	664
	Oksapaalit	50 750	26 350	24,4	36,1	52	0,695	675
K2 A3	Kuusikuitupuu	64 280	21 760	42,5	50,1			848
	Kuusikuitupuu	63 580	21 700	41,9	50,3			833
	Oksapaalit	52 100	21 800	30,3	41,2	58	0,710	736
	Oksapaalit	50 250	21 800	28,5	40,1	59	0,680	709
	Oksapaalit	51 450	21 800	29,7	40,8	58	0,703	727
K2 A4, laidat	Oksapaalit, vanhat	46 320	27 360	19,0	28,0	58	0,483	677
	Oksapaalit, vanhat	45 320	27 320	18,0	26,6	56	0,475	677
K3 A 5	Kuusikuitupuu	61 540	23 640	37,9	47,8			793
	Kuusikuitupuu	62 900	23 660	39,2	47,7			823
	Oksapaalit	49 120	23 480	25,6	36,3	57	0,637	706
	Oksapaalit	48 600	23 440	25,2	28,9	57	0,507	870
	Oksapaalit	48 720	23 440	25,3	26,5	57	0,464	955
K4 A6	Mäntykuitu	62 600	23 350	39,3	49,7			790
	Mäntykuitu	62 200	23 550	38,7	43,6			886
	Oksapaalit	45 550	23 300	22,3	28,0	56	0,500	795
K4 A6, laidat	Oksapaalit, kokopuu	48 150	24 350	23,8	29,6	51	0,581	803
	Oksapaalit, kokopuu	48 750	24 150	24,6	31,3	50	0,625	787
	Oksapaalit, vanhat	44 300	24 375	19,9	21,0	57	0,369	948
	Oksapaalit, vanhat	46 700	24 375	22,3	25,1	50	0,502	890
K5 A7 (*)	Kuusikuitupuu	65 000	19 450	45,6	54,1			842
	Kuusikuitupuu	65 300	19 450	45,9	54,5			842
	Oksapaalit, vanha	42 860	22 950	19,9	32,1	65	0,493	621
	Oksapaalit	45 180	22 750	22,4	27,6	61	0,453	812
	Oksapaalit	44 180	22 450	21,7	27,8	61	0,456	780
K6 A8	Mäntykuitu	64 600	25 750	38,8	42,2			920
	Mäntykuitu	68 000	24 950	43,1	45,7			941
	Oksapaalit	52 350	24 900	27,5	28,0	56	0,501	979
	Oksapaalit	55 100	24 850	30,3	30,9	57	0,542	979
	Oksapaalit	54 400	24 850	29,6	31,0	58	0,534	954
	Oksapaalit	51 200	24 700	26,0	27,3	58	0,470	954
	Oksapaalit	52 350	24 800	27,6	29,4	61	0,483	936
K7 A9 (*)	Mäntykuitu	64 350	20 950	43,4	45,5			953
	Mäntykuitu	59 100	21 150	38,0	41,9			906
	Oksapaalit	47 600	21 000	26,6	26,0	60	0,434	1022
	Oksapaalit	48 000	21 250	26,8	27,6	60	0,461	968
	Oksapaalit	47 250	21 100	26,2	27,7	65	0,427	943
K8 A10	Mäntykuitu	62 500	24 000	38,5	41,9			919
	Mäntykuitu	65 700	24 150	41,6	44,3			937
	Oksapaalit	56 600	24 200	32,4	34,4	69	0,499	941
	Oksapaalit	57 300	23 900	33,4	35,5	69	0,514	941
Keskiarvot	Kuitupukuormat	63 854	22 792	41,1	47,4			870
	Paalikuormat	49 410	23 922	25,5	31,1	59	0,534	830
	Vanhat paalit	45 100	25 276	19,8	26,5	57	0,464	763
	Uudet paalit	50 308	23 640	26,6	32,1	59	0,548	844
	Laita-autot, paalit	48 082	25 664	22,4	30,6	55	0,557	749
	Laidattomat, paalit	50 384	23 148	27,2	31,3	60	0,525	879
(*) kuormain ei mukana								

2.2 Kuormaus

2.2.1 Kuormauksen työnvaiheiden ajanmenekit

Tutkimuksessa havainnoitiin varsinainen kuormaus, valmistelut (aloitus, lopetus ja perävaunun jatkaminen kuormauksen aikana), puutavaran järjestely kuormassa, kuorman sitominen ja siirto kuormauspaikalla. Kuormauksen kokonaisaika käsittää metsäpäässä viipymisen ilman yhdistelmän kääntämistä (taulukko 4). Tulokset on laskettu autokohtaisista keskiarvoista.

Oksapaalikuorman teko kesti lähes 7 % pitempään kuin kuitupuukuorman teko. Kiintokuutiometriä kohden ajanmenekkien ero oli suurempi, lähes 58 %.

TAULUKKO 4 Kuitupuun ja oksapaalien kuormauksen ajat

Tavaralaji	Kuormia	Varsinainen kuormaus		Muut	Yhteensä
	kpl	min/ kuorma	min/m ³	min/ kuorma	min/ kuorma
Kuitupuun	14	25,3	0,53	13,9	39,2
Puuautolla					
Tuoreet paalit	18	23,7	0,75	17,8	41,5
Vanhat paalit	1	29,6	0,92	34,9	64,5
Laita-autolla					
Tuoreet paalit	3	18,2	0,48	11,2	29,4
Vanhat paalit	2	24,7	0,90	9,4	34,1
Koko aineisto	24	23,8	0,75	18,0	41,9

Tavanomaisella puutavara-autolla tuoreiden eli hyvin koossa pysyvien paalien kuormakohtainen varsinainen kuormausaika oli jopa pienempi kuin kuitupuun kuormausaika. Kuutiometriä kohden varsinaisen kuormauksen ajanmenekki oli kuitenkin paaleilla 1,42-kertainen ja muiden työnvaiheiden ajanmenekki 1,28-kertainen kuitupuun kuormauksen ajanmenekkeihin nähden.

Valmistelu-, järjestely- ja sitomisajat voivat riippua materiaalista. Niistä järjestelyä esiintyi kuitupuulla hiukan runsaammin kuin paaleilla. Paalikuormien valmistelu- ja sitomisajat, jotka sisältävät kuorman siistimisen ja irtoavien kappaleiden poistamisen, olivat puolestaan kuitupuukuormien vastavia aikoja selvästi suuremmat (taulukko 5).

