

Metsätehon raportti 135
27.8.2002

Puutavaran lajittelu korjuun yhteydessä

Asko Poikela
Heikki Alanne

Puutavaran lajittelu korjuun yhteydessä

**Asko Poikela
Heikki Alanne**

Metsätehon raportti 135
27.8.2002

Konsortiohanke: Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta, Pölkky Oy,
Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj

Asiasanat: lajittelu, erilläänpito, tuottavuus, tavaralaji

© Metsäteho Oy

Helsinki 2002

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	4
Tausta ja tavoite	4
Tutkimuksen toteutus.....	4
Tulokset.....	4
1 JOHDANTO	7
2 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	7
2.1 Tutkimusjärjestelyt	7
2.2 Aineisto	8
2.3 Tulosten laskenta	8
3 TULOKSET	10
3.1 Kyselytutkimus	10
3.2 Aikatutkimus.....	13
3.2.1 Työmaa 1	13
3.2.2 Työmaa 2	20
3.2.3 Työmaa 3	25
3.2.4 Työmaa 4	29
4 TULOSTEN TARKASTELU.....	34
4.1 Kyselytutkimus	34
4.2 Aikatutkimus.....	34
4.2.1 Hakkuu.....	34
4.2.2 Metsäkuljetus.....	36
4.2.3 Puun toimitusketjun kustannustarkastelu	37
4.2.4 Tulosten luotettavuus.....	39
4.3 Korjuukaluston kehityspotentiaali	39

LIITE

TIIVISTELMÄ

Tausta ja tavoite

Puunjalostusprosessi hyötyy puuraaka-aineen lajittelusta. Hyötyjen vastapainoksi syntyy kustannuksia puunhankinta- ja käsittelyprosessin eri vaiheissa. Näiden kustannusten hallitsemiseksi tarvitaan tietoa lajittelun vaikutuksesta korjuun, kuljetuksen ja tehdaskäsittelyn kustannuksiin.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää lajittelun – erityisesti kuitupuun lajittelun – vaikutus puunkorjuun ajanmenekkiin ja kustannuksiin. Samalla arvioitiin teknistä kehittämispotentiaalia.

Tutkimuksen toteutus

Ensin muodostettiin käsitys lajittelun nykytilasta. Piiritasolle kohdistetussa kyselytutkimuksessa tiedusteltiin mm. käytettävissä olevien puutavaralajien lukumääriä (potentiaali) ja työmaittain toteutuvia puutavaralajimääriä. Samalla pyydettiin arviota puutavaralajien lukumäärän kehityksestä ja kuvauksia käytännön lajittelumenetelmistä.

Lajittelun vaikutusta korjuu ajanmenekkiin tutkittiin neljällä eri hakkuutyömaalla, joista kaksi oli myöhempiä harvennuksia ja kaksi päätehakuita. Kukin tutkimustyömaa jaettiin vähintään kahteen, puustoltaan mahdollisimman yhtenevään palstaan. Ensimmäisellä palstalla noudatettiin tavanomaista puutavaralajijakoa, jossa pidettiin ainoastaan puulajit sekä tukki (+ sorvi) ja kuitupuun erillään. Seuraavalla palstalla nostettiin pääpuulajin *kuitupuun* lajitteluintensiteettiä erottamalla joko tyvipölkkyt (tyvikuitupuun) tai 12 cm latvaläpimitan täyttävät kuitupuupölkkyt (järee kuitupuun) omiksi puutavaralajeikseen.

Ensimmäinen tutkimustyömaa oli poikkeuksellisen iso ja homogeeninen, joten siellä vertailua täydennettiin vielä kolmella lisäpalstalla. Niistä ensimmäisellä lisättiin puutavaralajivalikoimaan tyvikuidun lisäksi pikkutukki, jolloin valikoimassa oli yhteensä kaksi ylimääräistä puutavaralajia tavanomaiseen lajittelutasoon nähden. Kahdella muulla palstalla toistettiin vielä helpoin ja vaikein lajittelutaso.

Tulokset

Kyselytutkimuksen perusteella puutavaralajivalikoimat vaihtelevat jyrkästi sekä puunhankintaorganisaatioiden sisällä että välillä. Suuri valikoima ei kuitenkaan johda vääjäämättä siihen, että yksittäiseltä työmaalta korjattaisiin tavanomaista useampia tavaralajeja. Valikoimaan kuuluu tyypillisesti yli 20 nimikettä mutta työmaatasolla niistä on käytössä kerrallaan alle puolet. Lajittelu toteutetaan käytännössä jo hakkuuvaiheessa jolloin metsä- ja kaukokuljetusvaiheen tehtäväksi jää erilläänpidon varmistaminen.

Aikatutkimus osoitti, että lajitteluintensiteetin nostaminen vaikuttaa selvästi korjuun ajanmenekkiin.

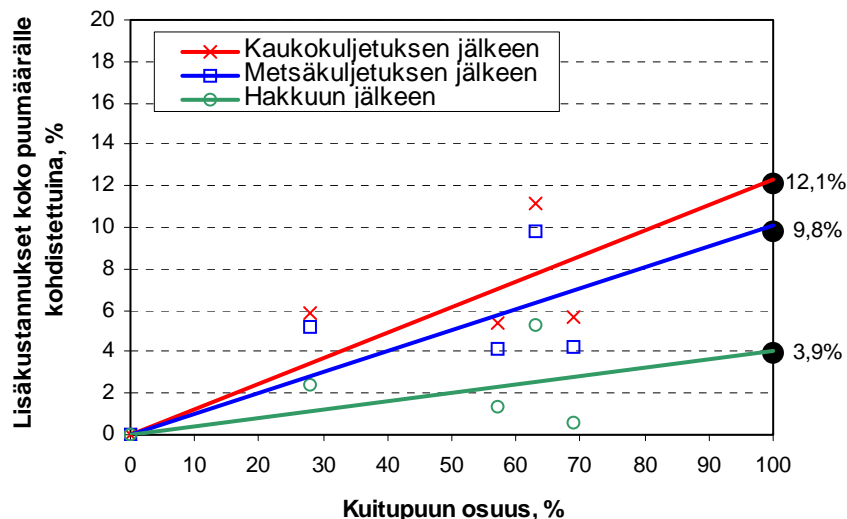
Hakkuussa vaikutus oli odotetusti pienempi kuin metsäkuljetuksessa. Hakkuun ajanmenekki pysyi muutamissa vertailuissa jopa lähes ennallaan kuitupuun lajittelutasoa nostettaessa. Kuitupuun lajittelu kahteen ositteeseen lisäsi hakkuun käyttöajanmenekkiä 1,5 - 14,5 %. Kun tästä aiheutuvat lisäkustannukset kohdistettiin yksin kuitupuulle, vaikutus oli 2 - 23 %.

Lajittelusta aiheutuva hakkuun lisäajanmenekki riippuu itse puutavaralajivalikoimasta. Esimerkiksi kuitupuun lajittelu kahteen ositteeseen ei välttämättä lisää merkittävästi ajanmenekkiä, jos kumpikaan niistä ei kilpaile jonkin kolmannen puutavaralajin kanssa samoista rungon osista. Yleisesti voidaan sanoa, että aina kun valikoimaan lisätään puutavaralaji, joka edellyttää laadun tarkempaa huomioon ottamista (esim. pikkutukki), hakkuun ajanmenekki kasvaa.

Metsäkuljetuksessa lisäpuutavaralajien vaikutus ajanmenekkiin on selväpiirteinen. Lajipuhtaisiin kuormiin pyrittäessä kuormaustaakan koko pienenee ja laskee näin kuormausvaiheen tuottavuutta. Samalla yksittäisestä työpisteestä kuormattavissa oleva puumäärä pienenee ja kuormausvaiheen aikana tapahtuva ajo lisääntyy. Myös vajaakuormien määrä oletettavasti lisääntyy, vaikkei siitä näin pienessä aineistossa saatu selkeää näyttöä. Tämä laskee kuljetusvaiheen tuottavuutta. Sekakuormina ajoakaan ei voida koskaan täysin välttää ja tällöin lisäpuutavaralajin vaikutus näkyy nimenomaan purkuvaiheen tuottavuuden laskuna kun purkutaakan koko pienenee ja kasojen väliset siirtymiset lisääntyvät. Työtapa, jossa kaikki kuitupuu ajettiin sekakuormina ja lajittelu tehtiin vasta välivarastolla, osoittautui hyvin hitaaksi.

Tässä koejärjestelyssä pääpuulajin metsäkuljetuksen käyttöajanmenekki kasvoi 12 - 20 % kun kuitupuuositteiden tyvipölkkyt tai järeät (> 12 cm) pölkkyt pidettiin erillään muista kuitupuupölkkyistä. Kun tämä lisäajanmenekki kohdistetaan yksin kuitupuuositteelle, merkitsee se noin 20 - 30 %:n lisäkustannuksia kuitupuun metsäkuljetukseen.

Kun lajiteltu kuitupuu kulkee koko toimitusketjun läpi (hakkuu + metsäkuljetus + kaukokuljetus), lisäkustannukset ovat arviolta 12 %:n luokkaa. Suurin osa kustannuspaineesta aiheutuu metsäkuljetuksesta (kuva). Tähän laskennalliseen tulokseen sisältyy erityisesti kaukokuljetuksen osalta taustaoletuksia, jotka saattavat osoittautua käytännössä pessimistisiksi.



Kuva. Lajittelun laskennallinen vaikutus puunkorjuun ja kuljetuksen kokonaiskustannuksiin, kun kuitupuu lajitellaan kahteen eri ositteeseen. Oikeassa reunassa kustannusvaikutukset kuitupuuositteelle kohdistettuina (= kuitupuun osuus 100 %).

Lajittelun yleistyessä niin työtekniikka kuin tekniset ratkaisutkin kehittyvät ja leikkaavat osan kustannuspaineesta. Loppuosalle olisi kyettävä löytämään kate jalostusprosessin puolelta. Raaka-ainetutkimukset ovat tuottaneet viitteitä siitä, että lajitellun raaka-aineen käytöstä on hyötyä. Tämän tutkimuksen ensimmäisellä näytetyömaalla tutkittiin puuanalyysien, millaisia eroja kuitupuuositteiden välillä käytännössä syntyi. Tyvikuitupuu oli latvakuituun verrattuna 8 % tiheämpää ja kosteus oli 5 %-yksikköä alempi. Jos esimerkiksi tämän tasoisilla ominaisuuseroilla saavutetut edut yhdessä paremman kuorintatalouden (kaarnaiset tyvipölkkyt erilliskuorintaan) kanssa voidaan osoittaa nyt todettuja lisäkustannuksia suuremmiksi, lajittelun intensiteettiä kannattaa korjuuvaiheessa nostaa. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella näyttää ilmeiseltä, että lajittelumahdollisuuksia kannattaa etsiä myös jalostusprosessin läheisyydestä tai sen sisältä.

Korjuukalustoa voidaan kehittää lajittelutyöhön paremmin soveltuvaksi. Kehityspotentiaalia on erityisesti kuormatraktorissa.

Tämä tutkimus keskittyi kuitupuun lajitteluun mutta siinä saatiin viitteitä myös yleisemmin lisäpuutavaramateriaalin vaikutusmekanismista korjuun ajanmenekkiin. Ainakin metsäkuljetuksen osalta voidaan jatkossa tarkastella laskennallisestikin minkä tahansa lisäpuutavaramateriaalin vaikutusta kustannuksiin. Hakkuussa tilanne ei ole yhtä selkeä, koska vaikutusmekanismi on monimutkaisempi.

1 JOHDANTO

Lajittelemalla puuraaka-aine entistä tarkemmin voidaan raaka-aineen käytön taloutta parantaa sekä puun tehdaskäsittelyssä että massan valmistuksessa.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää puutavaran lajittelun nykykäytäntöä ja ajanmenekkiä hankintaketjun eri vaiheissa. Pääpaino oli kuitupuun lajittelun teknistaloudellisessa tarkastelussa.

Tutkimuksesta saatavan tiedon avulla puutavaran korjuun kustannukset voidaan kohdistaa aiempaa paremmin aiheuttamisperiaatteen mukaisesti. Samalla on mahdollista löytää lajitteluun liittyviä teknologisia ongelmia ja ratkaisuja niihin.

Projekti oli osa VTT Energian PUULAATU -teknologiaohjelmaa.

2 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

2.1 Tutkimusjärjestelyt

Puutavaran lajittelun nykykäytäntöä selvitettiin puunhankintaorganisaatioiden piiritasolle kohdistetulla *kyselytutkimuksella*. Vastauslomakkeessa (liite) pyydettiin arvioimaan mm. työmaittain toteutuvien puutavaralajien määrää prosenttijakaumana. Lisäksi pyydettiin kuvaamaan nykyisin käytössä olevat lajittelumenetelmät sekä hankintaketjun kolmen eri päävaiheen keskinäinen työnjako lajittelun käytännön toteutuksessa. Kunkin vastauksen 'painoarvon' arvioimiseksi saatiin tieto ko. piirin tukki- ja kuitupuutavaralajien vuosivolyymistä.

Kyselytutkimuksen vastauksista seulottiin esiin organisaatioyksiköitä, joissa lajittelu oli tavanomaista yleisempää. Näiltä tiedusteltiin sopivia korjuuketjuja lajittelun ajanmenekkitutkimukseen. Valintakriteerinä oli kokemuksen lisäksi se, että hakkuukoneessa oli valmius runko- ja pölkkykohtaisen mittauksien (STM-tiedosto) tallentamiseen. Urakanantajaa pyydettiin myös osoittamaan ko. korjuuketjuille pystyvarannostaan mahdollisimman suuria, puustoltaan homogeenisia korjuukohteita, joissa olisi mahdollista varioida puutavaralajivalikoimaa.

Lajittelun vaikutus korjuun ajanmenekkiin selvitettiin kelloaikatutkimuksella. Kultakin tutkimustyömaalta rajattiin 2 - 5 erikseen käsiteltävää palstaa, joissa *pääpuulajista* valmistettiin vaihteleva määrä puutavaralajeja. Kontrollipalstalla pääpuulaji lajiteltiin tukiksi ja kuitupuuksi. Viereisillä palstoilla vaikeutettiin lajittelua jakamalla kuituosa kahteen eri puutavaralajiositteeseen joko pölkyn sijainnin (tyvipölkky / muu pölkky) tai latvaläpimitan ($><12$ cm) perusteella. Yhdellä tutkimustyömaalla kokeiltiin vielä astetta vaikeampaa katkontaohjetta lisäämällä valikoimaan pikkutukki. Kukin korjuuketju sovelsi parhaaksi katsomaansa työtapaa puutavaralajien erilläänpidossa ja lajittelussa.

Pääosa aineistosta kelloitettiin normaaliin tapaan työmaalla. Muutamilla palstoilla hakkuu ja lähikuljetus tallennettiin videonauhalle, josta se purettiin aikatutkimusdataksi. Tämä toteutustapa osoittautui hyväksi etenkin lähikuljetusvaiheen sekakuormissa, joissa on yleensä ongelmana kuormausvaiheen taakkojen puutavaralajin määrittely.

2.2 Aineisto

Kyselytutkimuksessa saatiin vastaukset yhteensä 46 piiriltä sekä yhden hankinta-alueen piirikohtaisen aineiston yhteenveto. Vastausten kattama vuosivolyymi oli 24,4 milj. m³.

Aikatutkimukseen valittiin kolme koneketjua, joita tutkittiin yhteensä neljällä eri työmaalla.

