

Yhdistelmäkone ensiharvennusmetsän puunkorjuussa

Risto Lilleberg
Pasi Korteniemi

Metsätehon raportti 26
22.7.1997

Konsortiohanke: Enso Oy, Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta,
Pinomäki Oy, UPM-Kymmene Oy

Asiasanat: puunkorjuu, ensiharvennukset, yhdistelmäkone

© Metsäteho Oy

Helsinki 1997

SISÄLLYS	Sivu
TIIVISTELMÄ	3
1 JOHDANTO	4
2 TUTKIMUKSEN TEHTÄVÄ JA TAVOITTEET	5
3 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	5
3.1 Tutkimuksen organisointi	5
3.2 Tutkimusmenetelmä	7
3.3 Tutkimusaineisto	8
3.4 Yhdistelmäkone ja sen työskentelymenetelmä	12
3.5 Aikatutkimuksen käsitteet	13

4 TULOKSET	14
4.1 Yhdistelmäkoneen aikatutkimustulokset	14
4.1.1 Yhdistelmäkoneen ajankäytön rakenne	14
4.1.2 Ajanmenekki ja tuotos	20
4.2 Yksioteharvesterin aikatutkimustulokset	24
4.2.1 Yksioteharvesteriketjun tuotos	25

5 YHDISTELMÄKONE JA YKSIOTEHARVESTERIKETJUN KORJUUKUSTANNUSTEN VERTAILU	26
--	-----------

6 PÄÄTELMÄ	28
-------------------------	-----------

LIITTEET	(1)
-----------------------	--------------

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää uudella korjuumenetelmällä ja -tekniikalla toimivan yhdistelmäkoneen ajankäytön rakenne sekä ajanmenekki ensiharvennusmänniköissä ja sekametsissä. Tutkimuksen kohteena oli karsittua puutavaraa valmistava yhdistelmäkone, jonka on kehittänyt S. Pinomäki Ky.

Projekti tehtiin yhteistyössä S. Pinomäki Ky:n, Enso Oy:n, UPM-Kymmene Oy:n, Metsäliitto Osuuskunnan sekä Metsähallituksen kanssa. Tutkimuksen koalat sijaitsivat Pulkkilassa Enso Oy:n mailla sekä Uraisilla UPM-Kymmene Oy:n mailla. Pilottivaiheessa Viljakkalasta kerättyä aineistoa käytettiin tukiaineistona.

Yhdistelmäkoneen ajanmenekkiä eniten selittävä tekijä oli hakattavan puuston rungon koko. Hakattavan puuston tiheys vaikutti myös yhdistelmäkoneen ajanmenekkiin. Metsäkuljetusmatka vaikutti yhdistelmäkoneella ajanmenekkeihin, koska kone tekee myös metsäkuljetuksen.

Hakkuuseen yhdistelmäkone käytti 42 % ja metsäkuljetukseen 46 % tehoajasta. Muihin aikoihin kone käytti 12 %. Metsäkuljetusmatka oli laskelmissa vakioitu 250 metriin. Yhdistelmäkoneen keskimääräinen käyttöajanmenekki koaloilla oli 104,8 cmin/runko, kun keskimääräinen rungon koko oli 81 dm³. Käyttöajanmenekki oli suurempi sekametsissä kuin männiköissä. Ero männikön ja sekametsän käyttöajanmenekkeissä oli alle 70 dm³:n rungoilla 3 %, mutta rungon koon noustessa 200 dm³:iin ero nousi 7 %:iin. Yksioteharvesteriketjun käyttötuntituotos männikössä oli 70 dm³:n rungon keskikoolla 7,6 % suurempi kuin yhdistelmäkoneella. Rungon koon noustessa ero suurenee hieman. Sekametsikössä alle 70 dm³:n rungon keskikoolla käyttötuntituotoksen ero yhdistelmäkoneen ja yksioteharvesterin välillä on 11 %, mikä rungon koon noustessa suurenee hieman enemmän kuin männikössä.

Korjuukustannusten laskennassa otettiin huomioon, ettei yhdistelmäkone ole vielä vakiintunut työmenetelmä. Yhdistelmäkoneen korjuukustannusten laskentaa varten

Metsäteho Oy:n korjuukustannusmalleihin asennettiin yhdistelmäkoneen tuotosfunktiot ja kustannustieto. Rungon keskikoon ollessa alle 150 dm³ yhdistelmäkone oli halvempi korjuuvaihtoehto. Korjuukustannusten ero yhdistelmäkoneen ja yksioteharvesterin välillä oli alle 55 dm³:n rungoilla 18 % yhdistelmäkoneen hyväksi. Karsittua puutavaraa valmistava yhdistelmäkone vaikuttaa lupaavalta ensiharvennusten ja rungon kooltaan alle 150 dm³:n harvennusten korjuumenetelmältä.

1 JOHDANTO

TEKES rahoittaa HARJU-ohjelmassa hankkeita, joissa kehitetään harvennuspuun jalostusketjua kannolta tehtaalle. HARJU-ohjelman tavoitteena on aikaansaada ”teknologia-harppaus” eli uuttaa tekniikkaa ja menetelmiä, joilla parannetaan merkittävästi harvennuspuun jalostusketjun tehokkuutta ja käytön kannattavuutta. Tavoitteeseen pyritään kehittämällä uutta puunkorjuun, kuljetuksen ja tehdaskäsittelyn tekniikkaa yhteistyössä laitevalmistajien ja käyttäjien kanssa. Uuden tekniikan kehittämisessä otetaan huomioon ekologisesti kestävä metsien hyödyntäminen ja sen tekniikalle ja toimintatavoille asettamat vaatimukset.

Yhtenä puunkorjuutekniikan projektina HARJU-ohjelmassa on S. Pinomäki Ky:n hanke Ensiharvennuspuun taloudellisen korjuun mahdollistavan laitteen kehittäminen. S. Pinomäki Ky:n tavoitteena on kehittää ensiharvennuspuun jalostusketjuun sopiva yhdistelmäkone. Yhdistelmäkone on metsäkone, joka tekee sekä hakkuun että metsäkuljetuksen. Ajatuksena on, että käyttämällä yhdistelmäkoneita korjuun pääomapanos pienenee merkittävästi, ja sitä kautta saadaan korjuussa kustannussäästöjä. Ajatuksen toteutuminen edellyttää, että yhdistelmäkoneitekniikka saadaan toimimaan riittävän tehokkaasti ja taloudellisesti.

Yhdistelmäkoneen kehittämisen peruskoneena S. Pinomäki Ky:llä on yrityksen valmistama metsätraktori. Hankkeessa metsätraktoriin suunniteltiin ja rakennettiin lisälaitte, jolla ensiharvennusolosuhteissa kyetään tekemään puutavaran hakkuu ja kuormaus sekä kuorman purku toisiinsa niveltävinä työvaiheina. Ensiharvennusolosuhteissa yhdistelmäkoneen täytyy kyetä avaamaan itse kulku-uransa ja toimimaan 20 metrin uravälillä. Tätä varten metsätraktorialustaan ja sen kuormaimeen tehtiin tarvittavia muutoksia. S. Pinomäki Ky:n hankkeessa on kehitetty kaksi yhdistelmäkoneversiota, joista toinen tekee karsimatonta rankaa (kara) ja toinen karsittua puutavaraa. Tässä raportissa tarkastellaan karsittua puutavaraa valmistavan yhdistelmäkoneen kehittämistä ja sillä tehtyjä kokeiluja ensiharvennusten puunkorjuussa.

2 TUTKIMUKSEN TEHTÄVÄ JA TAVOITTEET

Tutkimuksen tarkoituksena oli osallistua karsittua puutavaraa valmistavan yhdistelmäkoneen kehittämiseen, kehittää yhdistelmäkoneitekniikkaa ja yhdistelmäkoneelle soveltuvia työmenetelmiä sekä tutkia korjuun ajanmenekkiä ja tuotosta erilaisissa ensiharvennusolosuhteissa. Tehtävänä oli myös koota tietoa yhdistelmäkoneitekniikan soveltuvuudesta ensiharvennuspuun jalostusketjuun ja siinä mahdollisesti ilmenevistä ongelmista ja kehittämistarpeista. Tehtävänä oli lisäksi hankkia tietoa yhdistelmäkoneeseen perustuvan korjuutekniikan kilpailukyvystä ja verrata sitä nykyisin yleisesti käytössä olevaan yksioteharvesteriketjuun.

3 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

3.1 Tutkimuksen organisointi

Tutkittavana olleen yhdistelmäkoneen kehittäminen S. Pinomäki Ky:ssä alkoi vuonna 1996. S. Pinomäki Ky kehitti ja valmisti karsittua puutavaraa tuottavan yhdistelmäkoneen hakkuu- ja kuormauslaitteen. Laite asennettiin kehittämistyössä mukana olleen Oulaisten Kara Oy:n uuteen Valmet 820 metsätraktoriin, ja Oulaisten Kara Oy ryhtyi korjaamaan puuta yhdistelmäkoneella silloisen Veitsiluoto Oy:n Oulaisten piirissä. Jo yhdistelmäkoneen ensikokeilujen yhteydessä kehitettiin myös yhdistelmäkoneen työtekniikkaa ja -menetelmää erilaisissa ensiharvennuskohteissa, normaalin korjuu-urakoinnin yhteydessä.