TAULUKKO 5 Kuormauksen muut työvaiheet, min/kuorma

Tavaralaji	Kuormia, kpl	Valmistelut	Järjestely	Sitominen	Siirrot
Kuitupuu	14	4,5	1,5	7,2	0,8
Puuautolla					
Tuoreet paalit	18	7,4	1,2	8,3	1,0
Vanhat paalit	1	25,1	2,6	7,2	0,0
Laita-autolla					
Tuoreet paalit	3	9,7	0,0	0,0	1,5
Vanhat paalit	2	8,8	0,1	0,0	0,5

Tulokset viittaavat siihen, että kuormausaika suurenee kun paalien laatu huononee. Laita-autoa käytettäessä kuormaa ei sidota eikä siistitä, mikä vähentää valmistelu-aikaa puutavara-auto kuormaukseen nähden.

Tutkimuksessa kertyi jonkin verran havaintoja ajoneuvoyhdistelmän kääntämisestä metsävarastolla. Kuitupuukuormille saatujen havaintojen keskiarvo oli 4,2 ja oksapaalikuormille 3,5 minuuttia. Koko kuormaluvulle laskettu keskiarvo oli 3,1 minuuttia kummallakin tavaralajilla.

2.2.2 Kuormaustulosten tarkastelu

Vuoden 1995 puutavarankuljetuksen tutkimuksessa varsinainen kuormausaika oli 0,73 min/m³ eli 32,9 min/kuorma (kuormakoko 45 m³) ja kuormausvaiheen kokonaisaika 46,1 minuuttia, kun keräilykuormia ja nosturin irrotusta ja kiinnitystä ei laskettu mukaan. Vuoden 1999 keräilyajotutkimuksessa kuormausaika normaalikuormilla oli 0,62 min/m³ eli 27,9 min/kuorma ja kokonaisaika 39,8 minuuttia. Näiden perusteella puutavarankuljetusten tarkasteluissa on käytetty kuormausvaiheen kokonaisaikana 49 min, kun nosturi kuljetetaan mukana ja 59 min, kun nosturi irrotetaan ja kiinnitetään.

Tässä tutkimuksessa kuormausvaiheen kokonaisajaksi kääntäminen mukaan lukien saadaan 45 m³ kuitupuukuormalle 40,9 ja tavanomaisen puutavara-auton tuoreiden oksapaalien 31,7 m³ kuormalle 44,6 minuuttia.

2.3 Kuorman purkaminen

2.3.1 Purkamisen työvaiheiden ajanmenekit

Kaikille kuitupuukuormille suoritettiin tavanomainen ajoneuvovaakalla punnitus ja kuormat purettiin kurottajalla. Kahdella voimalaitoksella oksapaalikuormat punnittiin itsepalveluvaakoilla. Näihin paikkoihin ajoi kolme autoa. Oksapaalikuormat purettiin pääosin auton omalla kuormaimella. Yhdellä voimalaitoksella paalikuormia purettiin myös erilliskuormaajalla.

Purkamispaikalla viipymisestä havainnoitiin seuraavat työvaiheet: varsinainen purkaminen, mittaus, valmistelut, ajo tehdasalueella ja odotus (taulukko 6).

Kuitupuukuormissa oli kolme nippua jotka purettiin kurottajalla nippu kerrallaan. Varsinainen purkuaika oli vain 3,5 min/kuorma. Keskimääräinen odotusaika oli suuri, yli 15 min/kuorma. Odotusta esiintyi sekä ennen purkamisen aloittamista että kesken kuorman purkamisen, kun kuorimon kuljettimelle ei voitu purkaa koko kuormaa yhteen menoon. Myös satunnaista, kurottajan kuljettajan työtauoista johtuvaa odotusta esiintyi.

Kun valtaosa paalikuormista purettiin autokohtaisella nosturilla, varsinainen purkamisaika oli 13,5 minuuttia mutta odotusaika jäi vähäiseksi. Kuormatilan puhdistamisesta johtuvaa valmistelu-aikaa oli runsaasti (taulukko 6).

TAULUKKO 6 Kuorman purkamisessa viipyminen, min/kuorma

Tavaralaji	Kuormia, kpl	Purkaminen	Mittaus	Valmistelu	Ajot	Odotus	Yhteensä
Kuitupuu	14	3,5	6,7	3,6	4,7	15,5	34,0
Puuautolla							
Tuoreet paalit	18	13,0	4,4	11,0	3,9	3,2	35,6
Vanhat paalit	1	15,8	34,4	19,2	0	0	69,4
Laita-autolla							
Tuoreet paalit	3	14,0	10,6	7,2	3,1	0	34,9
Vanhat paalit	2	13,4	3,4	9,6	2,9	0	29,2
Koko aineisto	24	13,5	8,3	11,3	3,3	2,3	38,5

Yhdellä voimalaitoksella kuormia purettiin myös kaivukonetyyppisellä erillisnosturilla. Vaikka erillisnosturi sinänsä on tehokas, purkaminen sillä ei ole nopeampaa kuin autokohtaisella nosturilla, kun pääosa kuormasta puretaan suoraan murskaimen kuljettimelle.

Purkupaikalla viipymiset olivat koko aineistossa kuitupuukuormilla 34,0 ja oksapaalikuormilla 38,5 minuuttia. Paalikuormien purkamisessa viivytettiin siten 13 % kauemmin kuin kuitupuukuormien purkamisessa. Viipymisajat vaihtelivat huomattavasti ja olivat kuitupuukuormilla 12,9 - 94,8 ja oksapaalikuormilla 21,1 - 69,4 min.

Oksapaalien vastaanottomittaus oli eräillä voimalaitoksilla järjestetty itsepalveluna. Oksapaalikuormien mittauksessa sattui teknisiä häiriöitä enemmän kuin kuitupuukuormien mittauksessa (taulukko 7). Ilman häiriöitä paalikuormien itsepalvelumittaus sujui 3,2 minuutissa.

TAULUKKO 7 Vastaanottomittauksen aika tavanomaisella mitta-asemalla ja itsepalveluna, min/kuorma

Mittaustapa	Tavaralaji	Kuormaluku	Mittausaika, min/kuorma	
			Keskiarvo	Vaihteluväli
Mitta-asema	Kuitupuu	14	6,7	1,0 - 12,0
Mitta-asema	Oksapaalit	16	6,0	2,2 - 19,1
Itsepalvelu	Oksapaalit	8	7,1	1,1 - 34,4

Mitta-asemilla lähes puolet kuormista joutui odottamaan jotakin mittauksen vaihetta. Odotusajat olivat kuitenkin pienet, sillä odottamaan joutuneilla kuitupuukuormilla se oli 2,8 ja paalikuormilla 1,4 min/kuorma.