TAULUKKO 1 Tutkimuskoneet

	Hakkuukone	Ajokone
Ketju 1	Valmet 901	Valmet 836
Ketju 2	Timberjack 1270 + 745	Timberjack 1010
Ketju 3	Timberjack 1270B + 746C	Timberjack 1010
Ketju 4	Sama kone kuin ketjussa 3	Timberjack 1010

TAULUKKO 2 Tutkimustyömaat

	Koneketju	Hakkuutapa	Pääpuulaji	Kertymä, m ³	Keski-järeys, dm ³
Työmaa 1	1	II harvennus	Mänty	279	180
Työmaa 2	2	II harvennus	Kuusi	225	214
Työmaa 3	3	Päätehakkuu	Kuusi	193	405
Työmaa 4	4	Päätehakkuu	Kuusi	106	174
1 – 4				802	218

2.3 Tulosten laskenta

Kyselytutkimuksen piirikohtaisista vastauksista tehtiin yhteenveto, jossa kukin numeroarvoina esitetty vastaus (puutavaralajien lukumäärät, prosenttija-kaumat yms.) sai kyseisen piirin vuosivolyymiä vastaavan painon.

Aikatutkimuksessa hakkuutyön analysointia varten yhdistettiin hakkuun aikatutkimusdata ja STM-tiedostot tietokannaksi, josta ilmeni mm. jokaisen rungon ja pölkyn mitta- ja ajanmenekkitiedot.

Hakkuukoneen aikatutkimusaineistosta analysoitiin seuraavat työvaiheet:

- hakkuulaitteen vienti puulle ja kaatosahaus
- puun tuonti prosessointiin
- 1. pölkyn käsittely
- 2. pölkyn käsittely jne.

- siirtyminen työpisteeltä toiselle
- järjestelyt
- häiriöt
- alikasvoksen raivaus
- keskeytykset (alle 15 min)

Alikasvoksen raivauksen ja alle 15 minuutin keskeytysten osuus jätettiin lajittelun vaikutuksia laskettaessa huomioimatta koska niiden osuus ei ehdi vakiintua lyhyen aikatutkimusjakson aikana. Niillä ei liene myöskään yhteyttä lajittelutapaan.

Lajittelun vaikutuksia hakkuun tuottavuuteen analysoitiin usealla eri tavalla. Ensimmäiseksi verrattiin eri lajittelutasojen välisiä keskimääräisiä ajanmenekkejä. Tämä vertailu toteutettiin ns. homogenisoiduilla runkolukusarjoilla, ts. kontrollikoealan puusto ”hakattiin” vertailukoealojen mukaisilla ajanmenekkifunktioilla ja verrattiin näin saatua summa-aikaa kontrollikoealan todelliseen ajanmenekkiin.

Lajittelun vaikutuksia analysoitiin myös runkotyypeittäin (kuiturungot, tukkirungot jne.) ja rungon kokoluokittain. Runkotyypeittäiset vertailut esitetään rungon käsittelyaikaa kuvaavilla käyrillä (esim. kuva 5, s. 14). Käyrä havainnollistaa tietyn runkotyyppin käsittelyajanmenekkiä koko järeysalueella ja siihen sisältyy pölkymäärän lisääntymisen vaikutus käsittelyajanmenekkiin. Kokoluokittaisissa analyysissä vakioitiin myös pölkymäärä ja hajotettiin rungon käsittelyajanmenekki osavaiheisiin (esim. kuva 6, s. 15). Nämä kaksi tarkastelutapaa eivät tuota aina keskenään täysin yhteneviä tuloksia. Käyrät antavat rakennekuvia luotettavamman kuvan lisäajanmenekin tasosta kun taas rakennekuva kertoo tarkemmin lisäajanmenekin alkuperän.

Metsätraktorin työskentely jaoteltiin seuraaviin työvaiheisiin:

- tyhjänä ajo
- kuormaus
- kuormausajo
- kuormattuna ajo
- purkaminen
- purkuajo (ajo varastolla)
- keskeytykset (alle 15 min)

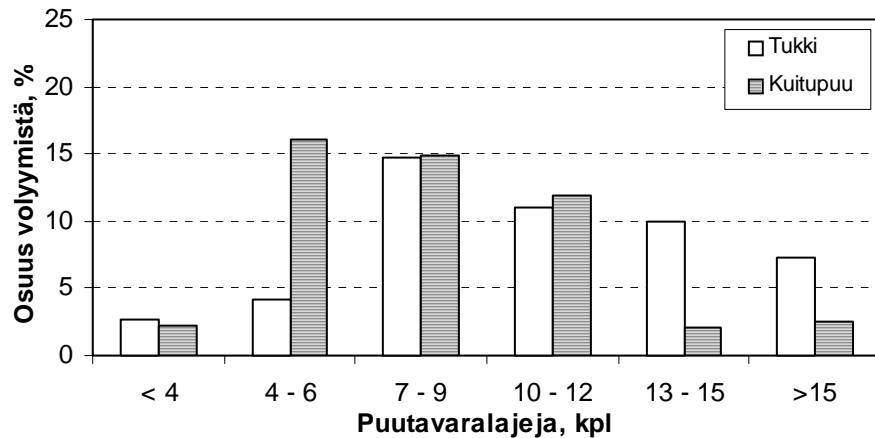
Tyhjänä ja kuormattuna ajomatkat ja olosuhteet vaihtelivat koetyömaittain ja koealoittain. Tästä johtuen koealoittaisten tulosten vertailtavuuden parantamiseksi tyhjänä ajon ja kuormattuna ajon ajanmenekit määritettiin laskennallisesti edustamaan metsäkuljetusta 300 metrin keskikuljetusmatkalla maastoluokassa 1. Laskennassa käytettiin kultakin koealalta laskettuja keskimääräisiä kuorman kokoja ja kuormausajomatkoja.

Kaikki edellä kuvatut analyysit sekä hakkuussa että metsäkuljetuksessa kohdistettiin vain leimikon pääpuulajiin.

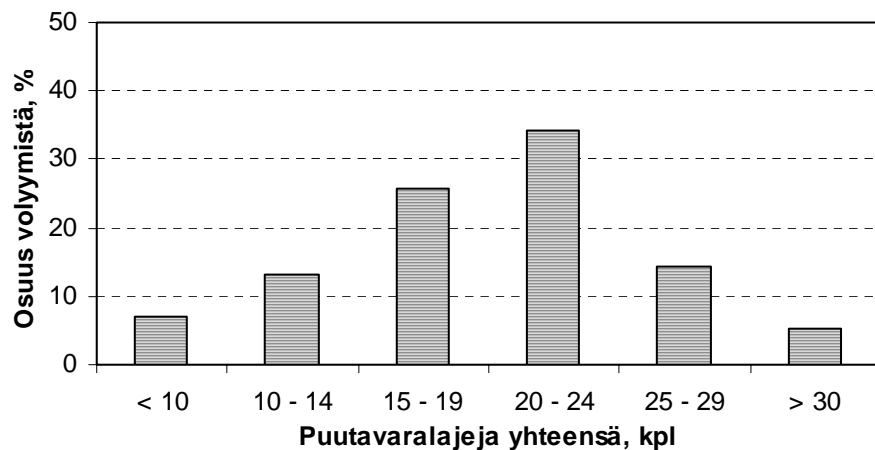
3 TULOKSET

3.1 Kyselytutkimus

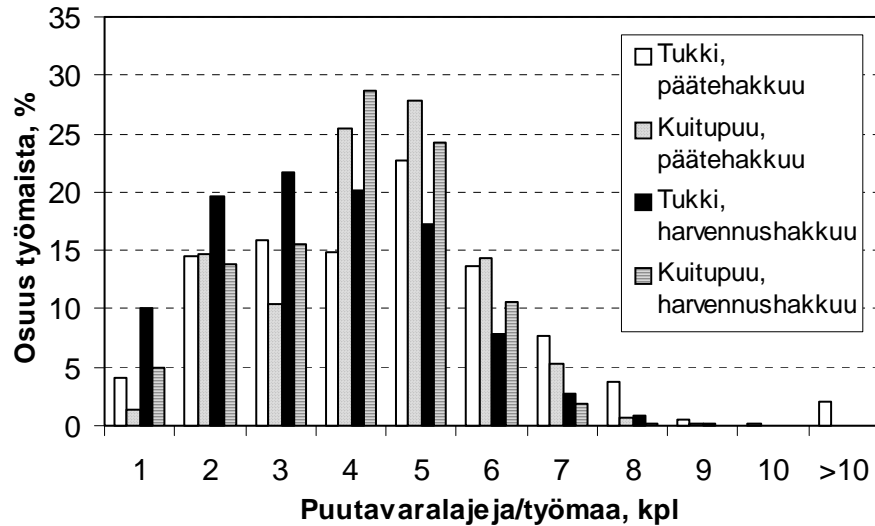
Kyselytutkimuksessa tiedusteltiin piirillä käytettävissä olevien puutavaralajien kokonaismäärää. Tukkipuutavaralajeja oli käytettävissä keskimäärin 11 kpl määrän vaihdelta 3:sta 21:een. Kuitupuutavaralajeja oli odotetusti vähemmän eli keskimäärin 8 kpl (2 - 17). Kuvasta 1 ilmenee tukki- ja kuitupuutavaralajien vuosivolyymilla painotettu lukumääräjakama. Kuvassa 2 vastaava jakauma puutavaralajien kokonaismäärälle.



Kuva 1. Käytettävissä olevien tukki- ja kuitupuutavaralajien lukumäärä piirittasolla.



Kuva 2. Käytettävissä olevien puutavaralajien kokonaismäärä piirittasolla.



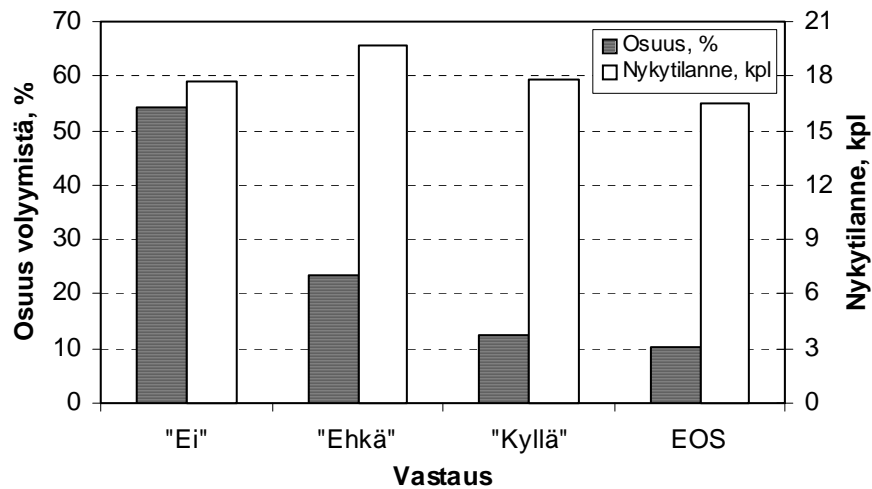
Kuva 3. Työmaittain toteutuvien puutavaralajien lukumäärä-jakauma.

Yksittäisellä työmaalla ei hyödynnetä käytettävissä olevien puutavaralajien koko kirjoa. Päätehakkuutyömaalla esiintyy tyypillisesti viittä eri tukkipuutavaralajia ja 4-5:ttä kuitupuutavaralajia. Harvennushakkuilla kuitupuutavaralajien määrä on keskimäärin samalla tasolla kuin päätehakkuissa, mutta tukkilajeja on keskimäärin vain 3 kpl/työmaa (kuva 3). Kuvassa 3 esitetty jakauma on muista kyselytutkimuksen tuloksista poiketen esitetty painottamatta vastauksia vuosivolyymillä koska se ei oletettavasti jakaudu tasaisesti eri puutavaralajimääriä tuottavien työmaiden kesken. Suurilla työmailla esiintyy todennäköisesti suurimmat puutavaralajimäärät.

Piireillä, joilla on käytettävissään suurimmat valikoimat puutavaralajeja (> 25 kpl), syntyy työmaakohtaisesti keskimäärin sama määrä (9 - 10 kpl) puutavaraeria kuin 15 - 20 puutavaralajin piireillä. Tukki- ja kuitupuutavaralajien määrät eivät olleet toisistaan riippuvaisia. Tämä johtopäätös koskee sekä käytettävissä olevien puutavaralajien että työmaakohtaisesti toteutuvien puutavaralajien määrää.

Muutamissa vastauksissa korostettiin erikseen, että eri tuotantolaitoksille menevät saman puutavaralajin ositteet on luettu kukin omaksi puutavaralajikseen. Todennäköisesti useimmat vastaajat ovat noudattaneet tätä samaa periaatetta sekä puutavaralajien kokonaismäärää että työmaatasoista prosenttijakaumaa koskevia lukuarvoja määrittäessään.

Vastaajia pyydettiin arvioimaan, lisääntykö erillään pidettävien puutavaralajien lukumäärä selvästi nykytasosta lähitulevaisuudessa. Yli puolet arvioi lukumäärän pysyvän likimain entisellään. Lisääntymistä piti todennäköisenä hieman alle 15 % vastaajista (= volyyminä). Loput pitivät pientä lisääntymistä mahdollisena tai eivät esittäneet arviotaan lainkaan. Piireillä, jotka pitivät lisääntymistä todennäköisenä, oli jo nykyisellään vastaava määrä puutavaralajeja käytettävissä kuin muillakin piireillä (kuva 4).



Kuva 4. "Onko näköpiirissä, että erillään pidettävien puutavaralajien lukumäärä lisääntyy selvästi nykytasosta?" Vasemmalla vastausten osuudet ja oikealla käytettävissä olevien puutavaralajien nykyinen lukumäärä kyseisissä vastausluokissa keskimäärin.

Lajittelu toteutetaan pääsääntöisesti hakkuuvaiheen toimenpitein. Kyselyssä tiedusteltiin, kuinka usein lajittelua tarkennetaan vielä metsä- ja kaukokuljetusvaiheessa. Metsäkuljetusvaiheen lajittelua arvioidaan tapahtuvan noin 40 %:lla työmaista ja kaukokuljetusvaiheessa alle 15 %:lla työmaista. Raakit ja vajaalaadut lajitellaan tietysti eroon aina kun niitä havaitaan missä tahansa hankintaketjun osavaiheessa.

Lopuksi pyydettiin yksilöimään kussakin hankintaketjun vaiheessa sovellettavat lajittelumenetelmät. *Hakkuuvaiheessa* hyödynnetään lähes poikkeuksetta sekä värimerkkausta että erilleenkasausta. Viime mainittu toteutetaan käytännössä joko sijoittelemalla eri puutavaralajit limittäin (= päät eri tasoon), eri etäisyyksille ajourasta (= vyöhykekasaus) tai eri puolille ajouraa. Lisäksi käytetään erilaisia sovelluksia pituus- ja paksuuslajittelusta. *Metsäkuljetusvaiheessa* otetaan eroon mm. seuraavanlaisia puutavaralajeja tai -eriä:

- tyvi-, väli- ja latvatukki
- lumpit, latvakuitu, sahakuitu, järeä kuitu, (yli)laho, raakki
- erikoiskoivu, hiomohaapa, sellukuusi, 'isännän pino'

Metsäkuljetusvaiheen lajittelutoimenpiteinä ja niihin verrattavina työvaiheina mainittiin mm. järeys- ja pituuslajittelu, latvojen kääntely samaan suuntaan sekä vikojen poisto yksittäisistä pölkyistä lyhentämällä välivarastolla. Puutavaralajisiirtymien tarkkailun lisäksi ei voitu nimetä mitään yksittäistä, laajasti käytettyä metsäkuljetusvaiheen lajittelumenetelmää. Hakkuuvaiheessa lajiteltujen puutavaralajien erilläänpidon varmistaminen metsäkuljetusvaiheessa vaatii jo sinänsä kuljettajalta tarkkaavaisuutta ja toimenpiteitä. Vähemmistöpuutavaralajeja käsiteltäessä kuljettaja joutuu tekemään jatkuvasti valintoja sen suhteen, tuodaanko ne välivarastolle sekakuormina, pääpuutavaralajikuormien 'kylkiäisinä' vai kootaanko niitäkin pääpuutavaralajien tapaan lajipuhutuksi kuormiksi.