Kun yhdistelmäkone sekä sen työtekniikka ja -menetelmä ensiharvennuksissa oli saatu toimiviksi ja vakiintumaan, ryhdyttiin suunnittelemaan projektin tutkimuksellista osaa ja siinä tehtäviä kokeiluja. Tutkimusprojektiin tulivat mukaan Metsäteho Oy:n lisäksi S. Pinomäki Ky, Enso Oy ja UPM-Kymmene Oy, Osuuskunta Metsäliitto ja Metsähallitus.

Projektin suunnittelusta ja toteutuksesta vastanneessa tukiryhmässä olivat seuraavat henkilöt:

Sakari Pinomäki, S. Pinomäki Ky
Raimo Aholainen, UMP-Kymmene Oy
Pekka Kurvinen, UMP-Kymmene Oy
Seppo Korteniemi, Enso Oy
Jussi Kumpula, Metsähallitus
Markku Salmela, Osuuskunta Metsäliitto
Risto Lilleberg, Metsäteho Oy, joka toimi myös projektipäällikkönä.

Tutkittava yhdistelmäkone oli Oulaisten Kara Oy:n Valmet 820/Pika 300, kuljettajana Antero Koskela. Vertailumenetelmänä ollutta yksioteharvesteriin perustuvaa korjuutekniikkaa Keski-Pohjanmaalla edusti yrittäjä Veijo Pasasen ajama Valmet 901/940. Uuraisilla tutkittiin Metsäkoneurakointi Pakarisen yksioteharvesteria Timberjack 870/743 kuljettajanaan Jussi Rossi. Etelä-Suomen kohteissa hankittiin tukiaineistoa Viljakkalassa myös Timo Mäkelän yhdistelmäkoneesta Pika 728T/300. Viljakkalassa aikatutkimukseen osallistui K. Helppolaisen Timberjack 870/746 -yksioteharvesteri.

Keski-Pohjanmaalla kokeilukohteet järjesti Enso Oy:n Oulaisten piiri. Kohteiden hankinnan ja niillä tehtävät mittaukset toteuttivat Seppo Korteniemi ja Hannu Käkelä Enso Oy:stä. Etelä-Suomen ensiharvennusolosuhteista aineistoa kerättiin UMP-Kymmene Oy:n metsissä Viljakkalassa ja Uuraisilla. Viljakkalan kohteet järjesti ja mittaukset hoiti Martti Viikari ja vastaavasti Uuraisilla Jukka Lahti. Aikatutkimuksen teki työntutkija Reima Liikkanen Metsäteho Oy:stä.

3.2 Tutkimusmenetelmä

Aineiston hankinnan tavoitteena oli saada tuotos- ja kustannustietoa yhdistelmäkoneen kilpailukyvyn määrittämiseksi ensiharvennusten puunkorjuussa ja vertailun tekeminen nykyisin käytössä olevaan yksioteharvesteritekniikkaan. Tätä varten toteutetut aikatutkimukset tehtiin vertailevan aikatutkimuksen periaatteiden mukaisesti.

Kahden erilaisen korjuutekniikan taloudellisuuden vertailu edellyttää, että tuotos- ja kustannustieto on kerätty vertailukelpoisista korjuuolosuhteista. Riittävän tarkan korjuuolosuhdetiedon varmistamiseksi aikatutkimuksessa käytettiin määrälaisiin ja homogeenisiin, tarkasti mitattuihin koaloihin perustuvaa tutkimusmenetelmää. Koalat mitattiin etukäteen ja sen jälkeen määritettiin kullakin koalalla käytettävä korjuutekniikka.

Kuhunkin tutkimusmetsikköön perustettiin koalaverkosto. Koalojen sijoittelulla varmistettiin, että puusto koalan sisällä oli homogeenista ja ettei koalan puustossa ollut aukkoja. Pääsääntöisesti koalojen koko oli 20 x 100 metriä. Yhdellä koalalla jouduttiin tyytymään 20 x 80 metrin koalakokoon, jotta päästiin riittävän homogeeniseen puustoon. Koalat rajattiin metsiköihin mittaamalla ja niiden rajat merkittiin näkyvästi kuitunauhoilla. Ajoura sijoitettiin koalan keskelle sen pituusakselin suuntaisena ja merkittiin etukäteen. Ajourat tehtiin suoriksi.

Koalan maastoon merkinnän jälkeen mitattiin koalan kaikkien puiden rinnan- korkeusläpimitta yhden cm:n luokkaväliä käyttäen. Kunkin läpimittaluokan joka kuudennesta puusta mitattiin pituus ja elävän latvuksen alkamiskorkeus. Kaikkiin mitattuihin puihin tehtiin maalimerkki, mutta poistettavia puita ei määritetty. Poistettavien puiden valinta oli koneenkuljettajan tehtävä, ja se tehtiin harvennusohjeissa olevien valintakriteerien perusteella.

3.3 Tutkimusaineisto

Tutkimuksessa oli mukana kolme metsäkohdetta, joille perustettiin koalaverkosto. Aikatutkimusaineistoa kerättiin kaikkiaan 19 koalalta.

Aikatutkimukset tehtiin ensiharvennusmetsiköissä. Kohteet valittiin siten, että ne vastasivat luonteeltaan konetyypin todennäköisiä työskentelykohteita. Kokeeseen valittiin kahdenlaisia ensiharvennuskohteita seuraavasti:

- 1) Sekapuustoinen metsä, pääpuulajin osuus n. 50 - 70 %
- 2) Mäntyvaltainen metsä, sekapuulajien osuus alle 25 %

Taulukko 1. Kohteiden metsikkötiedot.

Kohde	Kasvupaikka tyyppi	Pääpuulaji	koalat kohteella
Pulkkila	Tuore/kuivahko	Mänty/Koivu	1,2,3,4,5,6

	kangas		
Uurainen/ Saarilampi	Kuivahko kangas	Mänty	1,2,3
Uurainen/ Paatela	Kuivahko kangas	Mänty	4,5,6
Uurainen/ Hankamäki	Kuivahko kangas	Mänty	7,8,9
Viljakkala	Kuivahko kangas	Mänty	2,5,6,8

Kaikki kohteet olivat ensiharvennuskohteita. Kohteiden puusto vaihteli täysin puhtaasta männiköstä koivuvaltaiseen metsikköön. Lähes jokaisella koealalla oli muutama kuusi.

Aineiston hankinnassa painotettiin yhdistelmäkonetta, jota tutkittiin 12 koealalla ja yksioteharvesteria tutkittiin 7 koealalla. Yhdistelmäkonesta ei ollut aikaisempaa tutkimustietoa, kun taas yksioteharvesterin työskentelystä ensiharvennuksilla sitä on runsaasti. Metsäteho Oy:ssä on juuri valmistunut yksioteharvesteriketjun maksuperustetutkimus, jota käytettiin aineistona tässä tutkimuksessa mm. yksioteharvesterin ajankäytön rakenne -vertailussa sekä tuotos- ja kustannusvertailussa. Tässä tutkimuksessa hankittua yksioteharvesteritietoa käytettiin laskelmien tukiaineistona.

Hakatun puuston keskimääräinen rungon koko oli koealoilla 81 dm³. Poistuman runkoluku koealoilla vaihteli 485 - 1 520 runkoa/hehtaari, joten aineistossa oli riittävää vaihtelua.

Taulukko 2. Yhdistelmäkoneneen tutkimuskoealojen puustotiedot.

Koeala	Puusto ennen harvennusta		Puusto harvennuksen jälkeen			Harvennuksessa hakattu puusto		
	r/ha	m ³ /ha	r/ha	m ³ /ha	m ² /ha	r/ha	m ³ /ha	dm ³ /r
Pulkkila								
Koeala 1	2360	181	1200	108	19	1160	69	63
Koeala 2	2120	136	1000	90	13	1120	40	41
Koeala 3	2080	149	1000	100	16	1080	46	45
Koeala 4	3080	189	1560	108	19	1520	73	53
Koeala 5	1760	175	920	79	15	840	89	114
Koeala 6	1160	203	600	128	15	560	71	134
Uurainen	r/ha	m ³ /ha	r/ha	m ³ /ha	m ² /ha	r/ha	m ³ /ha	dm ³ /r
Koeala 1	1600	195	815	114	16	785	77	103
Koeala 2	1620	190	710	92	14	910	88	108
Koeala 4	1475	140	770	84	13	705	49	79
Koeala 6	1255	135	770	86	13	485	46	101
Koeala 7	1525	149	780	86	13	745	52	85
Koeala 9	1585	162	835	93	14	750	62	92

Taulukko 3. Yksioteharvesterin tutkimuskoealojen puustotiedot.