2.3.2 Purkamistulosten tarkastelu

Vuoden 1995 puutavarankuljetuksen tutkimuksessa purkupaikalla viipyminen oli 36 minuuttia ja vuoden 1999 keräilyajotutkimuksen normaalikuormilla 37 minuuttia. Tässä tutkimuksessa purkamisen ajat olivat samaa suuruutta.

Kurottajalla voidaan ottaa autokuormasta lyhyen kuitupuun nippuja kaksi kerrallaan. Silloin lyhyen kuitupuun 5-nippuisen kuorman purkaminen hoituu suurin piirtein samassa ajassa kuin pitkästä kuitupuusta tehdyn 3-nippuisen kuorman purkaminen. Myös oksapaalinippuja voidaan käsitellä kurottajalla kaksi nippua kerrallaan. Siten oksapaalikuorma voidaan purkaa kurottajalla yhtä nopeasti kuin kuitupuukuorma. Vastaanoton muista järjestelyistä riippuu se, kuinka paljon paaliautolle kertyy odotusaikaa.

Kuitupuukuormien suurin viipymisaika johtui ennen muuta kuorman purkamisen odottamisesta. Eräällä tehtaalla oli 7 aiemmin tullutta autokuormaa purettavana. Aineistosta todettiin saman auton toisenkin kuorman suuri odotusaika samalla tehtaalla. Se johtui kesken kuorman purkamisen pidetystä lähes tunnin pituisesta tauosta.

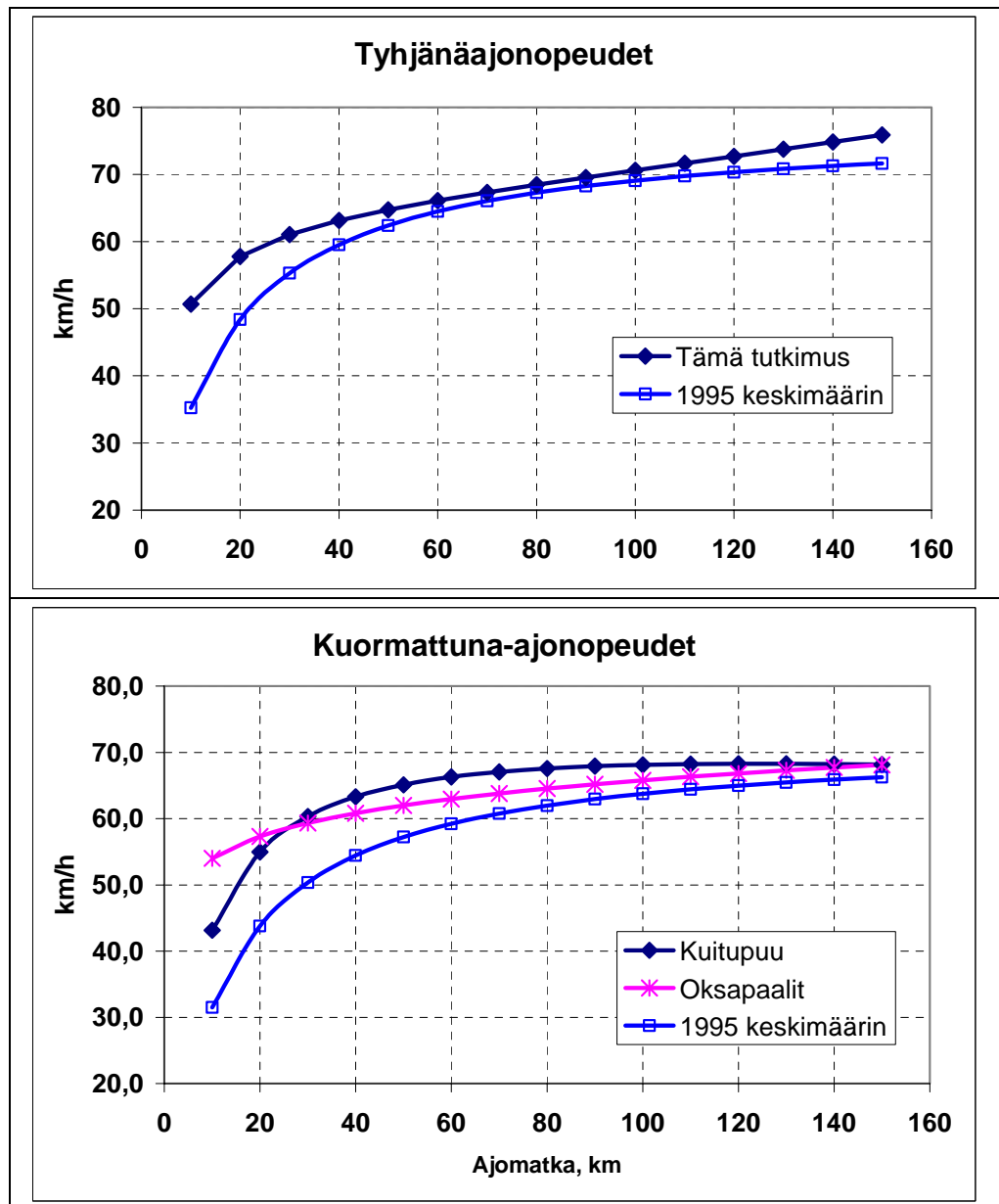
Oksapaalikuormien pisin purkupaikalla viipyminen sattui tilanteessa, jossa ajoneuvovaaka oli rikki ja kuorma ajettiin kuitupuun vastaanoton vakaan. Silloin kuorman mittausaika muodostui poikkeuksellisen suureksi.

2.4 Ajonopeudet

Tässä tutkimuksessa ajonopeudet olivat hieman suuremmat sekä tyhjänä että kuormattuna ajettaessa kuin vuoden 1995 kuljetustutkimuksen yhdistetyssä kesä- ja talviaineistossa (kuva 1). Koska tämän tutkimuksen aineisto oli pieni ja paikallis- ja metsäteillä ajosta oli vähän havaintoja, kuvassa esitetyt ajonopeuksien erot ovat lyhyillä kuljetusmatkoilla todellista suuremmat.

Kuormattuna ajettaessa ajonopeus oli kuitupuukuormilla hieman suurempi kuin paalikuormilla. Tosin kuitupuukuormilla ajonopeuksien vaihtelu oli melko suuri. Vaikka oksapaalikuormat ovat yli 10 t kevyempiä kuin kuitupuukuormat, niiden ajonopeuksissa ei ole yleistettävää eroa.

Koska nyt kerätty aineisto on pieni, se ei kata erilaisia ajo-olosuhteita. Siksi arvioidaan, että ei ole perusteltua aihetta poiketa aiempien tutkimusten ajonopeustuloksista.



Kuva 1. Ajonopeudet tässä tutkimuksessa ja vuoden 1995 kuljetustutkimuksessa.