Kaukokuljetusvaiheessa lajittelu rajoittuu lähinnä puu- ja puutavaralajisiirtymien korjaamiseen. Tuoreuslajittelua sovelletaan jossain määrin.

3.2 Aikatutkimus

3.2.1 Työmaa 1

Työmaan 1 aikatutkimuksen tulokset esitetään muita työmaita perusteellisemmin koska siinä olosuhteet olivat erityisen homogeeniset ja mahdollistivat muita kohteita monipuolisemman lajitteluasetelman ja tulosten analyysin. Tällä työmaalla tehtiin poikkeuksellisesti myös suppea puuanalyysi, jossa tutkittiin erilleen lajiteltujen kuitupuuositteiden tiheys ja kosteuseroja. Lajittelemattoman ositteen kuivatuoretiheys oli keskimäärin 430 kg/m^3 , tyvikuidun 437 kg/m^3 ja latvakuidun 405 kg/m^3 . Vastaavat kosteusarvot olivat 54 %, 52 % ja 57 %.

Ensimmäinen tutkimustyömaa oli mäntyharvennusta, jossa lähtöpuuston tiheys oli 910 runkoa/ha, poistuma 390 runkoa/ha ja kertymä $70 \text{ m}^3/\text{ha}$. Poistetun puuston keskijäreys oli 180 dm^3 .

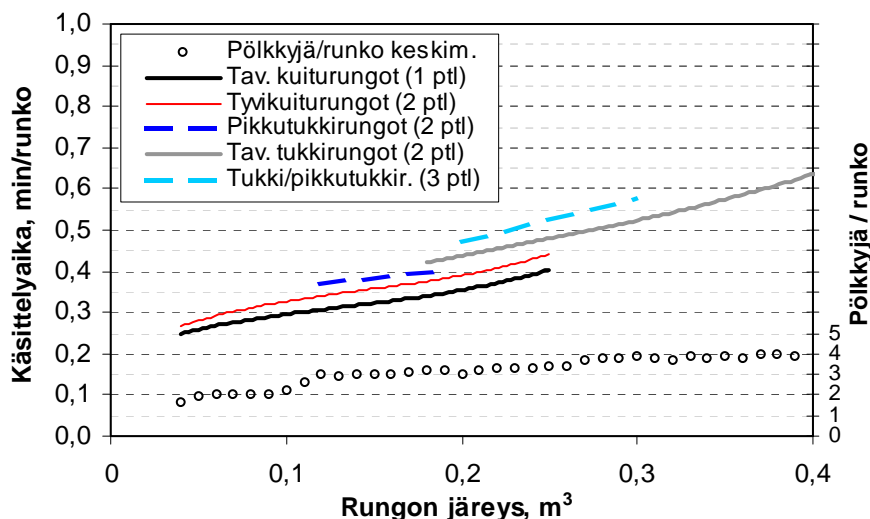
Mäntyharvennuksella testattiin ensisijaisesti tyvikuitupuun ja pikkutukin erilläänpidon vaikutusta hakkuun ajanmenekkiin. Vaikeimmassa lajittelutasossa oli mukana myös toinen sahatukkilaatu mutta sen osuus kertymästä jäi hyvin pieneksi. Kontrollimenetelmänä oli tavanomainen kahden puutavaralajin vaihtoehto (tukki + kuitu). Sivupuulajeilla ei vaihdeltu lajittelutasoa vaan ne hakattiin normaalin työohjeen mukaisesti.

- koeala 1: kontrolli (mäntytukki + mäntykuitupuun)
- koeala 2: tyvikuitupuun erilläänpito (mäntytukki + mäntytyvikuitupuun + muu mäntykuitupuun)
- koeala 3: tyvikuitupuun, pikkutukin ja toisen tukkilaadun erilläänpito (mäntytukki 1 + mäntytukki 2 + mäntypikkutukki + mäntytyvikuitupuun + muu mäntykuitupuun)
- koeala 4: kuten koeala 1
- koeala 5: kuten koeala 3

3.2.1.1 Hakkuu

Tyvikuitupuun lisääminen puutavaralajivalikoimaan lisäsi homogenisoituihin runkolukusarjoihin (ks. sivu 9) perustuvien laskelmien mukaan rungon käsittelyajanmenekkiä sekä järjestelyitä ja häiriöitä yhteensä 2,2 %. Kun tyvikuidun lisäksi valikoimaa täydennettiin pikkutukilla, vaikutus oli jo yli 20 %.

Mäntykuiturungot, joiden ensimmäinen pölkkö hakattiin erilleen tyvikuitupuuksi, olivat työmaalla 1 keskimäärin 10 % hitaampia käsitellä kuin tavanomaiset yhden puutavaralajin mäntykuitupuurungot. Jos tyvipölkystä tehtiin pikkutukki, käsittelyajanmenekki oli jo keskimäärin 19 % suurempi kuin yhden puutavaralajin kuitupuurungoissa (vrt. kuvassa 5 kolme alimmaista käyrää).

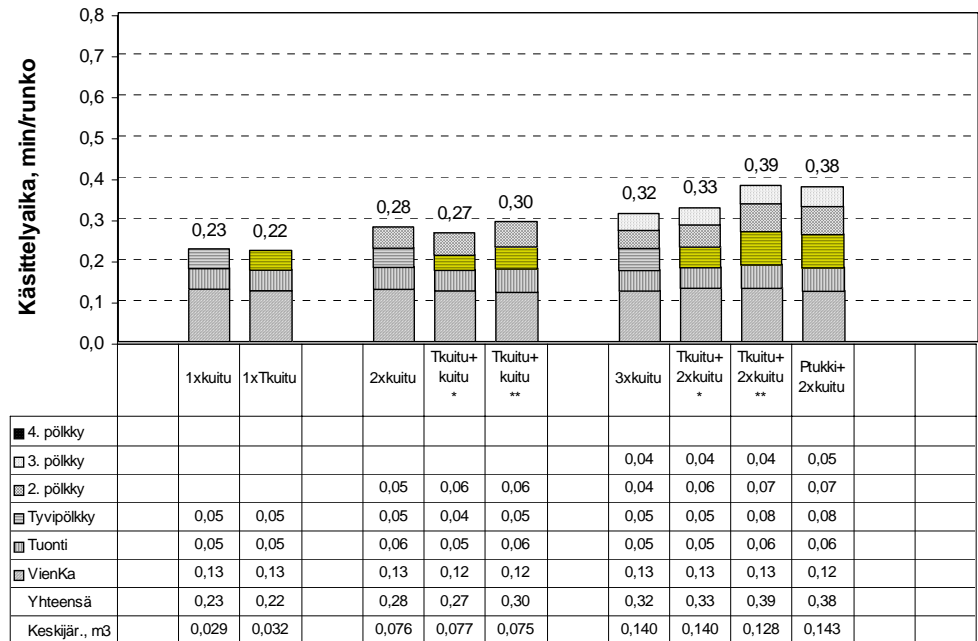


Kuva 5. Rungon järeys ja rungoittaisen puutavaralajien määrän vaikutus käsittelyajanmenekkiin mäntyharvennuksella. Alimmaisena rungoittaisen pölkky määrän kuvaaja.

Suurempiin runkoihin siirryttäessä (> 200 dm³) tyvipölkky alkoi täyttää sahatukin mitat. Sahatukin erottaminen rungosta lisäsi runkokohtaista ajanmenekkiä noin 20 % verrattuna siihen vaihtoehtoon, että koko runko olisi hakattu kuitupuuksi. Jos tukkirungosta tehtiin sahatukin lisäksi vielä yksi pikkutukkikin, ajanmenekki kasvoi edelleen vajaat 10 % (kuva 5, ylin käyrä).

Edellä esitetyissä tuloksissa on vertailuryhmät muodostettu yli kaikkien lajittelutasojen ja koealojen. Etenkin tyvikuidun erilläänpidon vaikutuksesta saadaankin aivan erilainen käsitys, jos tarkastellaan erikseen kuitupuurunkoja niiltä koealoilta, joilla pikkutukki ei kuulunut puutavaralajivalikoimaan. Kuvissa 6 ja 7 on esitetty rungon käsittelyajanmenekit osavaiheittain. Ensimmäisestä kuvasta nähdään selvästi 'kilpailevien' puutavaralajien merkitys ajanmenekkiin. Kun pikkutukki ei kuulu valikoimaan, tyvikuidun erilläänpidostakaan ei aiheudu selvää lisäajanmenekkiä (kuva 6, neljäs ja seitsemäs pylväs). Pikkutukin tullessa mukaan tyvikuidun erilläänpito hidastaa työkentelyä (kuva 6, viides ja kahdeksas pylväs). Selvimmin tämä ero näkyy noin 140 dm³:n rungoissa, joissa pikkutukki on selvä vaihtoehto tyvikuidulle. Noin 75 dm³:n rungoissa tyvipölkky jää selvästi pikkutukin mittavaatimuksista eikä rajanvetoon ole tarvetta. Tyvikuitupuukasoja muodostuu kuitenkin harvempaan ja kasaus vaatii pidempiä liikeratoja kuin pelkkää tyvikuitupuuta erillään pidettäessä.

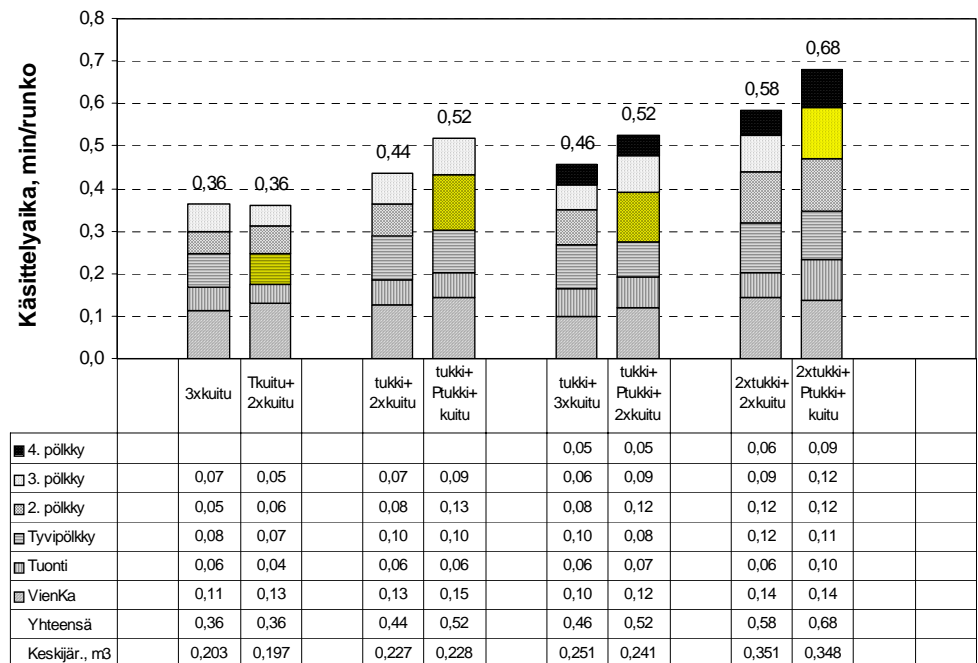
Muutoin järeysluokittaisista rakennekuvista voidaan vetää samansuuntaiset johtopäätökset kuin edellä runkotyypeittäin koostetuista ajanmenekin kuvaajista. Toisin sanoen pikkutukin tai tukin erottaminen mäntyrungosta hidastaa rungon käsittelyä noin 20 % verrattuna yhden puutavaralajin (mäntykuitupuun) hakkuuseen. Jos samasta rungosta erotetaan molemmat erikoispuutavaralajit vaikutus kertautuu jopa 40 %:ksi.



Kuva 6. Pienten mäntyrunkojen käsittelyajanmenekki osavaiheittain mäntyharvennuksella. Erikoispuutavaralajina tyvikuitu ja pikkutukki (= Tkuitu ja Ptukki, korostettu keltaisella). Taulukon alimmaisella rivillä kunkin vertailuryhmän keskiarvo.

* Pikkutukki ei mukana puutavaralajivalikoimassa

** Pikkutukki mukana puutavaralajivalikoimassa



Kuva 7. Järeiden mäntyrunkojen käsittelyajanmenekki osavaiheittain mäntyharvennuksella.

Rakennekuvista nähdään selvästi myös lisäajanmenekin alkuperä. Kun tietystä rungon osasta tehdään kuitupölkyn sijaan (pikku)tukki, vaikutus näkyy sekä itse (pikku)tukin että sitä seuraavan pölkyn käsittelyajanmenekissä. Tukin kohdalla kyse on *apteerausviiveestä*, joka syntyy kun kuljettaja joutuu arvioimaan, täyttääkö pölkky tukin laatuvaatimukset. Viivettä aiheuttaa ainakin kuljettajan oman arvion mukaan myös apteerausautomaatiikka, jolla on nyt huomattavasti enemmän apteerausvaihtoehtoja optimoitavana. Kuitupuuta lajiteltaessa mahdollinen lisäajanmenekki näkyy yleensä vasta siinä pölkkyssä, joka kasataan tyvikuidusta erilleen toisin sanoen erikoispuutavaralajipölkkyä seuraavassa pölkkyssä. Tätä lisäajanmekkiä voisi kutsua *kasausviiveeksi*. Kuljettaja pyrkii muodostamaan latvakuitupuusta edelleen kohutuullisen suuria kasoja vaikka kertymä ajourimetriä kohti on selvästi pienentynyt. Kasat syntyvät entistä harvempaan ja hakkuulaitteen liikeradat pitenevät. Kun esimerkiksi kolmipölkkyisen rungon kaksi viimeistä pölkkyä puidaan samaan kasaan, viimeisen pölkyn käsittelyajanmenekki ei riipu enää kuitupuun lajittelutasosta koska ylimääräisiä liikkeitä latvapölkyn erillään pitämiseksi ei tarvita.

Lajittelulla ei ollut merkittävää vaikutusta muihin työvaiheisiin. Siirtymisiin, järjestelyihin ja häiriöihin kului helpoimmalla lajittelutasolla aikaa yhteensä keskimäärin 0,12 min/runko ja vaikeimmallakin vielä alle 0,13 min/runko. Koska siirtymisajanmenekki voidaan olettaa lajittelutasosta riippumattomaksi tekijäksi, lisäys johtunee lähes yksinomaan järjestelytyön lisääntymisestä.

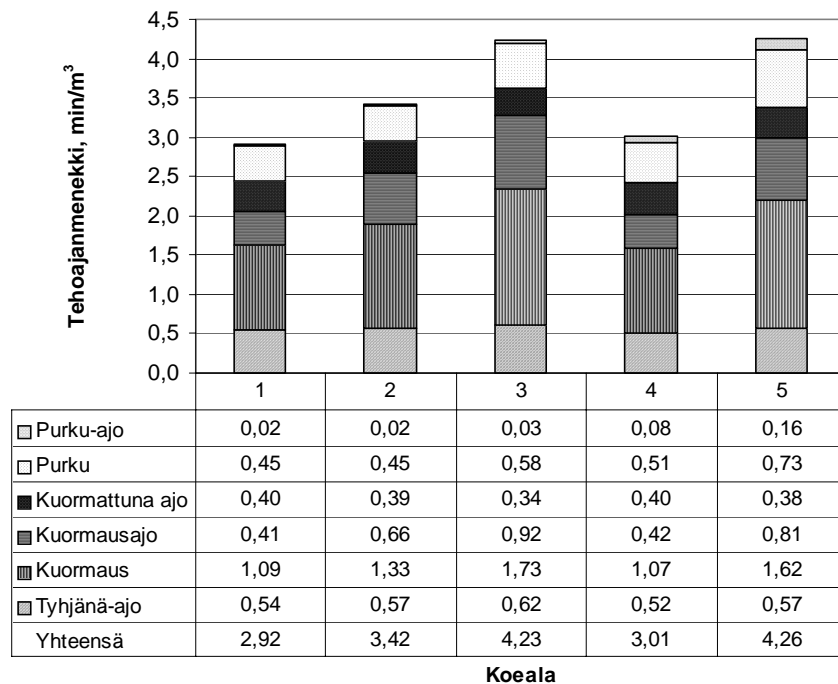
Synteesinä kaikista edellä esitetyistä työmaan 1 tuloksista voidaan lajittelun vaikutus hakkuutyön ajanmenekkiin ja edelleen tuottavuuteen esittää seuraavasti.