Koeala	Puusto ennen harvennusta		Puusto harvennuksen jälkeen			Harvennuksessa hakattu puusto		
	r/ha	m ³ /ha	r/ha	m ³ /ha	m ² /ha	r/ha	m ³ /ha	dm ³ /r
Uurainen								
Koeala 3	1735	213	795	119	17	940	87	100
Koeala 5	1675	158	760	93	14	915	57	71
Koeala 8	1495	143	800	89	13	695	49	78
Viljakkala	r/ha	m ³ /ha	r/ha	m ³ /ha	m ² /ha	r/ha	m ³ /ha	dm ³ /r
Koeala 2	1915	170	975	79	12	940	85	97
Koeala 5	1505	126	685	68	9	820	53	71
Koeala 6	1625	168	930	101	16	695	65	96
Koeala 8	1750	206	875	119	16	875	80	99

Pulkkilan koealojen yleinen piirre oli puuston suuri tiheys sekä alikasvoksen runsaus. Huomattavaa oli myös pienirunkoisen koivun runsaus neljällä yhdistelmäkonelkoealalla. Kahdella koealalla puusto oli puhdasta männikköä, jonka runkoluku oli hieman muita pienempi ja keskimääräinen rungonkoko oli reilusti suurempi. Hakkuukertymä koealoilla vaihteli 40:n ja 89:n m³:n/ha välillä ja hakatun puuston keskimääräinen rungonkoko 41:n ja 134:n dm³:n/r välillä. Pohjapinta-ala hakkuun jälkeen oli 13 - 19 m²/ha, mikä on Tapion harvennusmallien mukaan normaali pohjapinta-ala.

Uuraisten koealat olivat normaalitiheydessä olevia ensiharvennusmänniköitä. Pääpuulajina oli kaikilla koealoilla mänty, ja puuston keskimääräinen rungonkoko vaihteli 80:n ja 110:n dm³:n/r välillä. Hakkuu-kertymä oli kahdella koealalla miltei 90 m³/ha, mikä on erittäin korkea ensiharvennuskertymä. Ensiharvennus oli näillä kohteilla myöhässä. Pohjapinta-ala hakkuun jälkeen Uuraisten koealoilla vaihteli 13:n ja 17 m²:n/ha välillä.

Viljakkalan koealoista kolme oli lähes puhdasta männikköä ja yksi koealoista oli miltei puhtas koivikko. Hakatun puuston keskimääräinen rungonkoko Viljakkalassa oli 70 - 100 dm³/r. Hakkuukertymä koealoilla vaihteli 55 - 80 m³/ha ja pohjapinta-ala hakkuun jälkeen olivat 9 - 16 m²/ha.

Taulukko 4. Puuston puulajisuhteet yhdistelmäkonkeen tutkimuskoealoilla ennen harvennusta ja harvennuskertymässä.

Koeala	Männyn osuus, %		Kuusen osuus, %		Koivun osuus, %	
	Enn. harvennusta	Hakkuu-kertymässä	Enn. harvennusta	Hakkuu -kertymässä	Enn. harvennusta	Hakkuu-kertymässä
Pulkkila						
Koeala 1	2	0	10	14	88	86
Koeala 2	49	43	8	4	43	53
Koeala 3	27	22	10	11	63	67
Koeala 4	21	26	4	5	75	69
Koeala 5	100	100	0	0	0	0
Koeala 6	100	100	0	0	0	0

Uurainen	Enn. harvennusta	Hakkuu-kertymässä	Enn. harvennusta	Hakkuu -kertymässä	Enn. harvennusta	Hakkuu-kertymässä
Koeala 1	76	79	9	8	15	13
Koeala 2	73	76	20	21	7	3
Koeala 4	72	67	25	31	4	2
Koeala 6	67	78	0	0	33	22
Koeala 7	66	66	22	20	12	14
Koeala 9	64	69	16	14	20	17

Taulukko 5. Puuston puulajisuhteet yksiotetarvesterin tutkimuskoealoilla ennen harvennusta ja harvennuskertymässä.

Koeala	Männyn osuus, %		Kuusen osuus, %		Koivun osuus, %	
Uurainen	Enn. harvennusta	Hakkuu-kertymässä	Enn. harvennusta	Hakkuu -kertymässä	Enn. harvennusta	Hakkuu-kertymässä
Koeala 3	73	68	22	26	5	6
Koeala 5	64	63	14	13	22	24
Koeala 8	69	75	15	12	16	13
Viljakkala	Enn. harvennusta	Hakkuu-kertymässä	Enn. harvennusta	Hakkuu -kertymässä	Enn. harvennusta	Hakkuu-kertymässä
Koeala 2	100	100	0	0	0	0
Koeala 5	1	2	15	23	84	75
Koeala 6	99	99	0	1	1	0
Koeala 8	94	99	0	0	6	1

3.4 Yhdistelmäkone ja sen työskentelymenetelmä

Yhdistelmäkone on puunkorjuun kaikki työvaiheet suorittava kone, jossa metsätraktorialustaisen peruskoneeseen on lisätty harvesteripää. Harvesteripää on rakennettu siten, että sillä voidaan suorittaa hakkuu ja kuormaus sekä kuorman purkamisen. Yhdistelmäkoneen menetelmää voidaan käyttää kaikissa metsätraktorimalleissa, joissa kuormaimella on mahdollisuus työskennellä koneen ohjaamon yli. Peruskoneen täytyy olla riittävän vakaa, jotta yhdistelmäkoneetekniikkaa voidaan hyödyntää tehokkaasti. Puomin ulottuvuus koneen sivulle on noin 10 metriä ja kulkusuunnassa 4 metriä. Ulottuvuus riittää koneen työskennellessä. Yhdistelmäkoneella voidaan työskennellä 20 metrin ajouravälillä. Ajouran leveys yhdistelmäkoneella on normaali 4 metriä.

Yhdistelmäkoneen menetelmässä työskentely jakautuu kahteen vaiheeseen, kuten liitteenä olevassa kuvassa on esitetty (liite). Työskentelyn ensimmäisessä vaiheessa yhdistelmäkone aukaisee ajouran. Työskentely tapahtuu ohjaamon yli koneen edessä normaaliin tapaan. Uralta hakattavat puut kone kasaa ajouran varteen. Uria avatessaan kone ei kuormaa, mutta ajouran avaamisen alkuvaiheessa voidaan ottaa pieni ”pohjakuorma” yhdistelmäkoneen työskentelyn kannalta tarpeellisen vakauden lisäämiseksi. Ajouraa avattaessa voidaan samalla hakata muutamia uranvieruspuita toisen vaiheen työskentelyn helpottamiseksi.

Uran aukaisun jälkeen kone kääntyy uran päässä ja aloittaa välialueen hakkuun, joka on toinen työvaihe. Välialueen hakkuun yhteydessä kone kuormaa kaikki hakkaamansa puut. Tuotoksen kannalta on järkevää valmistaa ajourien väliltä hakattava puutavara samoihin

kasoihin uralta hakatun puutavaran kanssa. Kasan koko kasvaa ja se tehostaa kuormausvaihetta, kun kaikki hakatut puut kuormataan samanaikaisesti. Puutavaralajit voidaan pitää erillään. Kuorman täytyttyä yhdistelmäkone vie puutavaran varastolle ja palaa takaisin hakkuukohtaan.

3.5 Aikatutkimuksen käsitteet

Aikatutkimuksen tiedonkeruussa yhdistelmäkoneen työskentely jaettiin 11 työvaiheeseen. Niihin sisältyivät sekä yksioteharvesterin että metsätraktorin aikatutkimuksissa käytetyt työvaiheet.

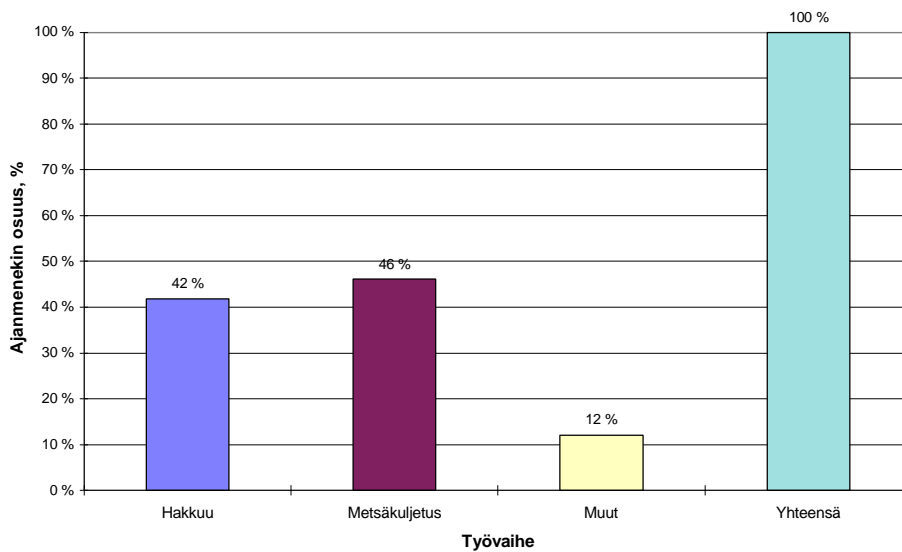
Tehoajanmenekkiin laskettiin puun otto ja valmistus, tyhjänä- ja kuormattuna-ajo, kuorman kuormaus ja purkaminen, siirtymiset, järjestelyt ja häiriöt sekä työn suunnittelu. Ottoaika sisältää harvesteripään viennin rungolle, puun katkaisusahauksen ja kaadon sekä siirtämisen prosessointipaikkaan. Valmistusaikaan kuuluvat rungon karsinta ja katkonta. Siirtymiset, järjestelyt, häiriöt ja suunnittelu sisältävät näihin sekä hakkuussa että metsäkuljetuksessa käytetyn ajan.