2.5 Oksapaalien ja kuitupuun ajanmenekkien vertailu

Kuusi tavanomaisesti varustettua puutavara-autoa kuljetti sekä kuitupuuta että tuoreita oksapaaleja. Kuljetuksista laskettiin autokohtaisesti oksapaalien ja kuitupuun kuormauksen ja kuorman purkamisen ajanmenekkien suhteet ja niiden keskiarvot. Ne laskettiin kolmella tavalla:

- A. - suoraan aineistosta
- B. - kuitupuu 45 m³ ja oksapaalit aineiston keskimääräisellä 32 m³ kuormakoolla
- C. - kuitupuu 45 m³ kuormakoolla ja oksapaalit 60 kappaleen tavoitekokoisilla paaleilla (pituus on 320 ja halkaisija 70 cm, kuormakoko 33,25 m³)

Aineistossa sekä kuitupuun että oksapaalien kuormakoot vaihtelivat autoittain. B-vaihtoehdossa kuitupuun ajanmenekit laskettiin ajoneuvoyhdistelmien kantavuuden mukaisille 45 m³ kuormille ja oksapaalien ajanmenekit aineiston kuormien keskiarvoa käyttäen. C-vaihtoehdossa kaikkien autojen kuormat oletettiin 60 tavoitekokoisen paalin suuruisiksi. Kuormakoko on silloin 33,25 m³. Aineistossa paalikuormat olivat yleensä pienempiä, sillä paalien keskipituus oli yhdessä tapauksessa yli ja muissa alle tavoitteen.

Ajanmenekkien suhteet laskettiin erikseen varsinaiselle kuormaukselle, varsinaiselle purkamiselle ja muille työvaiheille. Varsinaisen kuormauksen ja purkamisen ajanmenekit voidaan määrittää m³:ä, taakkaa tai paalia kohden, muiden työvaiheiden ajanmenekit ovat kuormakohtaisia. Purkamispaikalla eri syistä esiintyvät odotukset jätetään vertailusta pois ja ne otetaan huomioon erikseen (taulukot 8 ja 9).

TAULUKKO 8 Oksapaalien ja kuitupuun ajanmenekkien suhde kuormauksessa (paalit/kuitupuu)

Auto	Varsinainen kuormaus			Muut työt	Kuormanteko yhteensä		
	A	B	C		A	B	C
1	1,18	1,03	1,35	1,41	1,27	1,19	1,37
2	0,92	1,03	1,03	1,14	1,00	1,07	1,07
3	0,96	1,34	1,14	1,61	1,20	1,45	1,33
4	1,03	1,10	1,04	0,64	0,82	0,85	0,82
5	0,68	0,78	0,65	1,38	0,87	0,94	0,84
6	0,69	0,60	0,57	0,97	0,76	0,70	0,68
Kesk.	0,91	0,98	0,96	1,19	0,99	1,03	1,02

Ajanmenekkien laskenta:

A = aineiston mukaan

B = kuitupuu 45 ja oksapaalit 32 m³ kuormin

C = kuitupuu 45 ja oksapaalit 33,25 m³ tavoitekuormin

Autokohtaiset ajanmenekkien suhteet poikkesivat toisistaan huomattavasti kaikissa vertailuissa. Myös kuormakoon vakiointi muutti autokohtaisia suhdelukuja merkittävästi. Keskiarvot olivat kuitenkin melko lähellä toisiaan. Niiden perusteella oksapaalien varsinainen kuormaus sujuu hiukan nopeammin kuin kuitupuun kuormaus. Kuormauksen muut työt vievät kuitenkin niin paljon enempi aikaa että koko kuormanteko aika kestää oksapaaleilla kauemmin kuin kuitupuukuorman teko. Suoraan aineistosta saatiin päinvastainen tulos, mutta siinä kuitupuukuormat olivat yhtä lukuun ottamatta suurinta sallittua kantavuutta suurempia. Erot ovat käytännön kannalta merkityksettömät eli oksapaalikuorman teko kestää saman ajan kuin kuitupuukuorman teko.

Jos oksapaalit ovat vanhoja, huonosti koossa pysyviä, niitä on käsiteltävä varovammin kuin tuoreita paaleja. Silloin oksapaalikuorman teon ajanmenekki suurenee kuitupuukuorman tekoon nähden.

Kuitupuukuorma puretaan kurottajalla muutamassa minuutissa. Kun oksapaalikuorma puretaan ajoneuvon omalla nosturilla tai erillisnosturilla, ajanmenekki on yli 4-kertainen (taulukko 9). Paaliauton purkamispaikalla viipymistä lisää vielä ajoneuvon siivoaminen oksista ja roskista.

TAULUKKO 9 Oksapaalien ja kuitupuun ajanmenekkien suhde kuorman purkamisessa (ilman odotusaikoja)

Auto	Varsinainen purkaminen			Muut työt	Purkaminen yhteensä		
	A	B	C		A	B	C
1	6,38	5,02	6,55	2,08	2,79	2,69	3,01
2	4,53	4,74	4,79	0,89	1,30	1,32	1,33
3	5,69	6,56	5,60	1,61	2,21	2,34	2,20
4	3,21	3,51	3,53	1,22	1,57	1,62	1,62
5	2,91	3,43	2,83	0,74	1,13	1,23	1,12
6	2,63	2,41	2,30	1,15	1,45	1,41	1,39
Kesk.	4,22	4,28	4,27	1,28	1,77	1,77	1,78

Ajanmenekkien perusteet kuten taulukossa 8.

Purkupaikalla autot joutuvat satunnaisesti odottamaan mittausta tai kuorman purkamista. Vertailussa olleilla autoilla odotusaika vaihteli kuitupuukuormilla 0 - 68 ja oli keskimäärin 17,5 minuuttia. Oksapaalikuormilla odotusajat olivat 0 - 18 ja keskimäärin 3,2 minuuttia. Odotusaikojen sisällyttäminen viipymisaikojen suhteiden laskentaan ei ole perusteltua kahdesta syystä. Aineisto on pieni, joten satunnaisvaihteluiden merkitys on suuri. Odotusajat ovat paljolti purkupaikkakohtaisia riippuen vastaanoton ja purkamisen järjestelyistä ja toimitusmääristä.

2.6 Polttoaineenkulutus

Puutavara-autojen polttoaineenkulutusta mitattiin projektissa *Metsäkoneiden ja puutavara-autojen polttoaineenkulutus*. Projektissa ei saatu toteutetuksi

vertailua, jossa kuitupuuta ja oksapaaleja olisi kuljetettu samalla autolla samaa reittiä ja polttoainekulutukset olisi mitattu. Polttoaineenkulutus riippuu kuitenkin eniten ajoneuvon kokonaispainosta. Yhden tonnin painoero merkitsee 0,7 litran eroa kuormattuna ajon polttoaineenkulutuksessa 100 km kohti.