Havainnot työmaan 1 hakkuun aikatutkimuksesta:

- tyvikuidun erilläänpito ei näytä hidastavan merkittävästi hakkuuta, jos samasta rungon osasta ei kilpaile muita erikoispuutavaralajeja
- kun ptl-valikoimaan sisältyy kaksi kuiturungon tyvipölkystä kilpailevaa tavaralajia (tyvikuitu ja pikkutukki), lajittelu hidastaa työtä selvästi
- pikkutukin ja sitä seuraavan pölkyn käsittelyajanmenekki kasvaa yhteensä 0,06 min (yli 50 %) tavanomaiseen hakkuuseen verrattuna
- järjestelyn ja häiriöiden runkokohtainen ajanmenekki 1,5 - 2-kertaistuu lajittelutasoa nostettaessa, mutta vaikutus jää silti merkityksettömän pieneksi (< 0,01 min/runko)

3.2.1.2 Metsäkuljetus

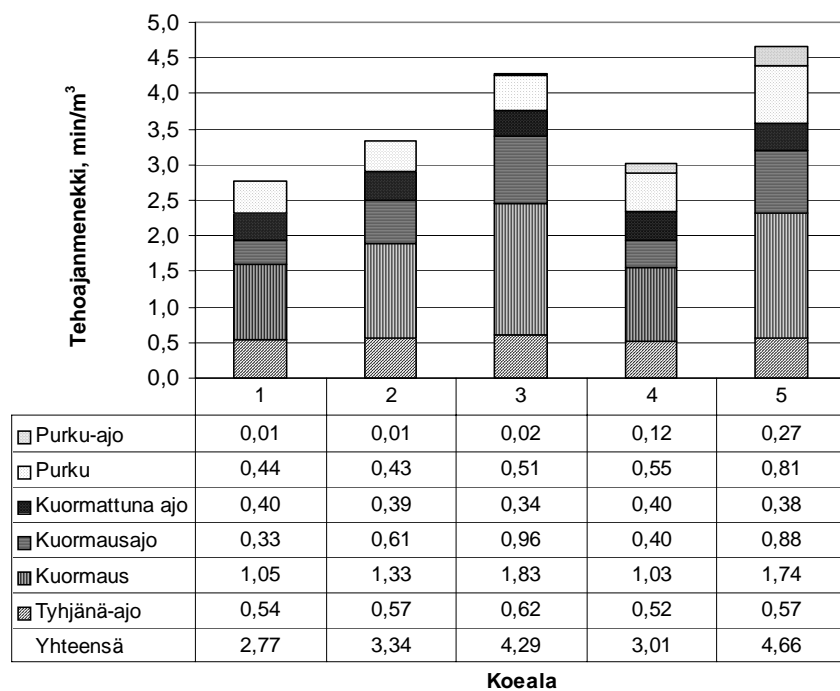
Kuitupuun lajittelu kahteen ositteeseen lisäsi tehoajanmenekkiä *koko mäntypuumäärälle* laskettuna 17 % (vrt. kuva 8, koealat 1 ja 2). Kun puutavaralajivalikoimaan lisättiin pikkutukki (koeala 3), kasvoi tehoajanmenekki 45 % verrattuna tavanomaiseen metsäkuljetukseen ja 24 % tyvikuidun erilläänpidon sisältävään metsäkuljetukseen. Koealoilla neljä ja viisi olivat käytössä samat puutavaralajit kuin koealoilla yksi ja kolme, mutta puusto oli järeämpää. Ero tehoajanmenekissä oli koealojen välillä 41 % eli hieman pienempi kuin ensimmäisessä vertailussa. Varastopaikkojen erilaiset olosuhteet verrattuna koealoihin yksi ja kolme näkyvät purkuajoajoissa.



Kuva 8. Metsäkuljetuksen tehoajanmenekki työvaiheittain mäntyharvennuksella (kaikki mäntypuutavaralajit ml. tukki).

Kun tarkastellaan erikseen vain lajittelun kohteena ollutta raaka-aineositetta, vaikutukset ovat odotetusti vielä selvemmat. Kuitupuun lajittelu kahteen ositteeseen lisäsi mäntykuitupuutavara-lajien metsäkuljetuksen tehoajanmenekkiä 20 % (vrt. kuva 9, koealat 1 ja 2). Pikkutukin lisääminen valikoimaan (koeala 3) kasvatti alle tukkipuukokoisten rungonosien tehoajanmenekkiä 54 % verrattuna lajittelemattoman kuitupuun metsäkuljetukseen ja 28 % lajitellun kuitupuun metsäkuljetukseen verrattuna.

Tehoajanmenekki koealalla viisi oli 55 % suurempi kuin koealalla neljä vastaten koealojen yksi ja kolme eroa. Toisto siis vahvisti ensimmäisillä koealoilla havaitun vaikutuksen. Purkuaajoissa näkyvät varastopaikkojen erilaiset olosuhteet verrattuna koealoihin yksi ja kolme.



Kuva 9. Metsäkuljetuksen tehoajanmenekki työvaiheittain mäntyharvennuksella (mäntypuutavaralajit pl. tukki).

Suurimmat erot tehoajanmenekissä syntyvät kuormauksessa ja kuormausajossa. Kuormauksen ajanmenekin kasvu puutavaralajien määrän lisääntyessä selittyy keskimääräisen taakan koon pienentymisellä ja kuormattavien taakkojen määrän lisääntymisellä puutavaralajitiheyden laskiessa (taulukko 3). Hakkuukoneenkuljettajan mahdollisuudet kompensoida kuormauspisteen puutavaralajeittaisen määrän pienentymistä ja säilyttää kasojen koko ennallaan niiden määrää vähentämällä ovat ainakin harvennushakkuussa rajalliset. Ylimääräiset järjestelyt näkyisivät myös hakkuukoneen ajanmenekin kasvuna.

Taakan koon pienentyminen ei näytä vaikuttavan taakka-aikaan merkittävästi (taulukko 4). Näin pienellä muutoksella taakka-ajassa ei pystytä kompensoimaan pienentyneestä taakan koosta aiheutuvaa kuormauksen ajanmenekin kasvua.

TAULUKKO 3 Taakan koko kuormauksessa mäntyharvennuksella. Koealoilla 1 ja 4 helpoin lajittelutaso, koealoilla 3 ja 5 vaikein lajittelutaso.

Puutavaralaji	Taakan koko, m ³				
	Koeala 1	Koeala 2	Koeala 3	Koeala 4	Koeala 5
Tukit	0,22	0,20	0,19	0,25	0,19
Pikkutukki			0,16		0,20
Järeä kuituosa		0,21	0,12		0,10
Pieni kuituosa		0,22	0,17		0,23
Kuitupuu	0,32			0,32	
Yhteensä	0,29	0,21	0,16	0,29	0,18

TAULUKKO 4 Taakan käsittelyaika kuormauksessa mäntyharvennuksella (kaikki mäntypuutavaralajit).

	Koeala 1	Koeala 2	Koeala 3	Koeala 4	Koeala 5
Taakka-aika, min	0,31	0,30	0,28	0,31	0,30

Kuormauspisteittäisen puutavaralajikohtaisen määrän lasku lisää täyteen kuormalliseen tarvittavien kuormauspisteiden määrää pidentäen kuormausajomatkaa ja kasvattaen kuormausajoajanmenekkiä (taulukot 5 ja 6). Sekakuormista johtuen kuormausajomatkaa ei pysty määrittämään puu- eikä puutavaralajeittain.

Kuorman koko vaikuttaa merkittävästi kuormattuna ja tyhjänä ajojen ajanmenekkiin. Kuormakoot laskettiin kuormausvaiheessa lasketun kuormattavien pölkkyjen lukumäärän ja pölkyn keskikoon mukaan. Työmaalla yksi kuormakoot vaihtelivat koealoittain taulukon 7 mukaisesti. Koealojen pienestä koosta johtuen on vajaakuormien osuus suuri. Vajaa- ja sekakuormina ajetuista kuormista johtuen ei kuormakokojen keskiarvoja ole mielekäästä verrata. Yksittäisistä kuormista olivat lajipuhtaita kuormia koealan yksi kolmas kuorma (kuitupuu) sekä koealan kaksi kuormat kaksi (pieni kuituosa) ja kolme (järeä kuituosa). Kuormien koossa eri kuitupuuositteiden välillä ei ole havaittavissa merkittäviä eroja.

TAULUKKO 5 Kuormauspisteen koko mäntyharvennuksella.

Puutavaralaji	Kuormauspisteen koko, m ³				
	Koeala 1	Koeala 2	Koeala 3	Koeala 4	Koeala 5
Tukit	0,41	0,32	0,22	0,41	0,26
Pikkutukki			0,21		0,28
Järeä kuituosa		0,37	0,15		0,14
Pieni kuituosa		0,39	0,27		0,35
Kuitupuu	0,64			0,57	
Yhteensä	0,56	0,37	0,22	0,50	0,26

TAULUKKO 6 Kuormausajomatka keskimäärin mäntyharvennuksella.

	Koeala 1	Koeala 2	Koeala 3	Koeala 4	Koeala 5
Kuormausajomatka, m	165	189	252	147	199

TAULUKKO 7 Kuormakoot keskimäärin mäntyharvennuksella.

Kuorma	Kuorman koko, m ³				
	Koeala 1	Koeala 2	Koeala 3	Koeala 4	Koeala 5
1	12,8	11,1	9,3	11,2	11,3
2	11,1	11,2	10,7	11,7	12,5
3	10,6	11,0	11,9	12,6	10,1
4	10,6	10,8	11,6	11,2	10,6
5	6,4	6,8	10,7	11,1	10,9
6				7,2	2,1

3.2.2 Työmaa 2

Toinen tutkimustyömaa oli kuusiharvennusta, jossa lähtöpuuston tiheys oli 1300 runkoa/ha. Poistuma oli 738 runkoa/ha ja kertymä 158 m³/ha. Poistettujen puuston keskijäreys oli 214 dm³.

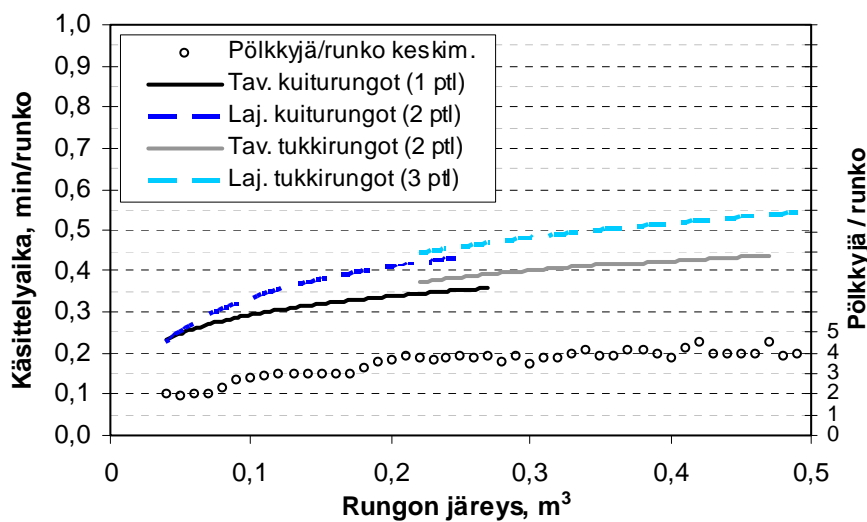
Työmaalla testattiin ensisijaisesti järeän (latvalpm > 12 cm) kuituosan erilläänpidon vaikutusta korjuutyön ajanmenekkiin. Kontrollimenetelmänä oli tavanomainen kahden puutavaralajin vaihtoehto (tukki + kuitu). Samalla saatiin tietoa tukin erilläänpidon vaikutuksesta hakkuun ajanmenekkiin.

- koeala 1: kontrolli (kuusitukki + kuusikuitupuu)
- koeala 2: järeän kuituosan erilläänpito (kuusitukki + järeä kuusikuitupuu + muu kuusikuitupuu)

3.2.2.1 Hakkuu

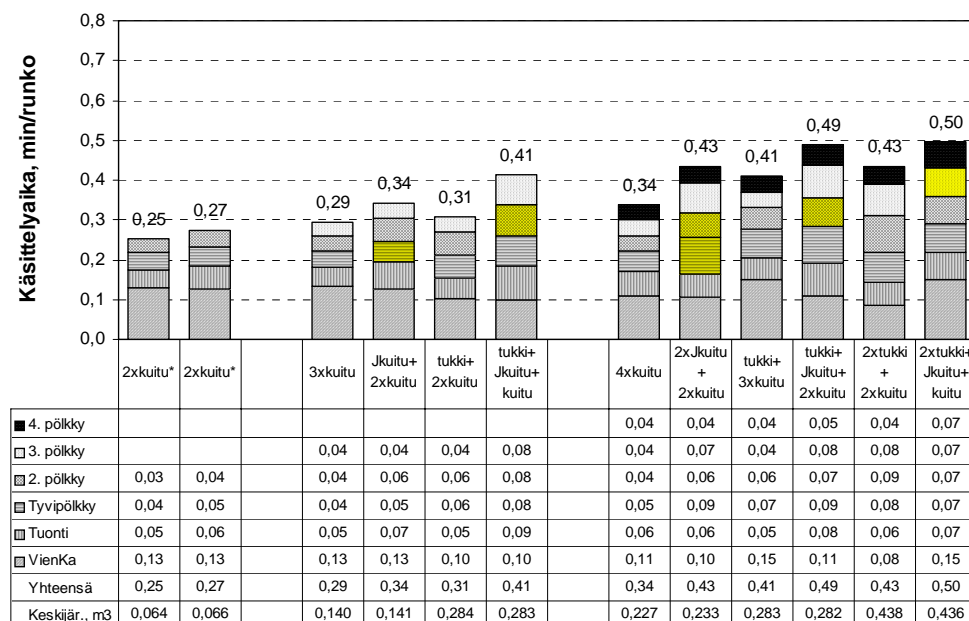
Järeän kuitupuun erilläänpito lisäsi rungon käsittelyajanmenekkiä sekä järjestelyitä ja häiriöitä yhteensä 20,7 %.

Pienimmistä (< 100 dm³) kuitupuurungoista saatiin lajittelutasosta riippumatta yleensä vain rajaläpimitan alittavaa kuusikuitupuuta ja lajittelutason vaikutus rungon käsittelyaikaan jäi pieneksi. Suuremmissa rungoissa esiintyi järeää kuituosaa ja sen lajittelu näkyi myös rungon käsittelyajanmenekissä. Järeimmissä kuiturungoissa lajittelu lisäsi ajanmenekkiä noin 20 %. 250 dm³:n järeysluokassa rungoista alkoi kertyä myös sahatukkeja. Pienimmät sahatukkirungot olivat noin 10 % hitaampia käsitellä kuin vastaavan kokoiset kuitupuuksi hakatut rungot. Ero toistui samantasoisena kuitupuun lajittelutasosta riippumatta. Kuitupuun lajittelun vaikutus käsittelyajanmenekkiin oli tukkirungoissa samaa tasoa kuin kuiturungoissa eli noin 20 %.



Kuva 10. Rungon järeiden ja rungoittaisen puutavaralajien määrän vaikutus käsittelyajanmenekkiin kuusiharvennuksella. Alimmaisena rungoittaisen pölkky määrän kuvaaja.