Käyttöajanmenekkiä laskettaessa tehoaikaan lisättiin alle 15 minuutin keskeytykset. Hakkuuvaiheen vertailussa suunnitteluajanmenekki siirrettiin keskeytysaikoihin, koska näin oli tehty Metsäteho Oy:n maksuperustetutkimuksen aineistossa, joka oli vertailukohtana.

4. TULOKSET

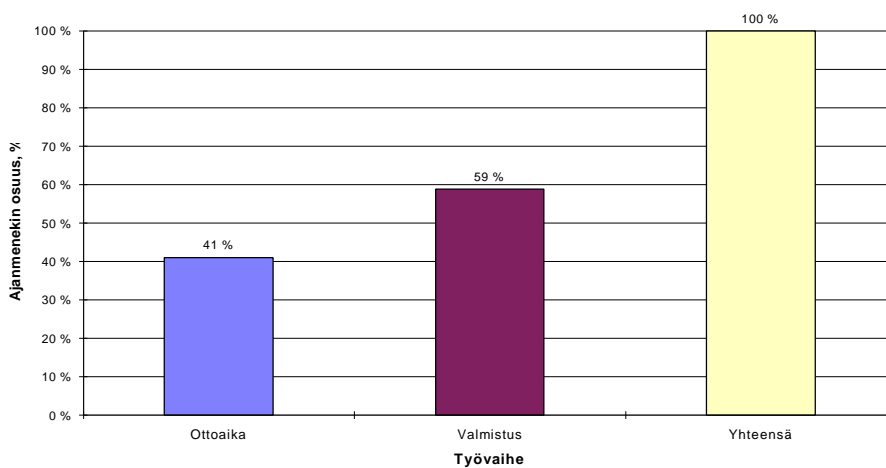
4.1 Yhdistelmäkoneen ajankäytön rakenne

Tutkimuskohteilla toteutunut keskimääräinen ajankäytön rakenne käy ilmi kuvasta 1. Hakkuu ja metsäkuljetus ovat yhdistelmäkoneen päätyövaiheet. Hakkuuseen yhdistelmäkone käytti 42 % ja metsäkuljetukseen 46 % tehoajasta. Hakkuuvaihe sisälsi puun otto- ja valmistusajan. Metsäkuljetusvaihe sisälsi perinteisen kuormausajon, tyhjänä- ja kuormattuna-ajon sekä kuorman purkamisen. Kaikki siirtymiset on sisällytetty metsäkuljetusvaiheeseen. Muuhun aikaan, joka käsitti 12% tehoajasta, kuuluivat järjestelyt ja häiriöt sekä työn suunnittelu. Niitä ei jaettu päätyövaiheille koska niiden erittely päätyövaiheittain ei ollut aikatutkimuksen tiedonkeruuvaiheessa mahdollista.



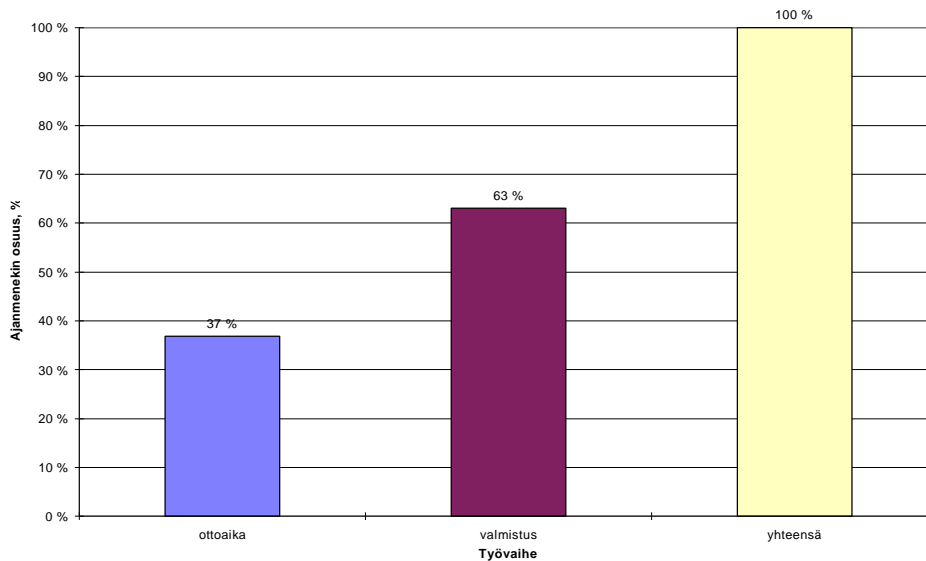
Kuva 1. Yhdistelmäkoneen tehoajankäytön rakenne, kaikki työvaiheet

Hakkuuvaiheen tehoajasta yhdistelmäkone käytti koealoilla puun ottoon keskimäärin 41 % ja valmistamiseen 59 %. Tämä suhde on miltei sama kuin yksioteharvesterilla vastaavissa ensiharvennusolosuhteissa.



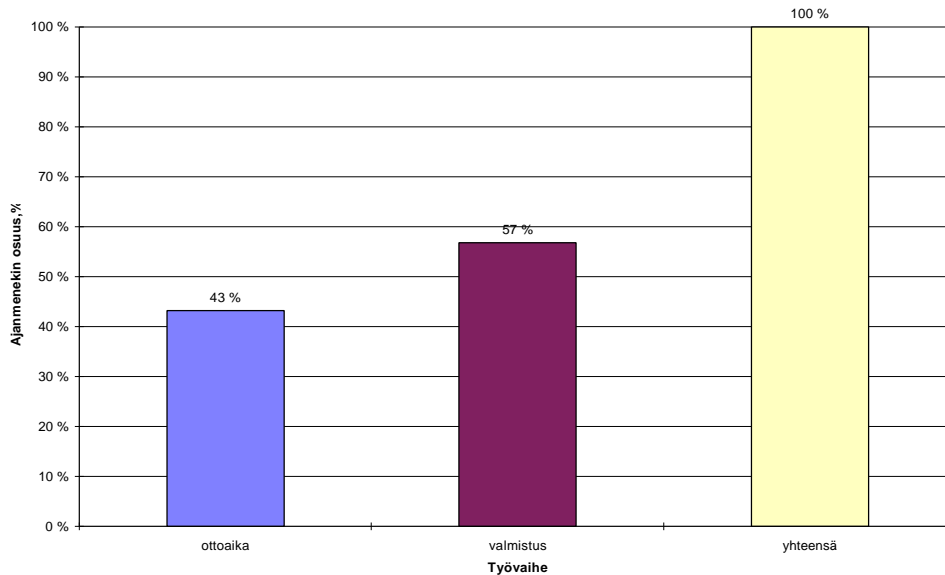
Kuva 2. Yhdistelmäkoneen tehoajankäytön rakenne uran aukaisu ja välialueen hakkuuvaiheessa

Valmistusajan osuus kasvoi uran aukaisuvaiheessa 63 %:iin, sillä keskimääräinen ottoetäisyys lyhenee vain 4,2 metriin, mikä lyhensi puuhun tarttumiseen kuluva aika. Yksioteharvesterikoealoilla ottoetäisyys uran aukaisussa oli vain 2,7 metriä. Ottoetäisyysero johtuu siitä, että ottoetäisyys määritetään nosturin mastosta. Yhdistelmäkoneen puomi sijaitsee ohjaamon takana, joten ottoetäisyydet ovat suurempia kuin yksioteharvesterilla.



Kuva 3. Yhdistelmäkoneen tehoajankäytön rakenne uran aukaisu hakkuuvaiheessa

Välialueen hakkuuvaiheessa yhdistelmäkoneen puun otto- ja valmistusajanmenekkien osuudet eivät mainittavasti poikenneet yksiotteharvesterista. Pienen eron ajanmenekkien osuuksiin aiheutti ottoetäisyyden kasvaminen 5,5 metristä 6,2 metriin.

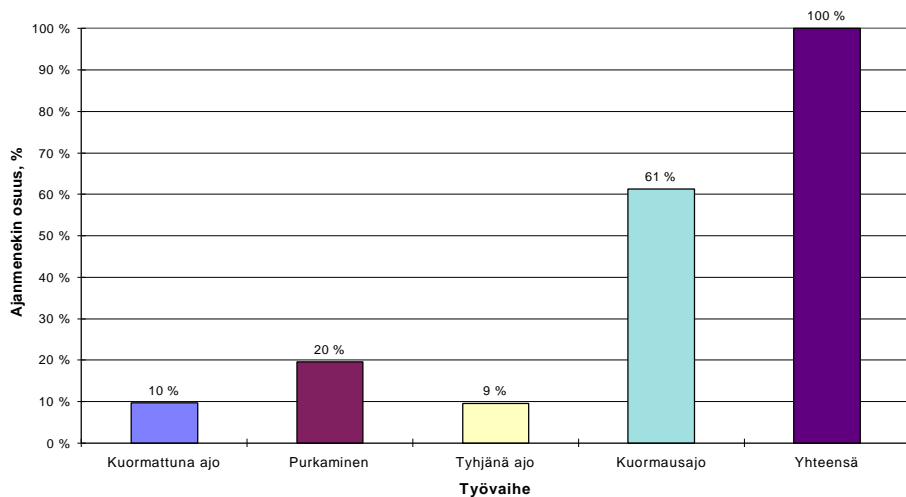


Kuva 4. Yhdistelmäkoneen tehoajankäytön rakenne välialueen hakkuuvaiheessa

Yhdistelmäkoneen metsäkuljetusvaihe vei hieman suuremman osuuden tehoajanmenekistä kuin hakkuuvaihe. Kaikki siirtymiset on sisällytetty metsäkuljetusvaiheeseen, koska siirtymisten määrittelyä hakkuun ja metsäkuljetuksen välillä ei ole mahdollista tehdä aikatutkimustiedon keruun yhteydessä.