3 OKSAPAALIEN KULJETUSKUSTANNUKSET

3.1 Perusteet

Seuraavassa vertailussa kuitupuun kuljetuskustannukset lasketaan 45 m³ kuormakoon mukaan ja oksapaalien kustannukset tavoitekokoisten paalien 60 kpl (33,25 m³) kuormien mukaan. Tuoreilla tavaralajeilla kuormien massat ovat kuitupuulla 38,0 ja oksapaaleilla 27,8 t (kosteus 50 %). Vertailu perustetaan tässä tutkimuksessa saatuihin kuormauksen ja purkamisen ajanmenekkituloksiin. Oksapaalien kuormakohtaiset ajanmenekit lasketaan kertoimilla kuitupuun ajanmenekeistä (taulukko 10).

TAULUKKO 10 Viipyminen kuormauksessa ja purkupaikalla, min/kuorma

Työnvaihe	Kuitupuun	Oksapaalit
Kuormaus ja kääntäminen	44,4	46,2
Purkamisen tehtävät	19,5	34,7
Odutus purkupaikalla	17,5	3,2
Purkupaikalla yhteensä	37,0	37,9

Ajonopeuksina käytetään aiemmista tutkimuksista johdettuja tuloksia. Kustannukset lasketaan tavanomaisen puutavara-auton perusteilla. Kuormattuna ajon polttoaineen kulutus lasketaan kokonaispainoon perustuvilla kaavoilla.

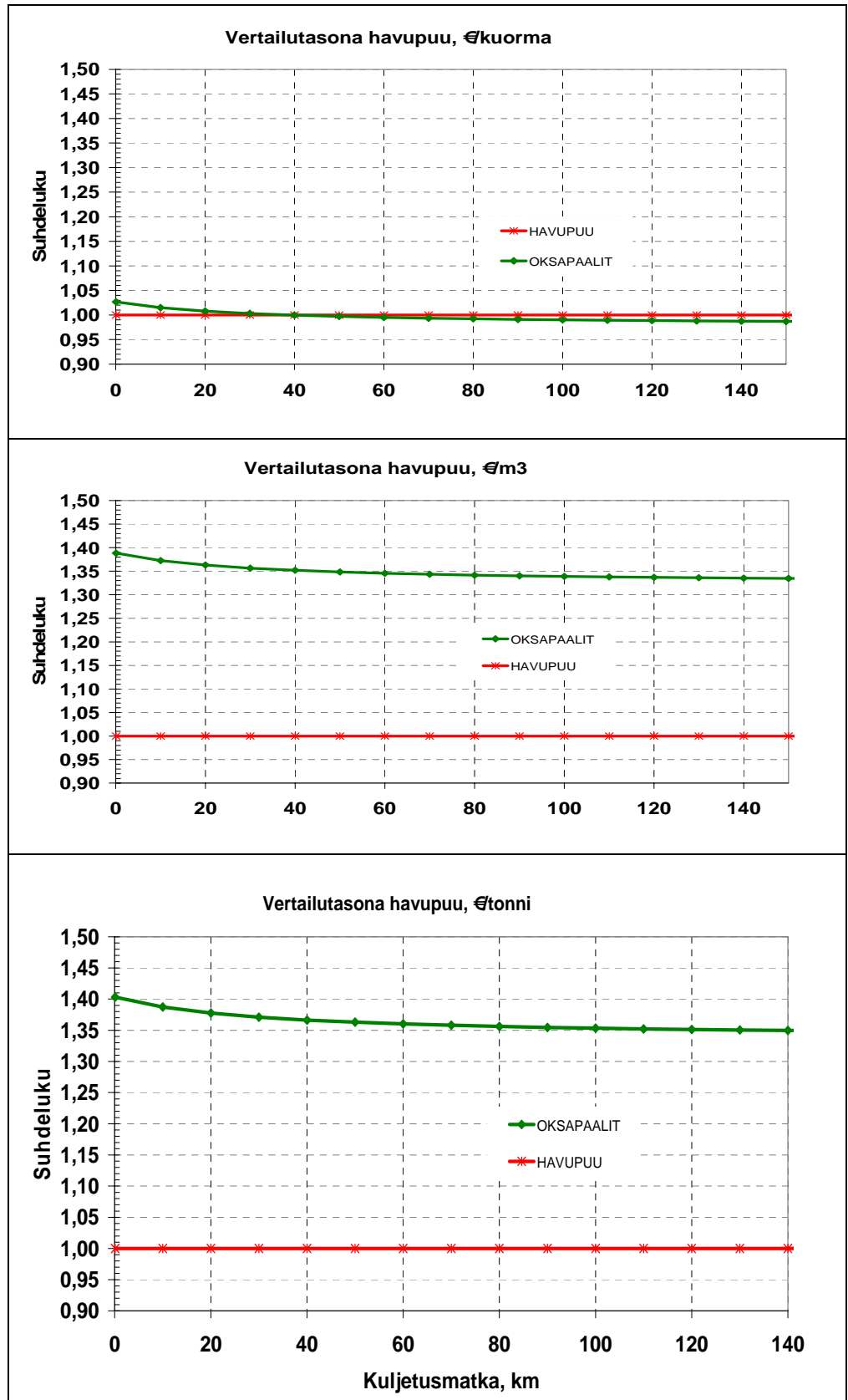
Muut tärkeimmät laskentaperusteet ovat:

- Vuotuinen työaika on 3 360 h (10 kuukautta 2-vuorotyötä)
- Ajoneuvoyhdistelmän käyttöaika 3 190 h vuodessa
- Keskikuljetusmatka 80 km
- Puolet kuormista on kuitupuukuormia ja puolet oksapaalikuormia

Kustannusvertailut tehdään kuormaa, tilavuus-, massa- ja energiayksikköä kohden. Erikseen tarkastellaan paalikuorman suurentamisen ja paalien kosteuden merkitystä kustannuksiin.

3.2 Kuljetuskustannukset 60 paalin kuormalla

Kuljetuskustannusten kannalta voidaan yksinkertaistaen todeta, että koska oksapaalien ja kuitupuun kuormakohtaiset ajanmenekit ovat samaa suuruutta, myös kuormakohtaiset kuljetuskustannukset ovat lähes yhtä suuret. Kun oksapaalikuorman kiintotilavuus ja massa ovat noin neljänneksen pienempiä kuin kuitupuukuorman, kustannukset kiintokuutiota ja tonnia kohti ovat oksapaaleilla merkittävästi suuremmat kuin kuitupuulla (kuva 2).