Ajanmenekin rakenne muuttui kuusikuitupuuta lajiteltaessa samaan tapaan kuin männyn tyvikuitupuuta erillään pidettäessä. Pääsääntöisesti vaikutus näkyi vasta siinä pölkkyssä, joka hakattiin erilleen edellisestä pölkystä ts. ensimmäisessä rajaläpimitan (latvalpm = 12 cm) alittavassa pölkkyssä. Latvapölkyn käsittelyaika oli riippumaton lajittelutasosta niissä rungoissa, joissa kaksi viimeistä pölkkyä kuuluivat samaan kuitupuuositteeseen. Järeimmässä vertailuparissa (n. 437 dm³:n rungot) havaintomäärä oli pieni mikä selittää tasoeron kaatoa edeltävien työvaiheiden ajanmenekissä. Lajittelulla ei liene käytännössä vaikutusta siihen (kuva 11).



Kuva 11. Kuusirunkojen käsittelyajanmenekki osavaiheittain kuusiharvennuksella. Vasemmalla kahden, keskellä kolmen ja oikealla neljän pölkyn rungot. Erikoispuutavaralajina järeä kuitupuu (= Jkuitu, korostettu keltaisella).

* Kahden pölkyn kuitupuurungot. Toinen pylväs koelalalta, jossa kuitupuu lajiteltiin.

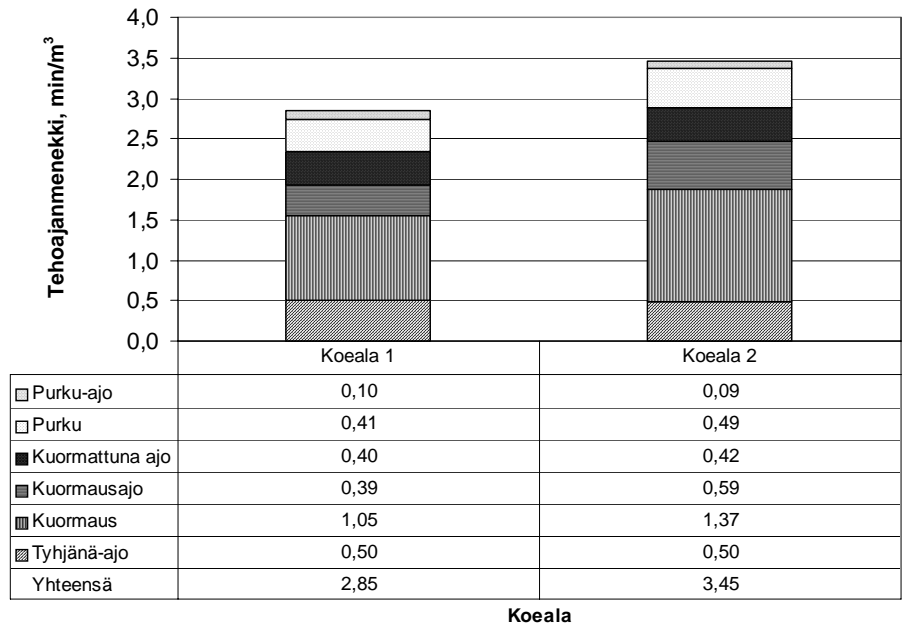
Havainnot työmaan 2 hakkuun aikatuokimuksesta:

- järeän kuusikuitupuun erilläänpito hidastaa hakkuuta kaikilla järeysalu-eilla
- erilläänpito lisää erilleen hakattavan kuitupuupölkyn ja sitä seuraavan pölkyn käsittelyajanmenekkiä yhteensä 0,02 - 0,07 min (n. 30 - 70 %) rungon järeydestä riippuen
- järjestelyn ja häiriöiden runkokohtainen ajanmenekki lisääntyy noin kolmanneksen (0,012 min/runko) järeää kuituosaa erillään pidettäessä

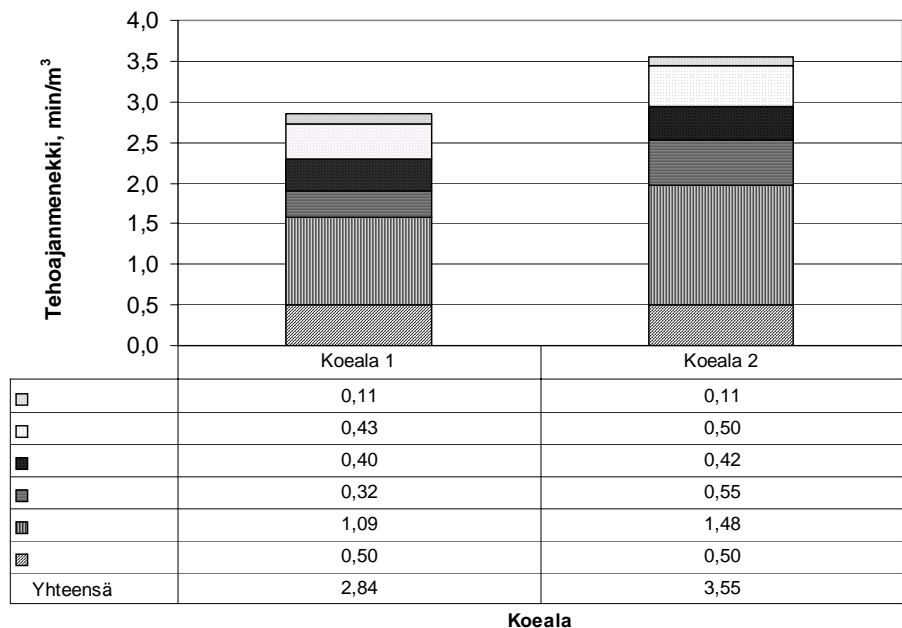
3.2.2.2 Metsäkuljetus

Kuusivaltaisella harvennuksella kuitupuun lajittelun vaikutus tehoajanmenekkiin vastasi hyvin mäntyharvennusta. Kuitupuun jakaminen kahteen ositteeseen lisäsi tehoajanmenekkiä *kaikille kuusipuutavaralajeille* laskettuna 21 % (kuva 12).

Kohdistettaessa lajittelun tehoajanmenekin lisäys ainoastaan *kuusikuitupuulle* sen tehoajanmenekki lisääntyy 25 % verrattuna lajittelemattomaan kuitupuuhun (kuva 13).



Kuva 12. Metsäkuljetuksen tehoajanmenekki työvaiheittain kuusiharvennuksella (kaikki kuusipuutavaralajit). Koealalla 2 toteutettu kuusikuitupuun järeyslajittelu.



Kuva 13. Metsäkuljetuksen tehoajanmenekki työvaiheittain kuusiharvennuksella (kuusikuitupuun). Koealalla 2 toteutettu kuusikuitupuun järeyslajittelu.

Taakan koko kuormauksessa pieneä kuusiharvennuksella koetyömaan yksi mäntyharvennusta vastaavasti. Kahteen ositteeseen lajiteltaessa taakan koko ei kuitenkaan puolittunut lajittelemattomasta, joten hakkuuvaiheessa oli – metsätraktorin työskentelyn helpottamiseksi – onnistuttu osittain kompensoidaan kasojen pienentymistä kasojen määrää vähentämällä.

TAULUKKO 8 Taakan koko kuormauksessa kuusiharvennuksella.
Koealalla 2 järeyslajittelu.

Puutavaralaji	Taakan koko, m ³	
	Koeala 1	Koeala 2
Tukit	0,32	0,28
Järeä kuituosa		0,20
Pieni kuituosa		0,19
Kuitupuu	0,30	
Yhteensä	0,31	0,23

Taakkakohtainen käsittelyaika kuormauksessa säilyi ennallaan lajitteluvasta riippumatta (taulukko 9).

Kuormauspisteittäiset puutavaralajikohtaiset määrät pienivät, kuten koetyömaalla yksi. Kuormausajomatka sen sijaan jopa laski hieman kuitupuun lajittelukoelalla (taulukot 10 ja 11). Keskimääräistä kuormausajomatkaa nostivat koealalla yksi olleen koivu- ja haapakuitupuun keräily.

TAULUKKO 9 Taakan käsittelyaika kuormauksessa kuusiharvennuksella
(kaikki kuusipuutavaralajit). Koealalla 2 järeyslajittelu.

	Koeala 1	Koeala 2
Taakka-aika, min	0,31	0,30

TAULUKKO 10 Kuormauspisteen koko kuusiharvennuksella.
Koealalla 2 järeyslajittelu.

Puutavaralaji	Kuormauspisteen koko, m ³	
	Koeala 1	Koeala 2
Tukit	0,47	0,47
Järeä kuituosa		0,28
Pieni kuituosa		0,27
Kuitupuu	0,62	
Yhteensä	0,56	0,33

TAULUKKO 11 Kuormausajomatka keskimäärin kuusiharvennuksella.
Koealalla 2 järeyslajittelu.

	Koeala 1	Koeala 2
Kuormausajomatka, m	137	120

Keskimääräinen kuitupuukuorma lajittelemattomasta kuitupuusta oli 10,6 m³ (kuormat 1 - 4). Järeän kuituosan lajipuhtaiden kuormien keskikoko oli 9,8 m³. Pienestä kuituosasta ei saatu lajipuhtaita kuormia. *Kuormaaminen ja kuorman muodostaminen pienestä kuituosasta muodostuvista pölkyistä on vaikeampaa verrattuna normaaliin kuitupuuhun.* Pienestä kuituosasta puutuvat taakkaa ja kuormaa ”sitovat”, järeät pölkyt.

TAULUKKO 12 Kuormakoot keskimäärin kuusiharvennuksella.
Koealalla 2 järeyslajittelu.

Kuorma	Kuorman koko, m ³	
	Koeala 1	Koeala 2
1	9,76	15,07
2	11,47	9,30
3	10,84	10,21
4	10,25	11,35
5	16,58	13,24
6	12,65	14,57
7		8,42
8		6,28

3.2.3 Työmaa 3

Kolmas tutkimustyömaa oli kuusen päätehakkuukohte, jossa poistuma oli 390 runkoa/ha ja kertymä 158 m³/ha. Poistetun puuston keskijäreys oli 405 dm³.

Lajittelukokeen kohteena oli edelleen kuusen järeän (latvalpm > 12 cm) kuituosan erilläänpidon vaikutus korjuutyön ajanmenekkiin. Kontrollimenetelmänä oli päätehakkuulle tyypillinen kolmen puutavaralajin (sorvitukki + sahatukki + kuitupuu) hakkuu.

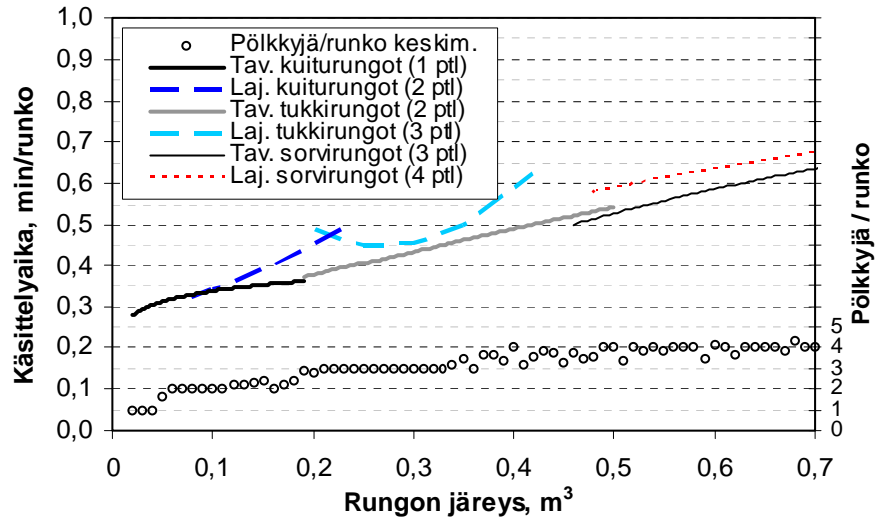
- koeala 1: kontrolli (kuusisorvi + kuusitukki + kuusikuitupuu)
- koeala 2: järeän kuituosan erilläänpito (kuusisorvi + kuusitukki + järeä kuusikuitupuu + muu kuusikuitupuu)

3.2.3.1 Hakkuu

Ensimmäisellä päätehakkuukohteella tyvikuitupuun lisääminen puutavaralajivalikoimaan lisäsi rungon käsittelyajanmenekkiä sekä järjestelyitä ja häiriöitä yhteensä keskimäärin 8,4 %.

Lajittelun vaikutus rungon käsittelyajanmenekkiin ei ollut yhtä selväpiirteinen kuin harvennuskohteilla. Esimerkiksi kuiturungoista tukkirunkoihin siirryttäessä ei esiintynyt selvää hyppäystä ajanmenekissä. Nyt järeimmistä rungoista voitiin valmistaa sahatukin lisäksi myös sorvitukkeja. Tämäkään lisäpuutavaralaji ei kasvattanut rungon käsittelyaikaa (vrt. kuva 14, alimmaisat kuvaajat).

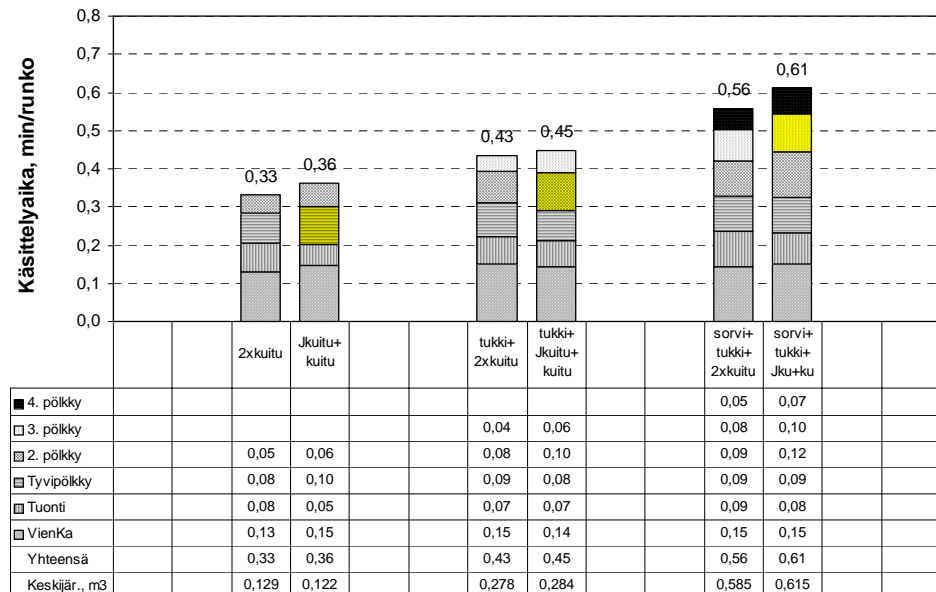
Järeän kuusikuitupuun erilläänpidon vaikutus ajanmenekkiin alkoi näkyä vasta hieman järeämissä kuiturungoissa. Tukkirungoissa järeän kuusikui-



Kuva 14. Rungon järeyden ja rungoittaisen puutavaralajien määrän vaikutus käsittelyajanmenekkiin järeällä päätehakkuulla. Alimmaisena rungoittaisen pölkky määrän kuvaaja.

tupuun erilläänpito vaikutti edelleen ajanmenekkiin mutta vaikutus riippui voimakkaasti rungon järeydestä. Hieman yli 300 dm³:n rungoissa ero jäi hyvin pieneksi mutta tätä pienemmissä ja suuremmissa rungoissa lajittelu lisäsi selvästi ajanmenekkiä. Sorvitukkirungoissa vaikutus oli järeydestä riippumatta alle 10 %:n tasoa (kuva 14).