Kuormausajo, jonka osuus keskimäärin oli 29 % yhdistelmäkoneen käyttämästä tehoajasta, on se työvaihe, joka yhdistyy yhdistelmäkoneen menetelmässä kiinteästi hakkuuvaiheeseen. Siirtymiset kohdistuvat yhdelle koneelle, mutta kahdelle työvaiheelle. Näin siirtymiset vähenevät, ja se tekee yhdistelmäkoneesta tehokkaan korjuutekniikan. Yhdistelmäkone käytti sekä kuormattuna- että tyhjänäajoon miltei saman verran aikaa.

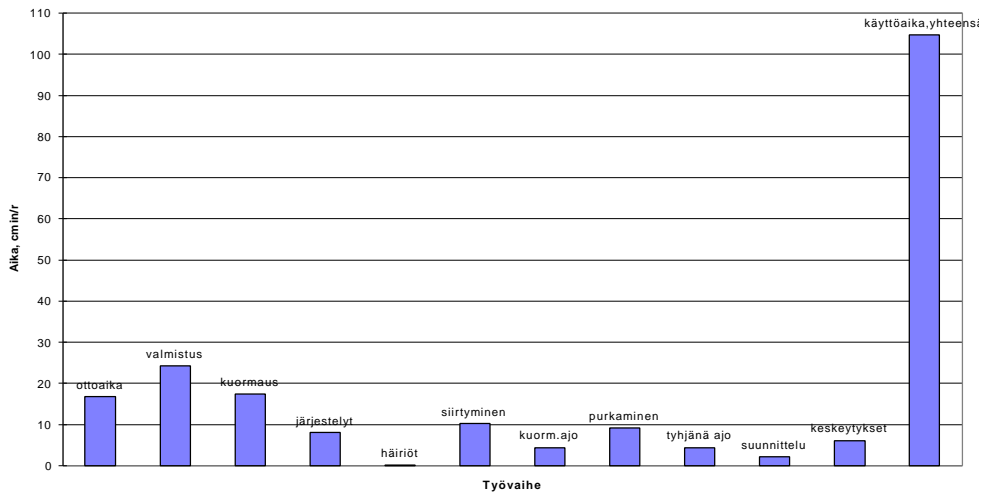
Kuormaukseen käytetyn ajanmenekin osuus oli huomattavan suuri ja kuormaus olikin yksi eniten aikaa vievistä työvaiheista. Tämä johtunee hakkuupään aiheuttamasta jäykkyydestä kuormauksessa ja kuorman purkamisessa.



Kuva 5. Yhdistelmäkoneen tehoajankäytön rakenne metsäkuljetusvaiheessa

Yhdistelmäkoneen keskimääräinen käyttöajanmenekki oli 104,8 cmin/runko. Keskimääräinen rungon koko oli 81 dm³ ja lehtipuun keskimääräinen osuus oli 28 %. Järjestelyjen osuus nousi 7,7 %:iin käyttöajasta, joka selittyy hakkuun ja metsäkuljetuksen yhteenniveltämisestä. Koneenkuljettaja tekee mieluummin paremmat kasat ajouran varteen, jotta kuormaaminen kävisi joutuisasti koneen palatessa.

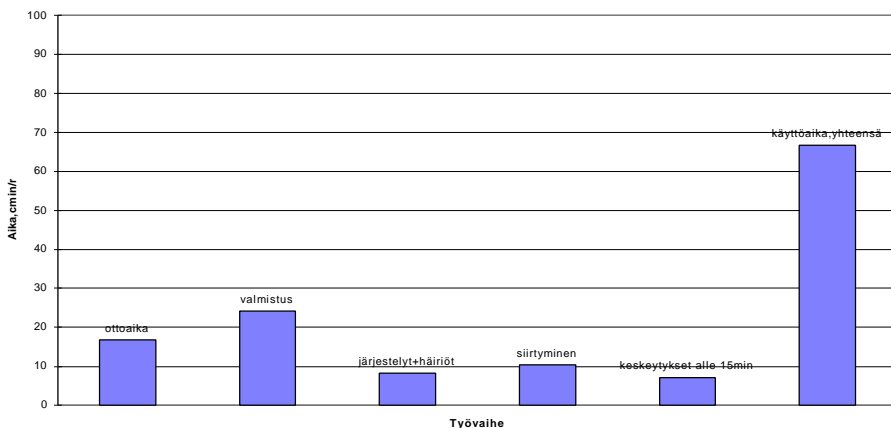
Alle 15 minuutin keskeytysten osuus tutkituilla koaloilla oli käyttöajasta 5,9 %. Käyttö- ja tehoajan suhde oli koaloilla 1,08. Käyttöaikaan on laskettu alle 15 minuutin keskeytysajat, joita tehoajassa ei ole.



Kuva 6. Yhdistelmäkoneen käyttöaika, kaikki työvaiheet

Yhdistelmäkoneen käyttöajanmenekki hakkuuvaiheessa oli 63 cmin/runko, kun rungon keskikoko oli 81 dm³. Yksioteharvesteri käytti samalla rungon koolla 16 % vähemmän aikaa hakkuuseen kuin yhdistelmäkone.

Suurimmillaan erot koneilla olivat järjestelyissä ja häiriöissä, joihin yhdistelmäkoneella kului aikaa 8 cmin/runko, kun yksioteharvesteri kulutti vain senttiminuutin runkoa kohden. Ero johtuu siitä että, yhdistelmäkoneen järjestelyihin kuuluvat sekä hakkuu- että metsäkuljetusvaiheen järjestelyt. Metsäkuljetuksessa sekakuormien kuormaus ja purkaminen vaativat erilaisia järjestelyjä työn aikana, aivan vastaavasti kuin metsätraktorikuljetuksissakin.

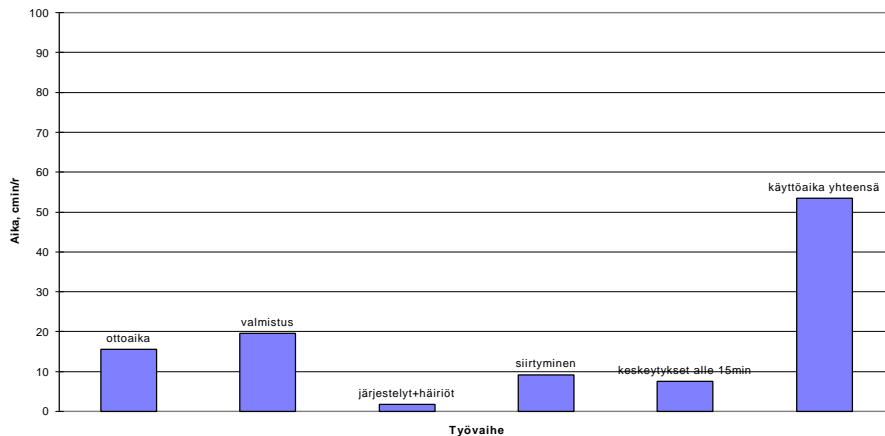


Kuva 7. Yhdistelmäkoneen käyttöaika hakkuuvaiheessa, keskeytykset sisältävät suunnittelun.

Rungon valmistus- ja ottoajat olivat yhdistelmäkoneella hieman suuremmat kuin yksioteharvesterilla. Tämä johtunee pääasiassa harvesteriosan pienemmästä koosta sekä hydrauliiikan tehoista. Ottoaikaan vaikuttaa myös jonkin verran huonompi näkyvyys yhdistelmäkoneen ohjaamosta kuin vain hakkuuta varten tehdystä yksioteharvesterista. S.

Pinomäki Ky:n alustakoneesta on parempi näkyvyys, kuin nyt kokeilussa käytetystä Valmet 820 -metsätraktorialustasta.

Häiriöiden osuus yhdistelmäkoneen käyttöajanmenekistä jäi pieneksi, mikä osoitti koneen olevan varmatoiminen kokonaisuus. Siirtymisten osuus molemmilla koneilla oli miltei sama, mutta yhdistelmäkoneella siirtymisissä on myös metsäkuljetusvaiheen siirtymiset. Keskeytyksissä koneilla ei ollut suurta eroa, mutta jälleen täytyy muistaa yhdistelmäkoneen keskeytysten sisältävän kaikki työvaiheet.



Kuva 8. Yksioteharvesterin käyttöaika hakkuussa, keskeytykset sisältävät suunnittelun.