Kuva 2. Oksapaalien autokuljetuksen kustannukset havukuitupuun kuljetuskustannuksiin verrattuna.

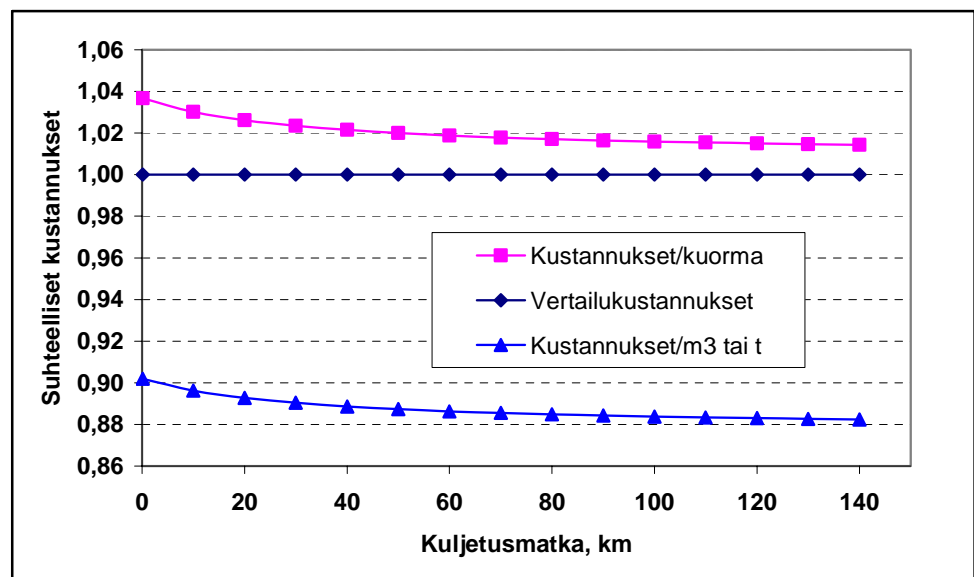
3.3 Kuormakoon suurentaminen ja sen kustannusvaikutus

Vetoautoon sopii kaksi paalinippua ja perävaunuun kolme. Nipussa on kolme paalia rinnan ja neljä päällekkäin. Siten täyteen oksapaalikuormaan mahtuu 60 paalia. Kun nosturi asetetaan vetoauton kuorman päälle, joudutaan joskus jättämään pari paalia pois, jolloin kuormassa on 58 paalia.

Vetoautojen kuormatilan pituudet olivat kolmessa tapauksessa alle 6 m, muutoin 6,1 – 6,7 m. Kuormatila voitaisiin ylittää ilman kuorman merkitsemistä 100 cm, mutta vetoautossa nosturi estää ylittämisen. Kuormatilojen ja paalien nykymitoillakin kuljettajat joutuvat valitsemaan lyhyimmät paalit vetoautoon.

Perävaunujen kuormatilat olivat ylitykset mukaan lukien noin 12 m pitkiä. Niihin ei mahdu neljää yli 3-metristä nippua. Jos paaleja pidennettäisiin nykyisestä siten, esimerkiksi 3,8 metriin, että sallitut ylitykset pyrittäisiin hyödyntämään, kuormatilojen rakenteita tulisi muuttaa. Oksapaalit eivät kestä suurta ylitystä pankoista ja sivupylväistä. Paalien pidentäminen perävaunu-kuormaa varten merkitsisi toisaalta sitä, että vetoautoa varten tulisi kuitenkin valmistaa lyhyempiä, enintään nykyisen pituisia paaleja. Jos vetoautoon kuormattavat paalit olisivat 3,2 ja perävaunuun kuormattavat 3,8 m pitkiä, niin 60 paalin kuorma olisi 11 % suurempi kuin pelkästään 3,2 m pituisten paalien kuorma.

Seuraavassa tarkastelussa oletetaan, että perävaunua voidaan kehittää niin, että siihen mahtuu yksi paalikerros eli 9 paalia lisää. Kuorman koko on silloin 38,2 m³ ja se suurentaa kuormaa 15 %. Kuljetuskustannukset m³ tai tonnia kohti olisivat noin 11 % pienemmät kuin nykykuormilla (kuva 3).



Kuva 3. Perävaunun kuorman suurentaminen yhdellä paalikerroksella alentaisi yksikkökuljetuskustannuksia noin 11 %.

Tutkimusaineistossa paalien keskipituus oli 311 cm, kun tavoitepituutena on pidetty 320 cm. Jos paalien pituus saataisiin tavoitteen mukaiseksi, paalien tilavuus suurenisi 3 % ja sen kustannusvaikutus olisi lähes samansuuruinen.

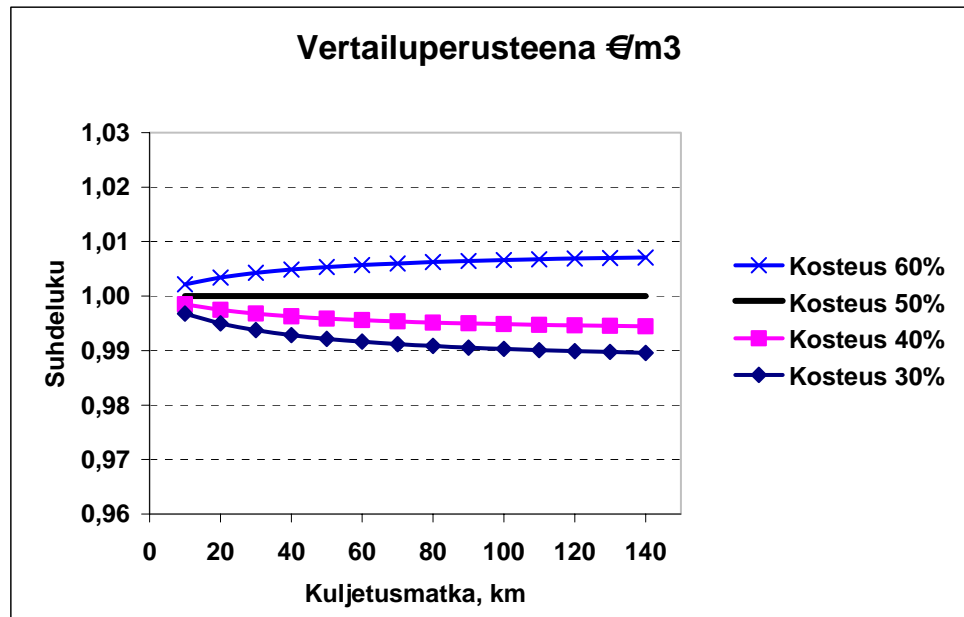
3.4 Oksapaalien kuljetuskustannukset energiasisältöä kohden

Kustannusten määrittäminen energiasisältöä kohden mutkistaa tarkastelua lisää, sillä mitä kuivempaa materiaali on, sitä vähemmän kuorma painaa, mutta sen laskennallinen energiasisältö paranee kosteaan materiaaliin verrattuna. Muuntamalla kustannukset kuorman massaa ja energiasisältöä kohti, voidaan havainnollistaa kosteuden vaikutusta kuljetustalouteen (taulukko 11, kuvat 4 - 7).