Lajittelun vaikutus rungon käsittelyajanmenekin rakenteeseen poikkesi harvennustyömailla havaitusta vaikutuksesta. Lisäajanmenekki kohdistui nyt selkeämmin järeän kuituosan pölkkyihin kun taas harvennuksella vaikutus näkyi vasta seuraavassa pölkkyssä. Kysymys lienee siitä, että päätehakkuulla pystyyn jäävät puut eivät haittaa lajittelua, ja hakkuulaitteen siirtely kasalta toiselle käy joutuisammin (kuva 15).



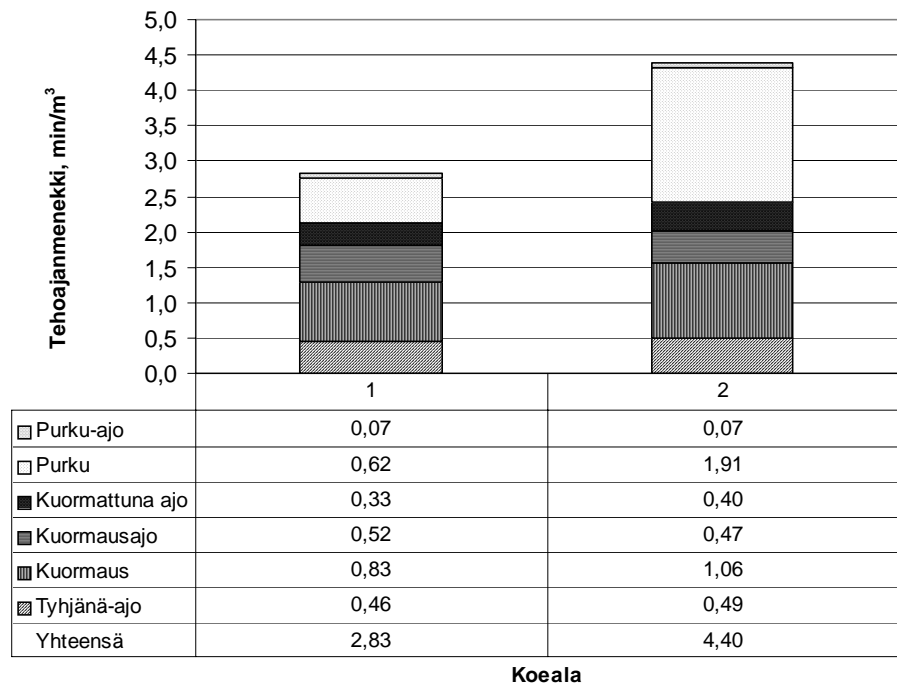
Kuva 15. Runkojen käsittelyajanmenekki osavaiheittain järeällä päätehakkuulla. Erikoispuutavaralajina järeä kuitupuuta (= Jkuitu, korostettu keltaisella)

Havainnot työmaan 3 hakkuun aikatutkimuksesta:

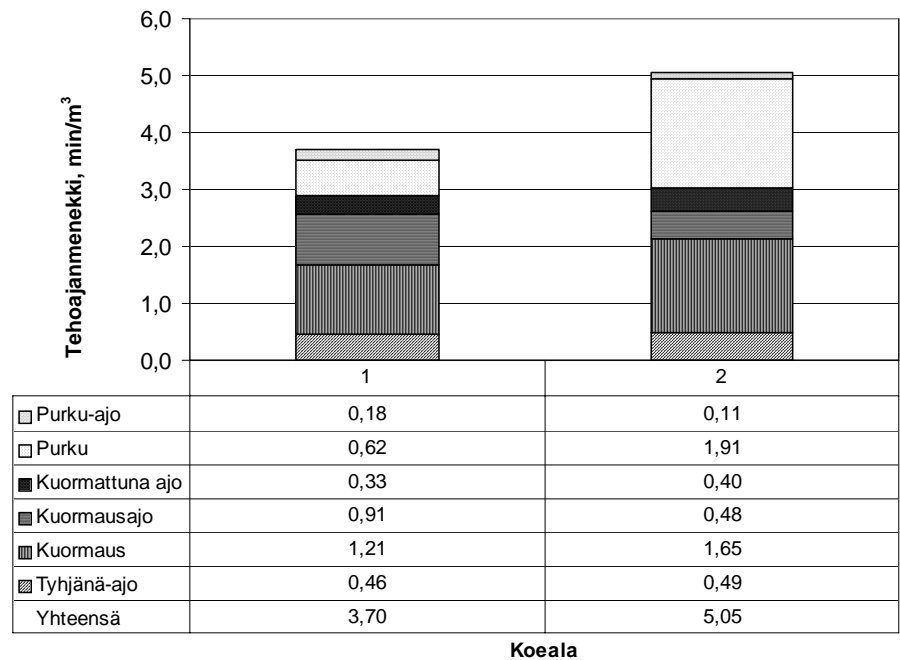
- järeän kuusikuitupuun erilläänpidon vaikutus hakkuun ajanmenekkiin ei ole yhtä selväpiirteinen kuin harvennuksella
- erilläänpito lisää erilleen hakattavan kuitupuupölkyn ja sitä seuraavan pölkyn käsittelyajanmenekkiä keskimäärin 0,03 - 0,04 min (alle 10 %)
- lajittelulla ei ole selvää vaikutusta muiden rungon osien ja työvaiheiden ajanmenekkiin

3.2.3.2 Metsäkuljetus

Metsäkuljetusta suoritti kaksi eri kuljettajaa. Toinen kuljettaja ajoi kuitupuun lajittelun käsittäneen koealan kaksi viimeistä kuormaa. Kuljettajien työtapaa, sekakuormina ajo, aiheutti erittäin suuren purkamisen ajanmenekin kasvun. Tulokset ovat tältä osin tapauskohtaisia eivätkä ole yleistettävissä toisenlaista ajotapaa käyttäville kuljettajille.



Kuva 16. Metsäkuljetuksen tehoajanmenekki työvaiheittain järeällä päätehakuulla (kaikki kuusipuutavaralajit). Koealalla 2 toteutettu kuusikuitupuun järeyslajittelu.



Kuva 17. Metsäkuljetuksen tehoajanmenekki työvaiheittain järeällä päätehakuulla (kuusikuitupuu). Koealalla 2 toteutettu kuusikuitupuun järeyslajittelu.

TAULUKKO 13 Taakan koko kuormauksessa järeällä päätehakuulla. Koealalla 2 järeyslajittelu.

Puutavaralaji	Taakan koko, m ³	
	Koeala 1	Koeala 2
Tukit	0,45	0,40
Lajiteltu kuitupuu		0,22
Lajittelematon kuitupuu	0,29	
Yhteensä	0,40	0,31

TAULUKKO 14 Taakan käsittelyaika kuormauksessa järeällä päätehakuulla (kaikki kuusipuutavaralajit). Koealalla 2 järeyslajittelu.

	Koeala 1	Koeala 2
Taakka-aika, min	0,32	0,32

TAULUKKO 15 Kuormauspisteen koko järeällä päätehakuulla. Koealalla 2 järeyslajittelu.

Puutavaralaji	Kuormauspisteen koko, m ³	
	Koeala1	Koeala2
Tukit	0,82	0,76
Lajiteltu kuitupuu		0,59
Lajittelematon kuitupuu	0,46	
Yhteensä	0,70	0,69

TAULUKKO 16 Kuormausajomatka keskimäärin järeällä päätehakuulla. Koealalla 2 järeyslajittelu.

	Koeala 1	Koeala 2
Kuormaus-ajomatka, m	171	137

TAULUKKO 17 Kuormakoot järeällä päätehakuulla. Koealalla 2 järeyslajittelu.

Kuorma	Kuorman koko, m ³	
	Koeala 1	Koeala 2
1	15,58	13,49
2	13,89	15,99
3	16,43	11,12
4	14,54	11,94
5	16,63	6,46
6	11,73	13,08
7	9,35	12,45
8	9,62	

3.2.4 Työmaa 4

Viimeinen tutkimustyömaa oli edellisen tavoin kuusen päätehakuukohte, jossa poistuma oli 800 runkoa/ha ja kertymä 139 m³/ha. Poistetun puuston keskijäreys oli 174 dm³.

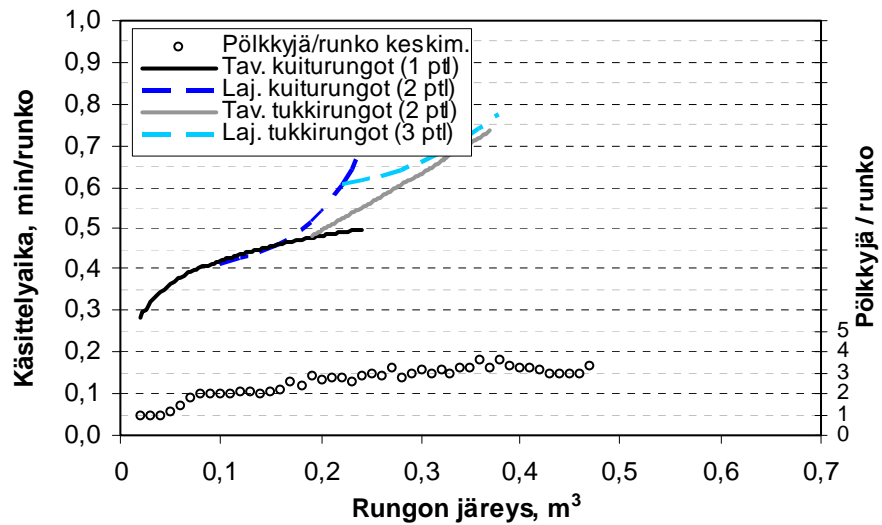
Tällainen tiheä, pienirunkoinen päätehakuukohte on otollinen kuitupuun lajittelulle, koska kuiturunkojen osuus puustosta nousee suureksi. Lajittelukohteen kohteena oli myös tällä työmaalla kuusen järeän (latvalpm > 12 cm) kuituosan erilläänpito. Koska keskijäreys jäi alle puoleen edelliseen työmaahan nähden, sorvitukia ei kertynyt kuin muutamia pölkyjä eikä sen erilläänpidosta saatu lisäinformaatiota. Kontrollimenetelmänä oli siis kahden puutavaralajin (sahatukki + kuitupuu) hakkuu aivan kuten kuusiharvennuksellakin (työmaa 2).

- koeala 1: kontrolli (kuusitukki + kuusikuitupuu)
- koeala 2: järeän kuituosan erilläänpito (kuusitukki + järeä kuusikuitupuu + muu kuusikuitupuu)

3.2.4.1 Hakkuu

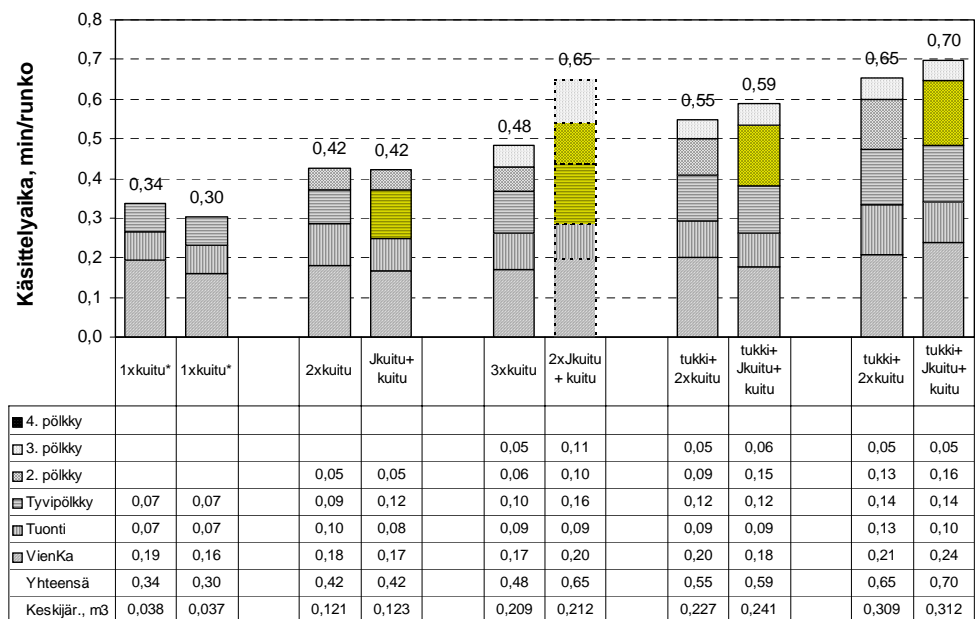
Tyvikuitupuun lisääminen puutavaralajivalikoimaan lisäsi rungon käsittelyajanmenekkiä sekä järjestelyitä ja häiriöitä yhteensä 4,7 %.

Tällä päätehakuukohteella lajittelun vaikutusmekanismi toistui täysin samanlaisena kuin järeällä päätehakuukohteella (työmaa 3) vaikkakin ajanmenekin taso oli korkeampi. Järeän kuituosan lajittelun vaikutus alkoi näkyä vasta järeämissä kuitupuurungoissa ja vaikutus kääntyi laskuun tukkirungoissa.



Kuva 18. Rungon järeyden ja rungoittaisen puutavaralajien määrän vaikutus käsittelyajanmenekkiin pienirunkoisella päätehakuulla. Alimmaisena rungoittaisen pölkymäärän kuvaaja.

Myös ajanmenekin rakenne muuttui lajittelun vaikutuksesta samaan tapaan kuin järeällä päätehakuukohteella. Vaikutus kohdistui ensisijaisesti itse lajiteltavaan rungon osaan eli järeään kuitupuupölkkyyn.



Kuva 19. Runkojen käsittelyajanmenekki osavaiheittain pienirunkoisella päätehakuulla. Erikoispuutavaralajina järeä kuusi-kuitupuun (= Jkuitu, korostettu keltaisella). Keskimmaisessä vertailuparissa lajiteltujen runkojen lukumäärä pienehkö.

* Yhden pölkyn kuitupuurungot. Toinen pylväs koelalta, jossa kuitupuun lajiteltiin.