4.2 Ajanmenekki ja tuotos

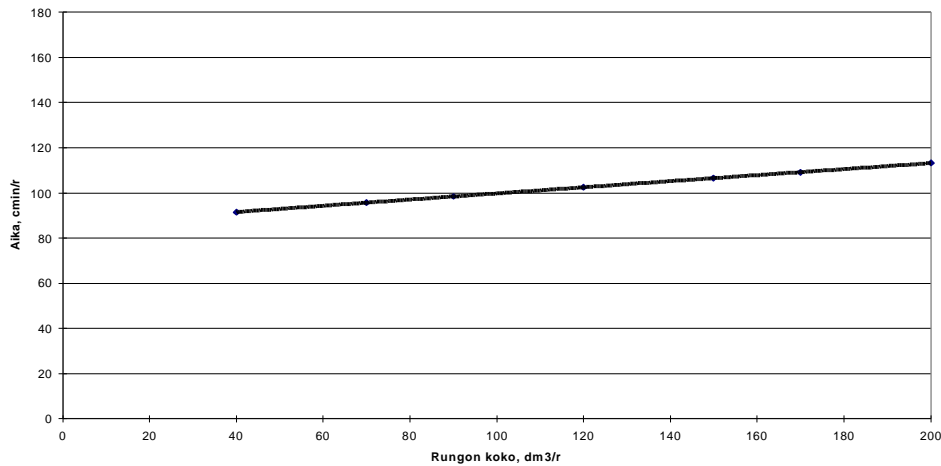
Yhdistelmäkoneen ajanmenekkiin vaikuttavista tekijöistä rungon koko oli tärkein, joten tutkimuksessa tarkasteltiin ajanmenekkiä rinnankorkeusläpimitan ja rungon koon funktiona. Rinnankorkeusläpimittaluokat jatkuvat 25 cm:iin ja rungon kokoluokat 200 dm³:iin, sillä koneen todennäköisillä työskentelyalueilla ensiharvennuksilla ovat kooltaan tästä suuremmat rungot harvinaisia.

Metsäkuljetusmatka vakioitiin laskelmissa 250 m:iin. Hakkuukertymän keskimääräinen rungonkoko oli 81 dm³ ja hakattu runkoluku 888 kpl/ha.

Taulukko 6. Puulajiosuudet käyttö- ja tehoajanmenekkien laskennassa yhdistelmäkonekoealoilla

	mänty, %	kuusi, %	koivu, %
männikkö	86	13	1
sekametsä	60	9	31

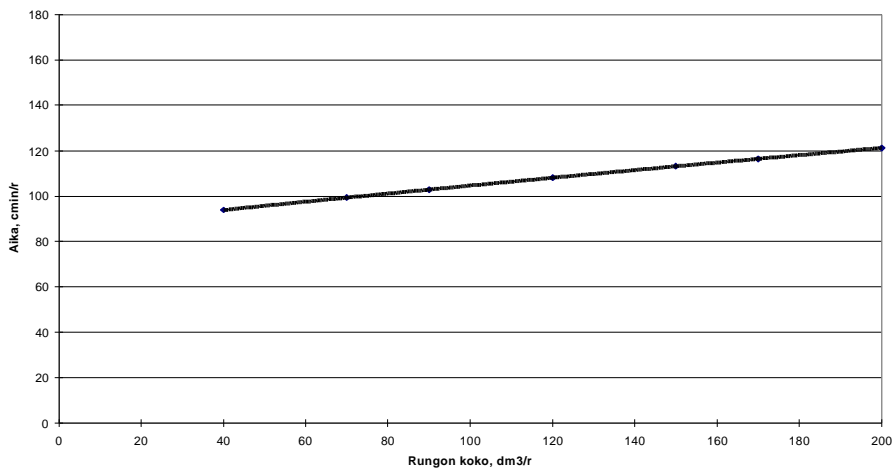
Yhdistelmäkoneen ajanmenekki oli pienin puhtaissa tai miltei puhtaissa männiköissä. Ero sekapuulajeja sisältäviin metsiköihin yhdistelmäkoneen ajanmenekissä tuli esiin lähinnä suurilla rungoilla. Ero männikön ja sekametsän käyttöajanmenekeissä oli alle 70 dm³:n rungoilla 3 %, mutta rungon koon noustessa 200 dm³:iin ero nousi 7 %:iin.



Kuva 9. Yhdistelmäkoneen käyttöajanmenekki rungon koon funktiona männikössä

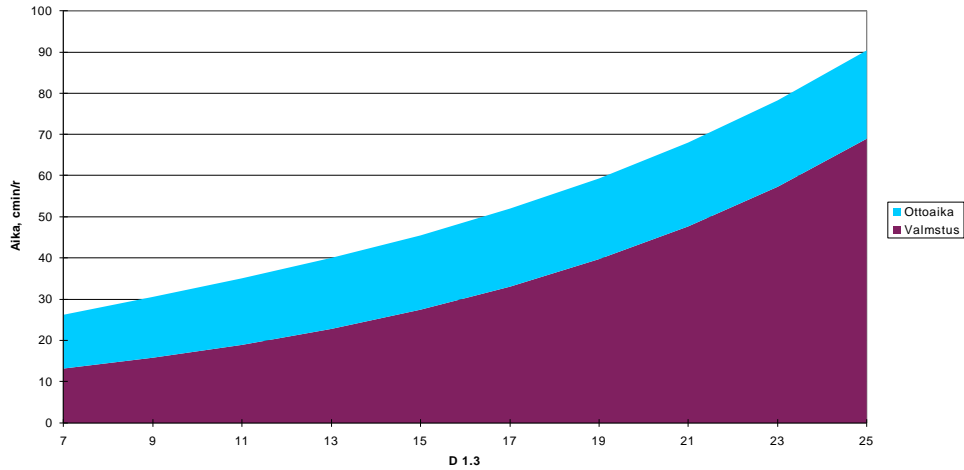
Ero johtui suurien koivujen latvaosien valmistamisen hitaudesta. Latvaosien suurten oksien karsimiseen ei yhdistelmäkoneen harvesteriosan teho ollut riittävä. Sekapuulajit toivat myös ongelmia yhdistelmäkoneelle metsäkuljetusvaiheessa. Usean puulajin kuormaaminen ja purkaminen eri kasoihin lisäsivät ajanmenekkiä. Ongelma on sama myös tavanomaisessa metsätraktorilla tehtävässä metsäkuljetuksessa.

Ajanmenekkiäyrät ovat hyvin loivia, mutta rungon koosta johtuvaa ajanmenekin nousua aiheuttavat vain hakkuuvaiheen työt. Nämä työvaiheet sisältävät 42 % koneen ajanmenekistä. Toisaalta rungon koon vaihtelu kuvataan 40 - 200 dm³:n väliltä, missä ajanmenekkierot eivät nouse vielä kovin suuresti.



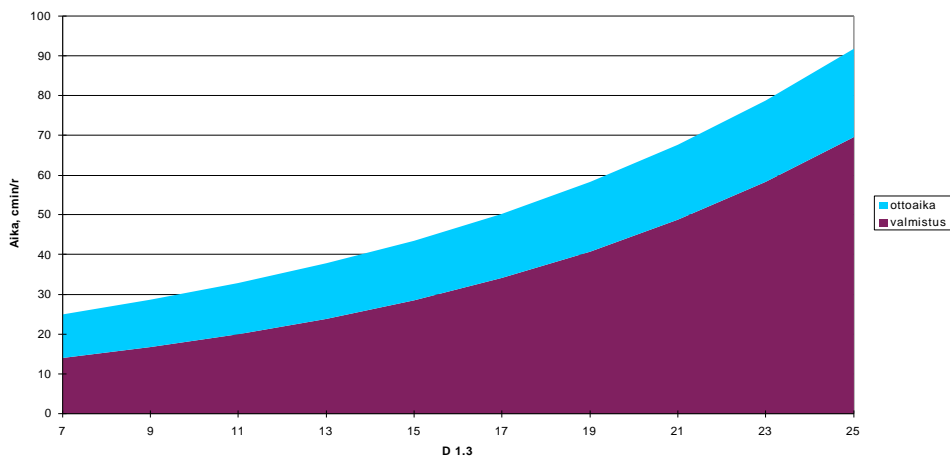
Kuva 10. Yhdistelmäkoneen käyttöajanmenekki rungon koon funktiona sekametsässä

Yhdistelmäkoneen hakkuuvaiheen ajanmenekki osoitti suurten puiden käsittelyn vaikeuden koneelle. Rinnankorkeusläpimitaltaan 15 cm:n rungoilla yhdistelmäkone oli 13 % hitaampi kuin yksioteharvesteri. Yhdistelmäkoneen todennäköisillä korjuualueilla kuitenkin tätä suurempien runkojen osuus on pieni, joten vaikutukset ajanmenekkiin ovat vähäiset. Yhdistelmäkoneen ottoajoissa ei ollut merkittävää eroa yksioteharvesterin ottoaikoihin.