TAULUKKO 11 Oksapaalikuorman massa ja energiasisältö eräillä kosteustasoilla, kun kuorman koko on 60 paalia (33,25 m³)

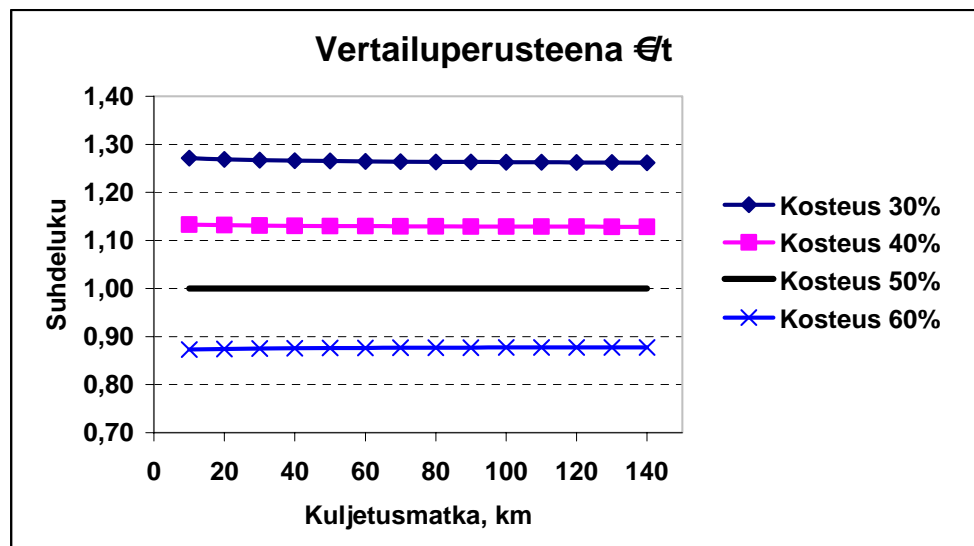
Kosteus, %	Kuorma, t	Energiasisältö, MWh/kuorma
30	21,8	78,8
40	24,5	73,3
50	27,8	66,3
60	31,9	56,4

Kosteus vaikuttaa oksapaalikuorman massaan ja sitä kautta kuormattuna ajon polttoaineenkulutukseen. Kuormakohtaiset kuljetuskustannukset ovat sitä suuremmat mitä kosteampaa materiaali on ja mitä pitempi on kuljetusmatka. Suhteelliset kustannukset ovat samat sekä kuormaa että tilavuusyksikköä kohden (kuva 4). Erot ovat kuitenkin niin pienet, että niillä ei ole käytännön merkitystä. Esimerkiksi 80 km kuljetusmatkalla kuormakohtaisten kustannusten ero on kuvassa esitetyissä ääritapauksissa vain 4 €

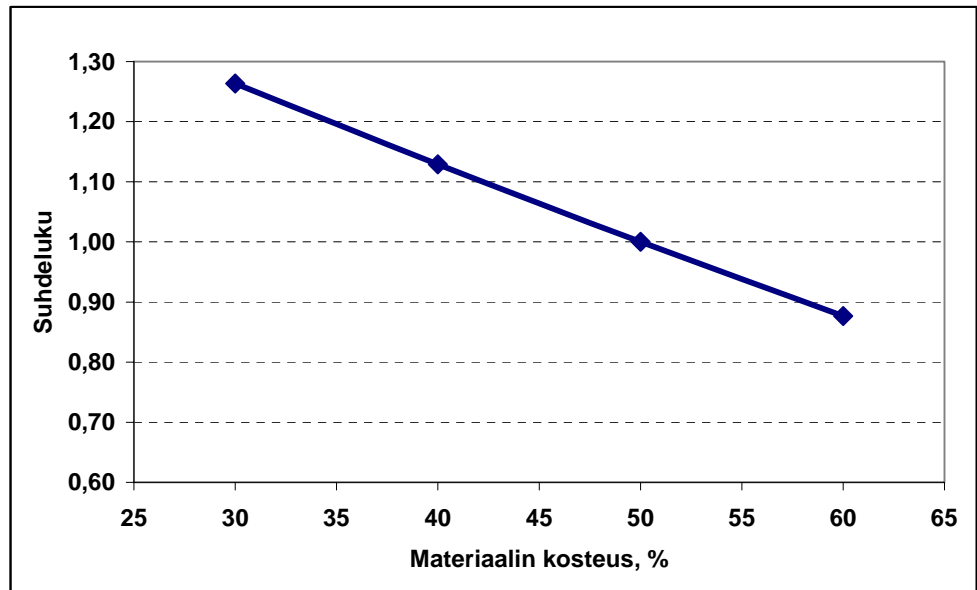


Kuva 4. Oksapaalien suhteelliset kuljetuskustannukset eri kosteustasoilla tilavuusyksikköä ja kuormaa kohden, vertailu 50 % kosteuteen.

Kun suhteelliset kuljetuskustannukset esitetään kuorman painon suhteen, kosteuden vaikutus näkyy kustannustasoina (kuva 5). Kosteuden kustannusvaikutus on lähes lineaarinen (kuva 6).