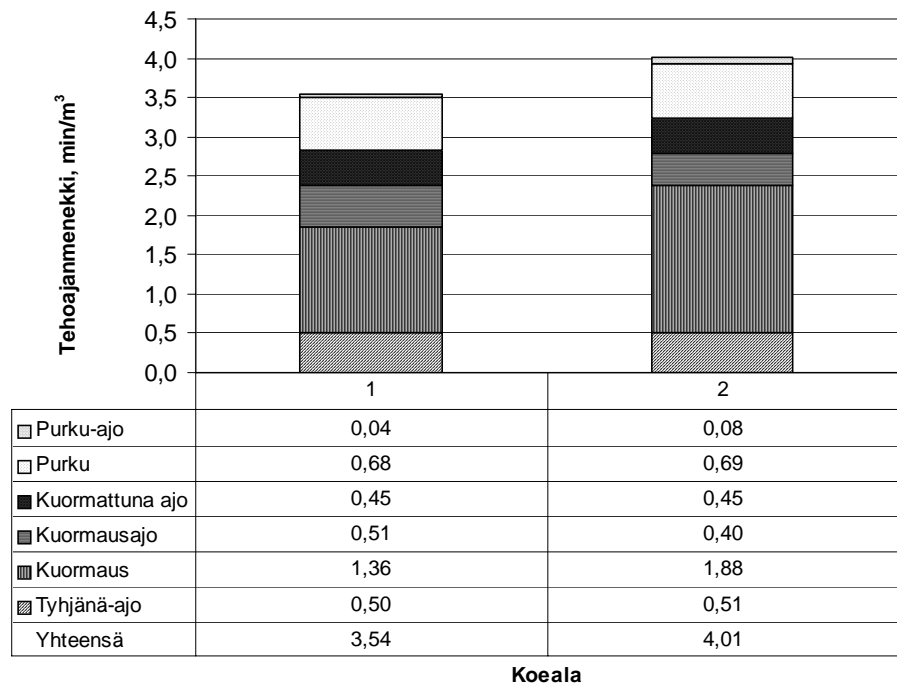
Havainnot työmaan 4 hakkuun aikatutkimuksesta:

- lajittelun vaikutus ei näy pienimmissä kuiturungoissa, joista ei kerry järeää kuituosaa ts. puutavaralajikohtaisen ajouranvarsitiheyden lasku (=> kasat harvemmassa) ei vaikuta ajanmenekkiin
- järeäksi kuitupuuksi lajiteltavan pölkyn käsittelyyn kuluu 0,03 - 0,06 min (noin kolmannes) enemmän aikaa kuin tavanomaisesti kuitupuuksi hakattaessa
- lajittelulla ei ole selvää vaikutusta muiden rungon osien ja työvaiheiden ajanmenekkiin

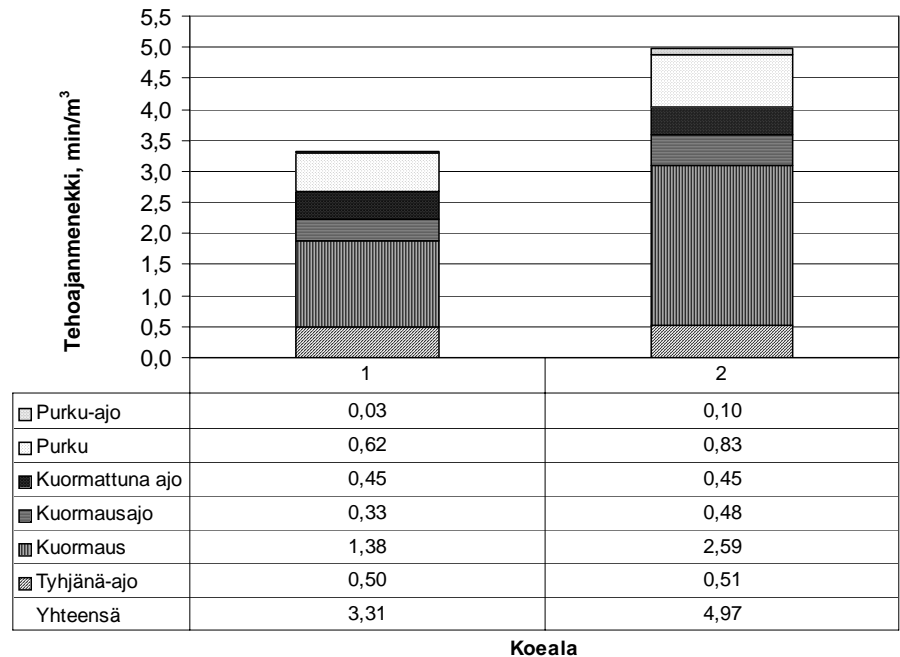
3.2.4.2 Metsäkuljetus

Kuusivaltaisella avohakkuulla kuitupuun lajittelu kahteen ositteeseen lisäsi kaikkien kuusipuutavaralajien yhteenlaskettua tehoajanmenekkiä 13 % (kuva 20).

Kuusikuitupuulle kohdistettu tehoajanmenekki nousi lajittelun myötä 50 % (kuva 21). Kuormauksen tehoajanmenekki lähes kaksinkertaistui. Kuormauksen tehoajanmenekkiä nosti järeiden kuitukappaleiden pieni kertymä ja siitä johtunut pieni taakan koko järeän kuitupuun kuormauksessa.



Kuva 20. Metsäkuljetuksen tehoajanmenekki pienirunkoisella päätehakkuulla (kaikki kuusipuutavaralajit). Koealalla 2 toteutettu kuitupuun järeyslajittelu.



Kuva 21. Metsäkuljetuksen tehoajanmenekki pienirunkoisella päätehakuulla (kuusikuitupuu). Koealalla 2 toteutettu kuitupuun järeyslajittelu.

Taakan koko kuormauksessa pieneni muita koetyömaita vastaavasti. Puuston rakenteesta johtuen erityisesti järeämpien kuitukappaleiden kuormauksessa taakan koko jäi pieneksi.

Keskimääräinen taakka-aika kasvoi n. 10 % kuitupuun lajittelukoelalla (taulukko 19).

TAULUKKO 18 Taakan koko kuormauksessa pienirunkoisella päätehakuulla.

Puutavaralaji	Taakan koko, m ³	
	Koeala 1	Koeala 2
Tukit	0,31	0,41
Järeä kuituosa		0,16
Pieni kuituosa		0,34
Kuitupuu	0,40	
Yhteensä	0,36	0,28

TAULUKKO 19 Taakan käsittelyajat pienirunkoisella päätehakuulla (kaikki kuusipuutavaralajit).

	Koeala 1	Koeala 2
Taakka-aika, min	0,47	0,52

Kuormauspisteittäiset puutavaralajikohtaisen määrät pienivät kuitupuulla samoin kuin muilla työmailla. Koealan kaksi tukin määrä oli suurempi kuin koealalla yksi, mikä selittää tukin kuormauspisteittäisen kertymän selvän kasvun. Kuormausajomatka nousi hieman kuitupuun lajittelukoelalla (taulukko 21).

TAULUKKO 20 Kuormauspisteen koko pienirunkoisella päätehakkuulla.

Puutavaralaji	Kuormauspisteen koko, m ³	
	Koeala 1	Koeala 2
Tukit	0,46	0,92
Järeä kuituosa		0,33
Pieni kuituosa		0,62
Kuitupuu	0,96	
Yhteensä	0,68	0,58

TAULUKKO 21 Kuormausajomatka keskimäärin pienirunkoisella päätehakkuulla.

	Koeala 1	Koeala 2
Kuormausajomatka, m	104	110

Keskimääräinen kuitupuukuorma lajittelemattomasta kuitupuusta oli 10,9 m³ (kuormat 1-2). Lajitellusta kuitupuusta ei lajipuhaita kuormia saatu.

TAULUKKO 22 Kuormakoot työmaalla 4 koealoittain.

Kuorma	Kuorman koko, m ³	
	Koeala 1	Koeala 2
1	10,69	11,65
2	11,19	9,85
3	12,05	11,05
4	7,20	12,70
5	2,67	10,81

4 TULOSTEN TARKASTELU

4.1 Kyselytutkimus

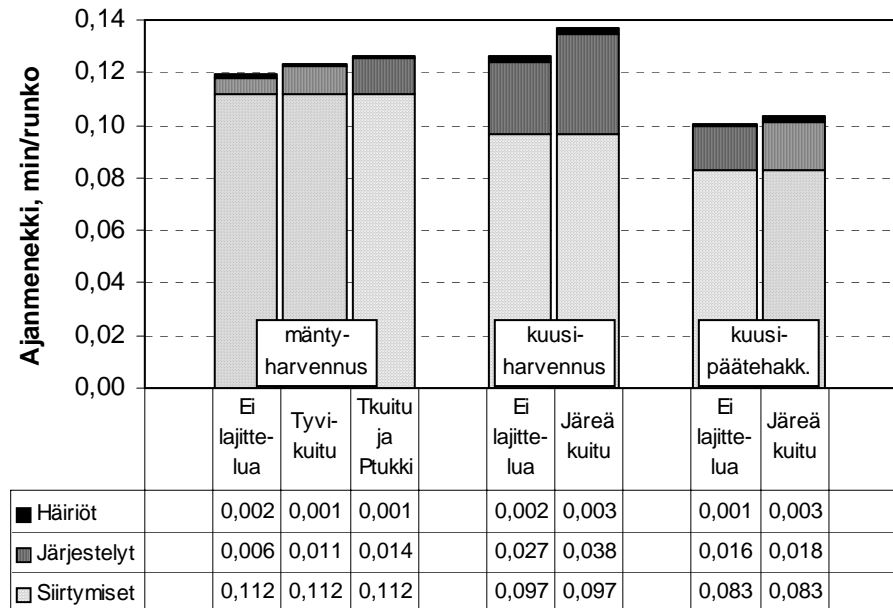
Kyselytutkimus vahvisti ennakkokäsitystä siitä, että puutavaralajivalikoimissa on melko suuria alueellisia eroja. Usean eri tuotantolaitoksen vaikutusalueella sijaitsevilla organisaatioilla lukumäärät ovat yleensä suurimmillaan. Hienoisena yllätyksenä ja samalla puunhankintalogistiikan onnistumisen osoituksena voidaan pitää sitä, että työmaittain toteutuvien puutavaraerien lukumäärät ovat pysyneet puutavaralajivalikoiman laajuudesta riippumatta kohtuullisina. Tämä merkinnee samalla sitä, ettei puutavaralajivalikoiman lisääntyminen johda aina välttämättä puutavaraerien keskikoon pienenemiseen. Riittävä eräkkoko on keskeinen tekijä kaukokuljetusvaiheen kustannusten hillitsemisessä. Eräkkoko vaikuttaa ajouravarsitiheyden kautta myös metsäkuljetuskustannuksiin.

4.2 Aikatutkimus

4.2.1 Hakkuu

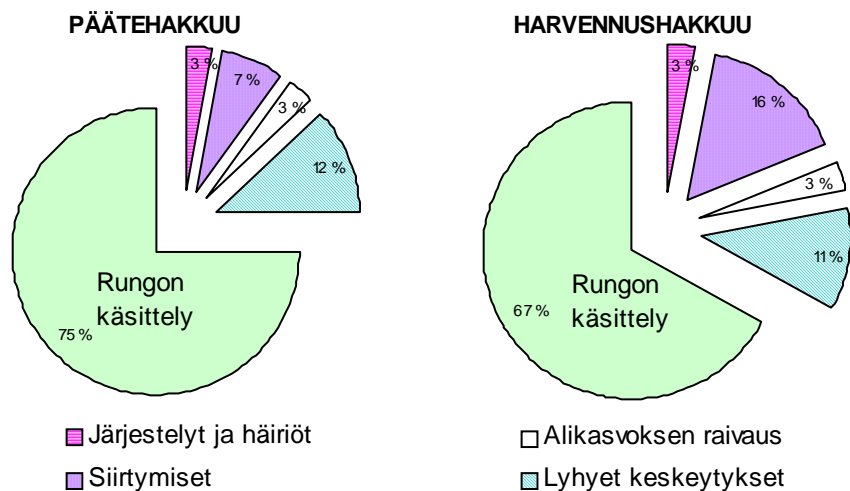
Hakkuun aikatutkimus tuotti melko hyvän käsityksen lajittelun vaikutuksesta rungon käsittelyajanmenekkiin, joka edustaa kuitenkin vain osaa hakkuukoneen kokonaisajanmenekistä. Kun lähdetään arvioimaan lajittelun vaikutusta hakkuukustannuksiin, on tarkastelun lähtökohtana oltava käyttöajanmenekki (käyttötuntia/m³). Käyttöaikaan sisältyy rungon käsittelyajan lisäksi sellaisia työvaiheita, joita ei voida kohdistaa tiettyyn rungon kokoluokkaan tai runkotyyppiin. Tällaisia työvaiheita ovat mm. järjestelyt ja häiriöt, siirtymiset, alikasvoksen raivaus ja lyhyet (< 15 min) keskeytykset.

Siirtymisten, häiriöiden ja järjestelyjen ajanmenekkeihin viitattiin osin jo työmaakohteisissa tuloksissa. Tulokset on koottu kuvaan 22. Siirtymiset oletettiin lajittelutasosta riippumattomaksi työvaiheeksi ja niiden määrä vakioitiin hakkuutavan sisällä. Lajittelun vaikutus apuaikoihin oli hyvin pieni mutta johdonmukainen. Suurimmillaan vaikutus oli kuusiharvennuksella ja sieläkin vain 0,01 minuutin (puolen sekunnin) luokkaa runkotasolla.



Kuva 22. Siirtymisten, järjestelyjen ja häiriöiden ajanmenekit hakkuutavoittain. *Siirtymiset vakioitu* lajittelutasojen välillä.

Alikasvoksen raivauksen ja lyhyiden keskeytysten ajanmenekki ei ehdi vakiintua lyhyehkön aikatutkimusjakson aikana eikä niillä ole oletettavasti riippuvuutta lajittelutasoon. Ne määritettiin vakiotasoisina aiempiin, laajempiin aineistoihin perustuviin tuottavuustutkimuksiin nojautuen. Käytännössä tämä tapahtui niin, että *tavanomaisesti hakattujen* koalojen ajanmenekkeihin lisättiin laskennallisesti alikasvoksen raivausta ja lyhyitä keskeytyksiä niin, että ajanmenekin suhteellinen rakenne saatiin vastaamaan aiemmissä tutkimuksissa todettua käyttöajanmenekin rakennetta (kuva 23). *Lajitelluille* koaloille lisättiin sama absoluuttinen määrä (min/m^3) näiden työvaiheiden ajanmenekkiä.



Kuva 23. Hakkuukoneen käyttöajan rakenne aiempien tutkimusten mukaan.

Lajittelun vaikutuksen oletettiin siis kohdistuvan rungon käsittelyyn sekä järjestelyihin ja häiriöihin. Nämä komponentit kattavat päätehakuussa 78 % ja harvennushakuussa 70 % hakkuukoneen käyttöajasta. Kun tälle osuudelle kohdistettiin kenttäkokeessa havaitut lisäajanmenekit, päästiin selvyteen lajittelun vaikutuksesta käyttöajanmenekkiin ja kustannuksiin.

Taulukossa 23 on esitetty, kuinka kenttäkokeissa havaitusta ajanmenekin kasvusta johdettiin keskimääräinen (C) ja yksin kuitupuulle kohdistettu kustannusvaikutus (E).

TAULUKKO 23 Kuitupuun lajittelusta aiheutuvien lisäkustannusten määrittäminen työmaittain.

	Kaava		Työmaa			
			1	2	3	4
Lajittelun vaikutus rungon käsittelyyn, järjestelyihin ja häiriöihin, %		A	2,2	20,7	8,4	4,7
Näiden osuus käyttöajasta, %		B	70	70	78	78
Vaikutus käyttöajanmenekkiin = vaikutus hakkuukustannuksiin, %	$=B/100 \cdot A$	C	1,5	14,5	6,6	3,7
Kuitupuun osuus kertymästä, %		D	69	63	28	57
Lisäkustannukset kuitupuulle kohdistettuina, %	$=100/D \cdot C$	E	2,2	23,0	23,4	6,5

Tutkimuksessa saatiin kokemusta myös siitä, millaisia vaikutuksia kuitupuuta arvokkaampien rungonosien erottamisella on hakkuuseen. Yleisesti voidaan vetää se johtopäätös, että ”erikoistukkien” (pikkutukki, sahatukki, sorvi) erilläänpito lisää hakkuun ajanmenekkiä ja edelleen kustannuksia. Vaikutuksia on kuitenkin vaikea yleistää. Mitä järeämpien rungonosien erilläänpidosta on kysymys, sitä helpommin esimerkiksi laadun huomioimiseen kuluva aika limittyy rungon muutenkin hitaampaan käsittelyyn ja vaikutuskin siten pienenee. Pikkutukin erilläänpito lienee tämän perusteella kaikkein epäedullisinta.

4.2.2 Metsäkuljetus

Harvennuskohteissa aikatutkimuksen tulokset osoittivat selvästi metsäkuljetuksen tehoajanmenekin riippuvuuden kuitupuutavaralajien määrästä. Kahdelta avohakkuukohteelta saadut tulokset poikkeavat sen sijaan huomattavasti toisistaan. Niistä ensimmäisellä (työmaa 3, sekakuormina ajo) työteknikka oli niin poikkeava ja epäedullinen, että se jätettiin jatkotarkastelujen ulkopuolelle.