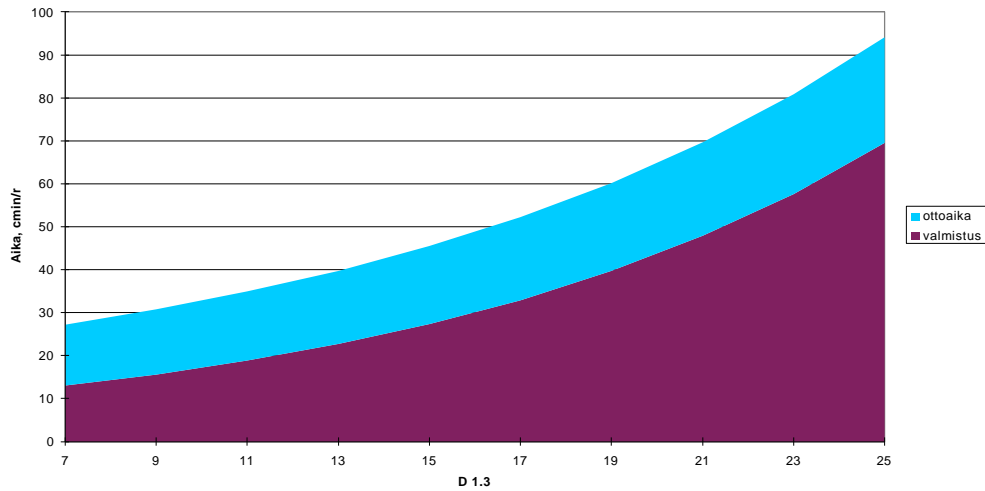
Kuva 11. Yhdistelmäkoneen otto- ja valmistusajanmenekki uran aukaisu sekä välialueen hakkuuvaiheessa

Yhdistelmäkoneen hakkuuajanmenekki uran aukaisuvaiheessa ei juurikaan muutu keskimääräisestä ajanmenekistä. Rinnankorkeusläpimitaltaan 15 cm:n rungoilla yhdistelmäkoneen hakkuu oli 14 % hitaampaa kuin yksioteharvesterin hakkuu-uran aukaisussa. Eron koneiden välillä selittää pääasiassa yhdistelmäkoneen työskentely ohjaamon ylitse, mikä työskentelymenetelmänä on hieman kankeampi.



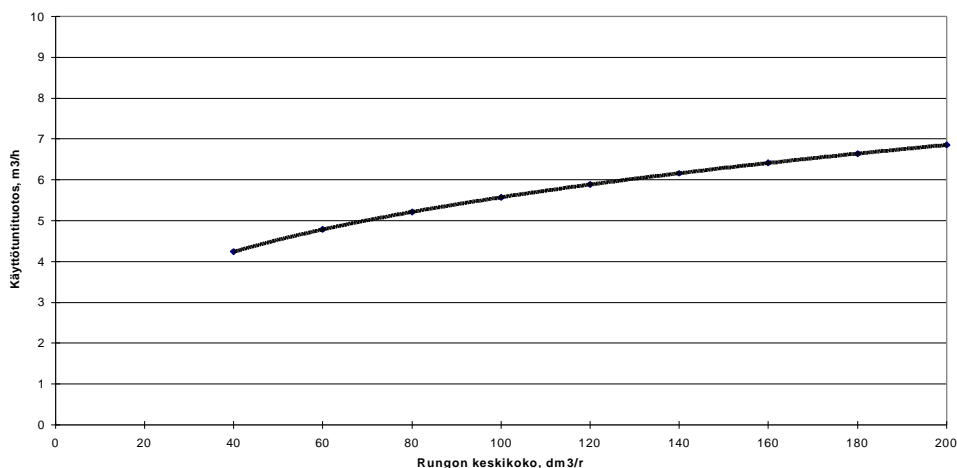
Kuva 12. Yhdistelmäkoneen otto- ja valmistusajanmenekki uran aukaisun hakkuuvaiheessa

Välialueen hakkuussa yhdistelmäkoneen ja yksioteharvesterin erot ovat pienet, sillä rinnankorkeusläpimitaltaan 15 cm:n rungoilla ero on enää 5 %.



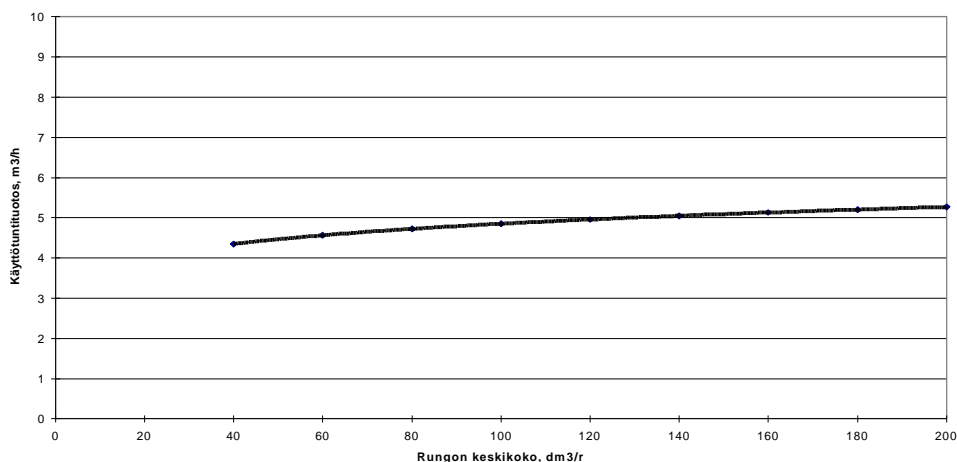
Kuva 13. Yhdistelmäkoneen otto- ja valmistusajanmenekki välialueen hakkuussa

Yhdistelmäkoneen käyttötuntituotokset pienillä rungoilla olivat miltei samat männikkö- ja sekametsäkoealoilla. Sekametsäkoealoilla tuotos nousi jopa korkeammaksi alle 50 dm³:n rungon keskikoolla kuin männikkökoealoilla. Tämä johtui pienten koivujen oksatoumuudesta ja runsaudesta, mikä nosti koneen tuottavuutta sekametsäkoealoilla. 80 dm³:n rungon keskikoolla yhdistelmäkoneen käyttötuntituotos oli männikössä jo 9,4 % suurempi kuin sekametsäkoealoilla. Rungon keskikoon noustessa 200 dm³:iin männiköiden korjuun tuottavuus oli jo 23 % suurempi kuin sekametsässä.



Kuva 14. Yhdistelmäkoneen käyttötuntituotos männikössä

Sekametsikkökoealoilla yhdistelmäkoneen tuottavuus oli suurimmilla rungon kokoluokilla huomoinmpi kuin männiköissä.



Kuva 15. Yhdistelmäkoneen käyttötuntituotos sekametsässä

4.3 Yksioteharvesterin tuotostutkimustulokset

Tutkimuksessa käytettiin pääasiallisena yksioteharvesteriketjun vertailuaineistona Metsäteho Oy:ssä vuoden 1997 alussa valmistunutta koneellisen harvennushakkuun tuottavuustutkimusta. Yhdistelmäkonekoealojen yhteydessä olleiden yksioteharvesterikoealojen (7 kpl) tehtävänä oli toimia yksioteharvesteriketjun tarkastelussa tukiaineistona. Näitä seitsemän koealan tuloksia verrattiin tuottavuustutkimuksen tuloksiin, jolla varmistettiin mm. olosuhdetekijöiden samankaltaisuus tutkimuksissa. Näin päädyttiin tuottavuustutkimuksen käyttöön vertailuaineistona, ja yksioteharvesteriketjun aineistopohja saatiin näin mahdollisimman laajaksi.

Tutkimuksen omaa aineistoa käytettiin vain ajouran aukaisuvaiheen ja välialueen hakkuun ajanmenekkien vertailuun. Tuottavuustutkimuksessa näitä vaiheita ei oltu eroteltu.

Vertailussa yksioteharvesteriketjun tuotos määritettiin Metsäteho Oy:n korjuumallien avulla, jossa on uusimpiin maksuperustetutkimuksiin pohjautuvat tuotosfunktiot. Puulajisuhteet yksioteharvesteriketjun laskelmissa asetettiin vastaamaan yhdistelmäkoneen koealojen puulajisuhteita.

Taulukko 7. Puulajiosuudet käyttötuntituotosten laskennassa yksioteharvesterilla

	havupuu, %	lehtipuu, %
männikkö	97	3
sekametsä	56	44

Yksioteharvesteriketjun käyttötuntituotos männikössä oli 70 dm³:n rungon keskikoollla 5,42m³/h. Tämä on 4 % suurempi käyttötuntutuotos kuin yksioteharvesteriketjun toimiessa sekametsikössä. Männikön ja sekametsikön korjuun käyttötuntituotoksen ero ei nouse yli 4 %:n, vaikka rungon kokoa nostettaisiin 200 dm³:iin. Tämä johtuu siitä, että

yksioteharvesterin hakkuun ajanmenekki ei nouse vielä 200 dm^3 :n rungoilla siinä määrin kuin yhdistelmäkoneen. Yksioteharvesteriketjun käyttötuntituotos männikössä oli 70 dm^3 :n rungon keskikoolla 7,6 % suurempi kuin yhdistelmäkoneella. Rungon koon noustessa 150 dm^3 :iin yksioteharvesteriketjun etu verrattuna yhdistelmäkoneeseen nousee 13 %:iin. Tämän tuloksen mukaan yhdistelmäkoneen kilpailukyky yksioteharvesteriketjuun säilyy kohtuullisen hyvänä aina 150 dm^3 :iin saakka männiköissä.