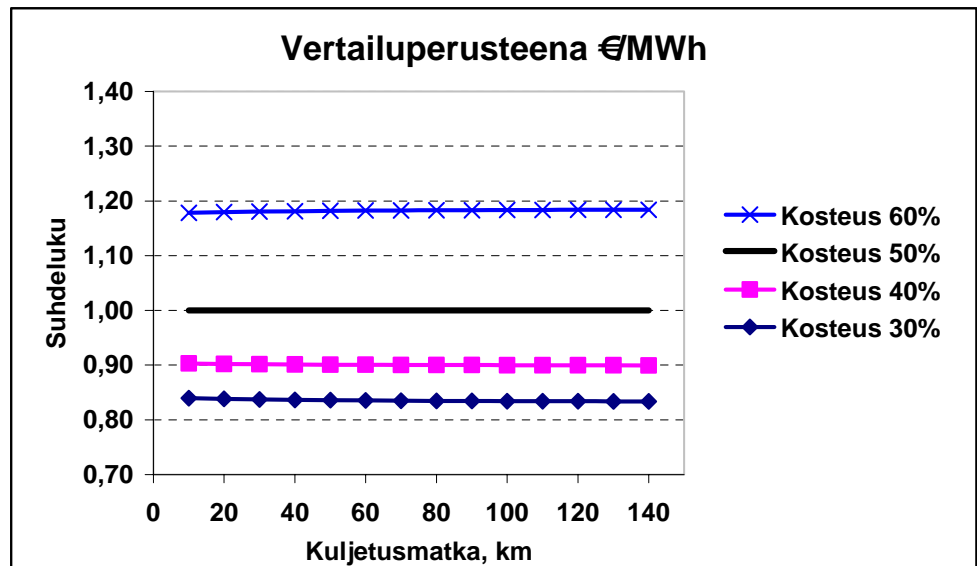


Kuva 5. Oksapaalien suhteelliset painoperusteiset kuljetuskustannukset eri kosteustasoilla, vertailu 50 % kosteuteen.



Kuva 6. Oksapaalien painoperusteisten kuljetuskustannusten riippuvuus materiaalin kosteudesta.

Puupolttoaineen energiasisältö vähenee kosteuden lisääntyessä enemmän kuin lineaarisesti. Siksi esimerkiksi 40 % kosteudessa kuljetuskustannukset energiayksikköä kohden ovat noin 10 % pienemmät mutta 60 % kosteudessa noin 18 % suuremmat kuin vertailuna olevat 50 % kosteuden mukaiset kustannukset (kuva 7).



Kuva 7. Oksapaalien suhteelliset kuljetuskustannukset kuorman energiasisältöä kohden eri kosteustasoilla, vertailu 50 % kosteuteen.

4 KUORMATILAN PÄÄTYSERMIEN KEHITTÄMINEN

Kuljetuksen aikana oksapaaleista helposti irtoavien oksien ja puukappaleiden putoamisen estämiseksi kehitettiin kuormatilan päätyihin kevytrakenteiset sermit (kuva 8). Kehitystyön teki Sakari Mononen Karelian Puu ja Metalli Oy:stä. Materiaalina käytettiin ajoneuvojen kuormatilapeitettä ja ilman läpäisevää verkkoa.

Sermit nostetaan ja lasketaan hydraulisylintereillä. Vetoauton sermin nosto- ja laskumekanismeja pitäisi vielä kehittää että sermiä voitaisiin helposti käyttää silloinkin, kun nosturia kuljetetaan mukana. Perävaunun päätysermi on ollut käytössä toimiva ja sen arvioidaan olevan tarpeellinen irtoavien oksien ja puukappaleiden putoilemisen estämiseksi.



Kuva 8. Kuormatilan päätysermit, jotka nostetaan ja lasketaan hydraulisylinterien avulla. Kuvassa sermien kehittäjä Sakari Mononen Karelian Puu ja Metalli Oy:stä.

5 TARKASTELU

Oksapaalit ovat tuoreinakin niin kevyitä, että täysi kuorma on selvästi ajoneuvoyhdistelmän kantavuutta pienempi. Materiaalin kosteus vaihtelee eikä kuljetuksen suorittaja juurikaan voi siihen vaikuttaa.

Oksapaalien ja kuitupuun kuormakohtaiset kuljetuskustannukset ovat samansuuruiset (kuva 2). Tuoreilla paaleilla, joiden kosteus on 50 %, kuorman massaa kohti lasketut kuljetuskustannukset ovat 36 - 38 % suuremmat kuin kuitupuun kuljetuskustannukset. Koska oksapaalien kosteus ja siten kuorman massa vaihtelevat (taulukko 11 ja kuva 5), painoperusteisen kuljetusmaksun soveltaminen edellyttäisi materiaalin kosteuden määrittämistä.

Käytännössä kuljetusmaksujen määrittämisessä on sovellettu painoperustetta täysille oksapaalikuormille siten, että ajoneuvon kantavuuden ja kuorman massan erotukselle on maksettu hyvitystä. Materiaalin kosteus vaikuttaa kovin vähän kuormakohtaiseen kuljetuskustannukseen (kuva 4). Se merkitsee, että erotus tulisi kattaa täysimääräisesti kantavuuteen asti (ks. kuva 2). Tässä menettelyssä ei tarvitse määrittää materiaalin kosteutta.

Jos vastaanottoaikassa ei tarvita kuorman punnitustietoja esimerkiksi materiaalin määrän tai energiasisällön määrittämisiksi varten, oksapaalien kuljetusmaksut voitaisiin määrittää myös kuormakohtaisesti kuljetusmatkan mukaan.

Kuorman kokoa voitaisiin suurentaa hyödyntämällä ajoneuvoyhdistelmän suurin sallittu pituus ja kuormatilan ylitykset. Silloinkin lähinnä perävaunussa voitaisiin kuljettaa noin 60 cm nykyistä (320 cm) pitempiä paaleja. Siten kuormaa voitaisiin suurentaa noin 11 % nykyisestä. Kuormatilan rakenteita tulisi kehittää, koska paalit eivät kestä suuria ylityksiä pankoista ja kariakoista.

Jos perävaunun rakennetta voitaisiin muuttaa siten, että siihen voitaisiin lasata paaleja yksi kerros (9 kpl) lisää, kustannusvaikutus olisi noin 11 %.

Käytännössä on toteutettu (Sauvala Kuljetus Ky, Naarajärvi) pidennetty perävaunu, johon mahtuu 4 oksapaalinippua. Se merkitsee 82 oksapaalin kuormaa koko yhdistelmälle ja tuoreella materiaalilla 60 t kokonaispainoa. Yhdistelmän kokonaispituus on 23,70 m ja omapaino kuormaimen kanssa 24 500 kg. Perävaunussa on siirrettävät pankot, jotta nosturin ulottuvuus riittää takimmaisinkin nipun lastaamiseen ja purkamiseen. Rungossa on ylimääräisiä pankkoja siten, että kunkin oksapaalin alla on kolme pankkoa. Perävaunun omapaino on noin 1 500 kg tavanomaista puutavaraperävaunua suurempi. Kun tällä perävaunulla kuljetetaan puutavaraa, niin tuon verran menetetään kantavuudesta.

Tämän tutkimuksen aineisto on pieni. Käytännön sovelluksissa on syytä ottaa huomioon paikalliset olosuhteet ja toimintatavat. Esimerkiksi purkamisessa viipymisaika voi vaihdella vastaanottoaikoittain mm. olosuhteiden ja toimitusten määrän vuoksi.