Harvennuskohteilla tehoajanmenekin lisäys jaettaessa kuitupuu kahteen osaan oli koko pääpuulajin puumäärälle laskettuna 17 % - 21 %. Päätehakuukohteilla lisäys oli 13 - (60) %. Metsätehon aiempien aikatutkimusten mukaan alle 15 minuutin keskeytysten osuus käyttöajasta on noin 8 %. Kun oletetaan, ettei lajittelulla ole vaikutusta lyhyiden keskeytysten osuuteen, yhden kuitupuutavaralajin lisäys puutavaralajivalikoimaan lisää käyttöajanmenekkiä tämän tutkimuksen perusteella keskimäärin noin 12 - 19 %. Kuitupuulle kohdistettuna tämä merkitsee noin 20 - 30 % kustannuspainetta metsäkuljetuksen yksikkökustannuksiin. (Työmaan 3 tulokset ovat mukana taulukossa 24, mutta tulosta voidaan pitää poikkeuksellisena.)

TAULUKKO 24 Kuitupuun lajittelusta aiheutuvien lisäkustannusten määrittäminen työmaittain.

	Kaava		Työmaa			
			1	2	3	4
Lajittelun vaikutus tehoajanmenekkiin, %		A	17,0	21,0	60,0	13,0
Tehoajan osuus käyttöajasta, %		B	92	92	92	92
Vaikutus käyttöajanmenekkiin = vaikutus hakkuukustannuksiin, %	=B/100 • A	C	15,6	19,3	55,2	12,0
Kuitupuun osuus kertymästä, %		D	69	63	28	57
Lisäkustannukset kuitupuulle kohdistettuina, %	=100/D • C	E	22,7	30,7	197,1	21,0

4.2.3 Puun toimitusketjun kustannustarkastelu

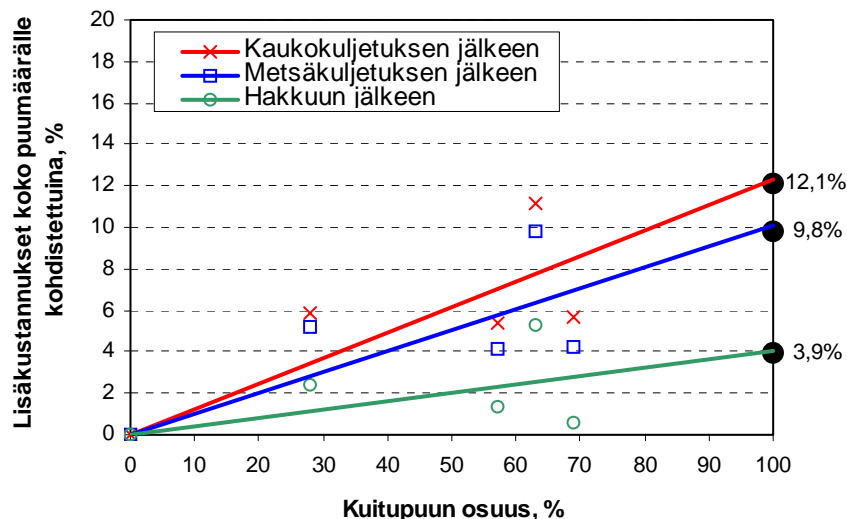
Tässä tutkimuksessa tuotettiin perusteita hakkuun ja metsäkuljetuksen yhteydessä tapahtuvan lajittelun kustannusvaikutuksille. Kaukokuljetusvaiheen kustannusvaikutuksia voidaan tarkastella aiempiin tutkimustuloksiin tukeutuen. Seuraavassa esitetään yhteenveto näistä kolmesta toimitusketjun osavaiheesta. Lajittelulla saattaa olla vaikutuksia myös osto- ja työnjohtokustannuksiin ja ennen kaikkea puutavaran mittauksen kustannuksiin mutta niihin ei tässä yhteenvedossa puututa.

Kuvassa 24 on esitetty arvio siitä, mihin lajittelusta aiheutuvat lisäkustannukset tämän tutkimuksen perusteella asettuisivat, jos kuitupuulla alettaisiin soveltaa esim. järeyteen tai pölkyn sijaintiin perustuvaa lajittelua (2 ositetta). Kustannukset on esitetty koko puumäärälle kohdistettuina ja *suhteutettuina kaikkien kolmen käsittelyvaiheen kokonaiskustannuksiin*.

Kustannusvaikutusta määriteltäessä tehtiin seuraavat oletukset:

- korjuuvaiheen kustannukset kasvavat samassa suhteessa kuin käyttöajanmenekki lajittelutasoa nostettaessa
- eri käsittelyvaiheiden (hakkuu, metsäkuljetus, kaukokuljetus) kustannustasot ja -osuudet ovat vuoden 2001 tilastojen mukaiset (Metsäteho-lehti 1/2002)
- lajittelun vaikutus ei riipu hakkuutavasta
- lajiteltavan kuitupuun osuus vaikuttaa lineaarisesti keskimääräiseen kustannustasoon
- kaukokuljetuksessa yksittäistä kuitupuukuormaa noudettaessa joudutaan käymään normaalitasoon nähden kaksinkertainen määrä välivarastoja läpi. Toisin sanoen se osuus kuormista, joka normaalisti saadaan täyteen yhdeltä varastolta, edellyttää nyt kahta välivarastopysähdystä, ja aiemmin kahdelta välivarastolta kootut kuormat kootaan nyt neljältä välivarastolta.

Alimmainen kolmesta suorasta kuvaa kustannusvaikutusta hakkuun jälkeen, keskimäinen metsäkuljetuksen jälkeen ja ylimmäinen kaukokuljetusvaiheen jälkeen. Suorat on asetettu aikatutkimuksessa kerättyjä havaintoja hyväksi käyttäen. (Työmaan 3 epäonnistuneen metsäkuljetuskokeilun havainto on korvattu muiden työmaiden tuloksista johdetulla arvolla.)



Kuva 24. Lajittelun laskennallinen vaikutus puunkorjuun ja kuljetuksen *kokonaiskustannuksiin*, kun kuitupuua lajitellaan kahden eri ositteeseen. Oikeassa reunassa kustannusvaikutukset kuitupuuositteelle kohdistettuina (= kuitupuun osuus 100 %).

Suora osoittaa siis sen tason, johon keskimääräiset lisäkustannukset korkeimmillaan asettunevat kun kustannukset jaetaan koko hakkuukertymälle ja suhteutetaan toimitusketjun kokonaiskustannuksiin. Kun lisäkustannukset jaetaan yksin lajittelun kohteena olevalle kuitupuulle tai kuitupuun osuus nousee 100 %:iin, lisäkustannukset koostuvat kuvan oikeassa reunassa esitetyllä tavalla. Työmaakohtaisten havaintojen hajonnasta johtuen keskimääräinen taso jää osittain epävarmaksi. Suuruusluokasta ja eri työvaiheiden osuudesta lisäkustannuksissa saataneen kuitenkin oikea käsitys.

Tässä kustannustarkastelussa ei huomioitu hakkuukoneen ja metsätraktorin muodostamassa ketjussa vallitsevaa epätasapainoa. Harvennushakkuussa pullonkaulana on tyypillisesti hakkuukone ja päätehakkuussa ainakin joskus metsätraktori. Jos epätasapaino on pidempiaikaista ja johtaa koneen tarpeettomaan seisottamiseen, vajaakuormitetulle yksikölle suunnattava lisätyö ei välttämättä lisää kustannuksia ajanmenekin kasvun osoittamassa suhteessa koska kiinteät kustannukset jakautuvat aiempaa suuremmalle volyyymille.

Edellä esitettyä kustannustarkastelu osoittaa, että kuitupuun lajittelusta aiheutuvat lisäkustannukset olisivat noin 12 prosenttia. Vuoden 2001 keskimääräisellä hakkuun, metsäkuljetuksen ja kaukokuljetuksen kustannustasolla ($5,03 + 3,25 + 5,38 \text{ €/m}^3$) koko toimitusketjun yksikkökustannukset nousisivat keskimäärin noin 1,65 € (9,80 mk). Lajittelun yleistyessä työtavat ja tekniset ratkaisut kehittyisivät ja puunkorjuun tuottavuus paransi tutkimustilanteen tasoon verrattuna. Oletus kaukokuljetusvaiheen välivarastopysähdysten tuplaantumisesta on pessimistinen. Käytännössä näin jyrkkää lisäystä tuskin tapahtuisi. Kuljetuksenohjaustoimenpitein ja kohdentamalla lajittelu kertymältään suurehkoille työmaille keräilyajon lisääntyminen pysyisi kohtuullisena. Jos erikseen lajitellut kuitupuuositteet toimitettaisiin vielä samalle tuotantolaitokselle, vaikutus jäisi edelleen pienemmäksi. Kaiken kaikkiaan tässä esitettyjä lisäkustannuksia voidaan pitää maksimitasona, jota ei

todennäköisesti tultaisi käytännössä ylittämään. Jos lajittelulla saavutetut hyödyt voidaan osoittaa nyt esitettyä tasoa suuremmiksi, sitä voidaan pitää kannattavana toimenpiteenä.

Tämä tutkimus keskittyi kuitupuun lajitteluun, mutta siinä saatiin viitteitä myös yleisemmin lisäpuutavaralajien vaikutusmekanismista puunkorjuun ajanmenekkiin ja kustannuksiin. Ainakin metsäkuljetuksen osalta voidaan jatkossa tarkastella laskennallisestikin minkä tahansa lisäpuutavaralajin vaikutusta kustannuksiin. Hakkuussa tilanne ei ole yhtä selkeä, koska vaikutusmekanismi on monimutkaisempi.

Tässä tutkimuksessa lisäkustannukset kohdennettiin koko kuitupuuositteelle. Tämä kohdennusperiaate ei sovellu kaikkiin lajittelutarkasteluihin. Esimerkiksi pikkutukkia erilleen lajiteltaessa kaikki lisäkustannukset voisi olla perusteltua kohdistaa ko. erikoispuutavaralajille.

4.2.4 Tulosten luotettavuus

Kaikilla tutkimuskohteilla oli eri kone ja/tai eri kuljettaja. Kuljettajakohtaisten erojen johdosta tuloksia voidaan verrata vain koetyömaiden sisällä. Koetyömaiden välisessä tehoajanmenekissä oli suuria eroja, mikä saattoi johtua paitsi erilaisista olosuhteista myös kuljettajien välisistä eroista. Vaikka tutkimuskohteiksi pyrittiin valitsemaan lajitteluun tottuneita kuljettajia, he olivat harjaantumattomia näin pitkälle menevään *kuitupuun* lajitteluun. Pitempiaikaisessa lajittelutyöskentelyssä harjaantuminen ja oikeiden työtapojen omaksuminen todennäköisesti nopeuttaisi työskentelyä ainakin metsäkuljetuksessa.

4.3 Korjuukaluston kehityspotentiaali

Tutkimuksen kuluessa tehtiin havaintoja siitä, mitä teknisiä ongelmia lajittelun toteutukseen liittyy.

Värimerkkaus on vakiinnuttanut asemansa hakkuukoneen lisävarusteena ja se onkin ehdoton edellytys ainakin järeämpien rungonosien erilläänpitämiseksi. Pieniläpimittaisten pölkyjen merkkaus ei yleensä onnistu ja värikooditkin saattavat loppua kesken. Ainoaksi vaihtoehdoksi jääkin erilaiset kasaustekniikat, jotka hioutuvat koneketjun kuljettajien kesken yleensä toimivaksi menettelytavaksi. Ongelmia syntyy erityisesti silloin, kun metsäkuljetusvaihe viivästyy ja lumi sataa väliin. Lajittelun toteutuksen painopistettä kannattaisikin harvennuksilla siirtää metsäkuljetusvaiheeseen, jotta ketjun tasapaino paranisi. Värimerkkausominaisuuksia kannattaa edelleen kehittää, jotta tämä työnjako onnistuisi käytännössä.

Kuormatraktorin työskentely hidastui selvimmin lajittelun myötä ja sille onkin helpompi esittää kehittämisideoita. Lajittelun lisääntyessä yksittäisten pölkyjen käsittely lisääntyy. Jos pyritään lajipuhtaisiin kuormiin, irtopölkkyjä joudutaan ”nyppimään” kuormausvaiheessa usein hyvinkin ahtaista



Kuva 25. Lajittelun yleistyessä myös sekakuormina ajo lisääntyy. Erilaiset lisäkarikat helpottavat puutavaralajien erilläänpitoa. Kuvassa Pika 728 Combi -korjurin kuormatila.

väleistä, jolloin myös maa-ainesta tarttuu helposti mukaan. Sekakuormina ajettaessa irtopölkkyjä joudutaan puolestaan käsittelemään välivarastolla. Nykyisellä kuormatraktorin kouran konstruktiolla irtopölkkyyn tarttuminen on hidasta. Hyväksi koettua rakennetta ei voida eikä kannata kuitenkaan muuttaa radikaalisti tämän melko marginaalisen tarpeen pohjalta, mutta ongelmaan kannattanee etsiä yksinkertaista ratkaisua.

Myös kuormatilaa tulisi kehittää lajittelun näkökulmasta. Jo ensimmäinen tutkimustyömaa osoitti selvästi, että lajipuhtaisiinkin kuormiin pyrittäessä sekakuormia syntyy vääjäämättä, ja etenkin pieniläpimittaisten pölkkyjen kanssa syntyy hankaluuksia. Ongelma on suurin nimenomaan kuormatilan alaosassa. Tämän kokemuksen pohjalta ideoitiin erilaisia hydraulisesti tai mekaanisesti säädettävissä olevia välikarikoita kuormatilaan, joka saataisiin näin jaettua joustavasti esimerkiksi kahteen lohkokoon. Sitten useiden konevalmistajien kuormatraktoreihin on lisätty kiinteitä tai säädettäviä karikoita tai vastaavia rakenteita, jotka helpottavat merkittävästi puutavaralajien erilläänpitoa.

METSÄTEHO OY

KYSELYLOMAKE

Yritys: _____
 Hankinta-alue: _____
 (Piiri): _____
 Vastaaja nimi: _____ puh: _____
 e-mail: _____

Kuinka monta puutavaralajia vastuualueellasi (piiri, hankinta-alue tms.) on kaikenkaikkiaan käytössä ja mikä on niiden vuosivolyymi:

Kuitupuutavaralajit		kpl		m ³ / v
Tukkipuutavaralajit		kpl		m ³ / v
Muut		kpl		m ³ / v

Esitä mahdollisimman tarkka arvioksi puutavaralajien työmaakohtaisista lukumääristä prosenttijakaumana alla olevan esimerkin mukaan:

	Puutavaralajien lukumäärä / työmaa											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	>10	
Päättehakkuu												
Kuitupuu												% työmaista
Tukki yms.												% työmaista
Harvennushakkuu												
Kuitupuu												% työmaista
Tukki yms.												% työmaista

Esimerkki (rivisumma = 100%):

Kuitupuu	0	5	20	35	30	5	5	0	0	0	0	% työmaista
----------	---	---	----	----	----	---	---	---	---	---	---	-------------

Onko näköpiirissä, että erillään pidettävien puutavaralajien määrä lisääntyy selvästi nykytasosta?

Puutavaralajien lajittelu perustuu yleensä hakkuuvaiheen toimenpiteisiin (värimerkkaus, erilleenkasaus, jne). Esitä karkea arvioksi siitä, kuinka usein lajittelua tarkennetaan vielä metsä- ja kaukokuljetusvaiheessa:

Metsäkuljetusvaiheessa		% työmaista
Kaukokuljetusvaiheessa		% työmaista

Jos edellisen kysymyksen prosenttiosuuksia on vaikea edes arvioida, luonnehdi sanallisesti metsä- ja kaukokuljetusvaiheessa 'syntyvien' puutavaralajien merkitystä vastuualueesi puuvirrassa:

Kuvaa lyhyesti, millaisia lajittelumenetelmiä hankintaketjun eri vaiheissa vastuualueellasi sovelletaan: (Poista tarpeettomat vaihtoehdot !):

Hakkuu:	Metsäkuljetus:	Kaukokuljetus:
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____