5 YHDISTELMÄKONEEN JA YKSIOTEHARVESTERIKETJUN KORJUUKUSTANNUSTEN VERTAILU

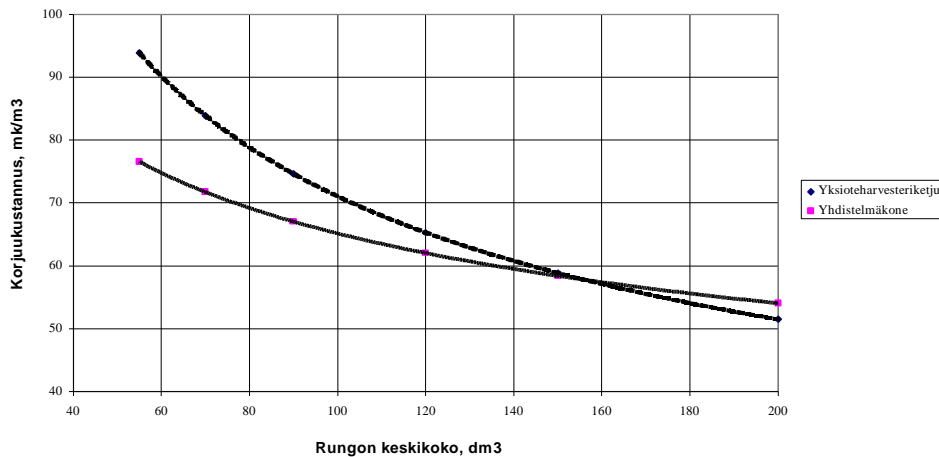
Yhdistelmäkoneen korjuukustannusten laskentaa varten Metsäteho Oy:n korjuukustannusmalleihin asennettiin yhdistelmäkoneen tuotosfunktiot. Korjuukustannusten laskennassa otettiin huomioon ettei yhdistelmäkone ole vielä vakiintunut työmenetelmä. Niinpä yhdistelmäkoneen kustannustekijät määritettiin varovaisuusperiaatteen mukaan.

Tutkittavan yhdistelmäkoneen peruskone ja kuormain edustivat pienintä mahdollista kokoluokkaa, jolla yhdistelmäkoneen menetelmää voidaan käyttää. Se merkitsee, että voimakkaammalla nosturilla ja hiukan järeämmällä alustakoneella tuotostaso voi olla nyt saatua parempi.

Yhdistelmäkoneen korjuukustannusten tarkastelussa käytettiin tutkimuksesta saatua käyttötuntituotosta ja keskimääräinen käyttötuntituotos oli $4 \text{ m}^3/\text{h}$. Yksioteharvesteriketjun osalta tuotosfunktiot saatiin harvennushakkuun tuottavuustutkimuksesta. Yhdistelmäkoneen työmaan keskikoko jätettiin 200 m^3 :iin, sillä kustannuslaskelmassa oletettiin koneen tekevän vain ensiharvennuksia. Yksioteharvesteriketjun työmaan keskikokona käytettiin 500 :tä m^3 , mikä suosii yksioteharvesteriketjua. Koneen siirtämiseen kuluva aika laskettiin molemmille menetelmille samaksi, vaikka on todennäköistä, että se on yhdistelmäkoneella selvästi pienempi työmaata kohden.

Rungon keskikoko harvennushakkuussa oli yhdistelmäkoneella 69 dm^3 ja yksioteharvesteriketjulla 147 dm^3 , mikä suosii yksioteharvesteriketjua. Käyttöasteeksi arvioitiin varovasti 70 %, mikä käytännössä on todennäköisesti korkeampi. Yksioteharvesterin käyttöasteena laskelmissa oli 80 % ja metsätraktorin 85 %. Yhdistelmäkoneen hakkuukertymänä käytettiin 60 :ta m^3/ha ja yksioteharvesteriketjun 80 :aa m^3/ha . Nämä eroavuudet suosivat kustannusvertailussa yksioteharvesteriketjua.

Korjuumenetelmien kustannuksissa oli selvä ero. Keskimääräisiä korjuukustannuksia vertailtaessa yhdistelmäkoneen kustannukset olivat 85 % yksioteharvesteriketjun korjuukustannuksista. Rungon keskikoon ollessa alle 150 dm^3 yhdistelmäkone oli halvempi korjuuvaihtoehto. Pienillä, alle 55 dm^3 :n rungon keskikokoluokilla, yhdistelmäkone oli 18 % halvempi vaihtoehto kuin yksioteharvesteriketju. Vielä 100 dm^3 :n keskimääräisellä rungonkoolla yhdistelmäkoneen etu oli 8 %:n luokkaa. Kustannusvertailu osoittaa yhdistelmäkoneen olevan varteenotettava korjuumenetelmä ensiharvennuksilla sekä rungon kooltaan alle 150 dm^3 :n harvennuksilla yleensäkin.



Kuva 16. Yksioteharvesteriketjun ja yhdistelmäkoneen korjuukustannukset

Yhdistelmäkoneen laskennassa käytettyyn hankintahintaan sisältyi siihen kehitteillä oleva mittalaitte. Sen vaikutukset korjuukustannuksiin ovat vähäiset, muutaman markan luokkaa. Mittalaitteen kehittäminen on kuitenkin menetelmän kannalta tärkeää ja parantaa menetelmän soveltamismahdollisuuksia.

6 PÄÄTELMÄ

Uudessa koneessa mielenkiinto kohdistui koneen ajankäytön rakenteeseen sekä koneen ajanmenekkiin. Päätyönvaiheiden, hakkuun ja metsäkuljetuksen, osuuksien määräytymiseen vaikuttaa merkittävästi metsäkuljetusmatka. Jo analyysissä käytetyllä metsäkuljetusmatkalla, 250 m, metsäkuljetuksen osuus ajanmenekistä muodostui suuremmaksi kuin hakkuun. Kun metsäkuljetusmatka pitenee, niin yhdistelmäkoneen kilpailukyky heikkenee. Yhdistelmäkoneen ajanmenekkiä eniten selittävä tekijä oli hakattavan puuston rungon koko. Hakattavan puuston tiheys vaikutti myös yhdistelmäkoneen ajanmenekkiin.

Tehdyn kustannusvertailun perusteella karsittua puutavaraa valmistava yhdistelmäkone vaikuttaa lupaavalta ensiharvennusten ja rungon kooltaan alle 150 dm³:n harvennusten korjuumenetelmältä. Yhdistelmäkonemenetelmää käyttämällä ensiharvennuspuun korjuu tulee kannattavammaksi niin yrittäjälle kuin puunhankintaorganisaatiolle.

Yhdistelmäkoneessa on vielä paljon parantamisen ja kehittämisen varaa. Kouran ja puomiston tehokkuuden lisääminen sekä kuljettajan näkyvyyden parantaminen tuovat tuottavuutta lisää ennen kaikkea sekametsikön korjuuseen ja parantavat suurikokoisten puiden käsittelykykyä. Puomin kehittämistä vaatii ennen kaikkea uran aukaisuvaihe, sillä uran aukaisu käy nykyisillä puomityypeillä hitaammin kuin yksioteharvesterilla.

Yhdistelmäkonemenetelmän käyttöönotto sopii parhaiten yrittäjille, joilla on jo käytössään yksioteharvesteriketju. Tällöin yrittäjä voi työllistää yhdistelmäkoneen pienirunkoisilla leimikoilla, joissa se on edullisin vaihtoehto ja keskittää suurirunkoiset leimikot yksioteharvesteriketjulle. Näin yrittäjän käyttötuntikustannukset pienenevät

yksioteharvesteriketjulla pienirunkoisten ensiharvennusten jäätyä koneelta pois. Samalla yrittäjä pääsee parempiin tuloihin myös pienirunkoisilla leimikoilla yhdistelmäkoneen avulla. Myös metsäteollisuuden kannalta on järkevää tehdä kukin hakkuu sen olosuhteisiin parhaiten soveltuvalla menetelmällä.

Pelkästään metsäkuljetukseen keskittyneelle yrittäjälle yhdistelmäkone antaa mahdollisuuden laajentaa käyttöaluetta. Tutkimuksessa ollut yhdistelmäkoneyrittäjä oli erittäin tyytyväinen koneensa toimintaan. Yhdistelmäkoneen menetelmä monipuolistaa kuljettajien työskentelyä tuomalla molemmat korjuuvaiheet saman kuljettajan tehtäviksi. Työn vaihtelevuus lisää sen mielekkyyttä ja työmotivaatiota.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että karsittua puutavaraa valmistava yhdistelmäkone on toimintavalmis ja varma kokonaisuus, vaikka sitä on kehitetty vasta suhteellisen lyhyen aikaa. Yhdistelmäkoneesta on saatu tuotokseltaan ja korjuukustannuksiltaan varteenotettava vaihtoehto ensiharvennuspuun korjuuseen. Pienellä kehittäelyllä ominaisuuksia voidaan vielä parantaa.