

Kuormatilojen kehittäminen energiapuun kuljetusta varten

Antti Korpilahti

Metsätehon raportti 13
31.12.1996

Konsortiohanke

Asiasanat: kuormatilat, energiapuu

Helsinki 1997

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
1 TAUSTAA	5
2 SELVITYKSEN TAVOITE	7
3 SELVITYKSEN TOTEUTUS	7
4 NYKYINEN METSÄKULJETUSKALUSTO	7
5 NYKYINEN KAUKOKULJETUSKALUSTO	9
6 KUORMATILOJEN KEHITTÄMISTARVE TUOTTEITTAIN	13
6.1 Vajaakarsitun puutavaran metsä- ja kaukokuljetus	13
6.2 Karsimattoman puutavaran metsä- ja kaukokuljetus	14
6.2.1 Metsäkuljetus.....	14
6.2.2 Kaukokuljetus.....	16
6.3 Hakkuutähteiden metsä- ja kaukokuljetus	18
6.3.1 Metsäkuljetus.....	18
6.3.2 Kaukokuljetus.....	19
6.4 Tienvarsihaketuksen liittyvä kuljetus	20
6.5 Palstalla tehtävän hakkeen kuljetusketju	21
7 KUORMATILOJEN TEKNISET KEHITTÄMIS- MAHDOLLISUUDET	23
7.1 Kuormatraktorit.....	23
7.2 Puutavara-autot	26
7.2.1 Karsimattoman puutavaran kuljetus	26
7.2.2 Hakkuutähteiden kuljetus	30
7.3 Hakekuormatilat	32
8 PÄÄTELMÄT	33

TIIVISTELMÄ

Selvitys tehtiin Bioenergian tutkimusohjelman johtoryhmän toimeksiannosta. Eri tutkimushankkeista saatujen tietojen perusteella oli pääteltävissä, että puupolttoaineen tuotannossa tulee kyseeseen useita vaihtoehtoisia tuotantoketjuja, joissa käsitellään eriasteisesti jalostettua puupolttoainetta yksinään tai yhdessä ainespuun kanssa. Karsimattomalla puutavaralla ja hakkuutähteillä kuorman tiiviys jää niin pieneksi, että kuljetusyksikköjen kantavuutta ei voida hyödyntää täysimääräisesti. Se johtaa suuriin kuljetuskustannuksiin. Kokopuumenetelmissä korjuuvaiheen kustannukset ovat noin puolet ja kaukokuljetuksen noin neljännes kokonaistuotantokustannuksista, ja näitä vaiheita tehostamalla voidaan parantaa puupolttoaineen kilpailukykyä.

Kuormatilaratkaisuissa ei ole erityisemmin otettu huomioon energia-puunäkökohtia. Karsimattoman osapuun hankinta on jäänyt vähäiseksi, sillä yksiottehakuukoneiden käyttöön perustuva tavaralajimenetelmä on ollut kokonaistaloudellisesti sitä edullisempi. Tällä hetkellä Suomessa on käytössä vain muutama osapuuvaruusteinen auto. Laajamittainen puupolttoaineen käyttö antaisi perusteita kuormatilojen kehittämiseen erityisesti puupolttoaineiden tuotannon kannalta. Äskettäin tehty ratkaisu ajoneuvojen mittojen ja painojen harmonisoinnista EU:ssa - 60 tonnin kokonaispainon salliminen ja ajoneuvoyhdistelmän kokonaispituuden lisääminen ns. moduulirakenteen avulla - vakauttaa kuormatilojen kehittämisen puitteet pitkähköksi aikaa. Ratkaisu alentaa puupolttoaineen tuotantomenetelmien kustannuksia pienitii- viyksisten tuotteiden osalta.

Tavoitteena oli tarkastella kuormankoon vaikutusta puupolttoaineiden tuotantokustannuksiin metsä- ja kaukokuljetuksessa, kartoittaa kuormankoon suurentamisen mahdollisuuksia ja osoittaa kehittämisen painoalueita.

Karsimattoman puutavaran kuljetusta varten kuormatraktori tulisi varustaa hydraulikäyttöisillä liukupankoilla, joilla muutetaan kuormatilan leveyttä. Lisäksi sivupylväitä tulisi korottaa noin 50 cm. Varustelu maksaa noin 50 000 mk. Sen kustannusvaikutukset ovat $0,30 \text{ mk/m}^3$, mutta suurempi kuormankoko tuottaa vastaavasti yli 4 markan hyödyn.

Hakkuutähteiden kuljetusta varten kuormatraktorin kuormatila tulisi liukupankkovarustuksen lisäksi jatkaa. Yksinkertaisin olisi puutavaranosturilla asennettava ja irrotettava noin metrin jatke, jossa on pankko ja sivupylväät. Kokonaisvarustuksen lisäkustannukset olisivat enintään 80 000 mk ja kustannusvaikutukset $0,50 \text{ mk/m}^3$. Kuljetustehokkuuden parantumisen vaikutus olisi noin 6 mk/m^3 .

Karsimattoman puutavaran autokuljetuksessa kuorman hyötykorkeutta voidaan lisätä asentamalla pankot runkorakenteen tasalle ja varustamalla perävaunu pienikokoisilla pyörillä. Kuormaa on lisäksi usein tarve tiivistää sidontalaitteilla. Varustuksen hinnaksi arvioidaan vähintään 50 000 mk. Kustannus- ja hyötyvaikutukset olisivat noin 0,30 ja 4,70 mk/m³.

Hakkuutähteiden kuljettamiseksi tulisi auton kuormatila muuntaa mahdollisimman suureksi ja kehittää siihen voimakkaat kiristyslaitteet. Asia vaatii kokeiluja ja lisätarkasteluja ko. tuotantovaihtoehdon kilpailukyvyistä.

Hakkeenkuljetuksessa käytettävät kuormatilat ovat pitkälle kehitettyjä. Niiden valmistajat toimivat kilpailuilla markkinoilla, eikä erityisiä kehittämismalleja voida osoittaa.

1 TAUSTAA

Bioenergia-tutkimusohjelman alkuvuosina saadut tulokset osoittavat, että puupolttoaineen tuotannossa on useita tuotantoketjuja, joilla tuotetaan eriasteisesti käsiteltyä puupolttoainetta ja ainespuuta. Kun puutavara korjataan karsimattomana, energiapuun saanto maksimoi- tuu, mutta kuorman tiiviys jää niin pieneksi, että kuljetusyksikköjen kantavuutta ei kyetä hyödyntämään tehokkaasti. Se merkitsee epä- edullista kuljetustaloutta. Korjuun ja kuljetuksen kehittämällä on suuri merkitys, sillä ensiharvennusten kokopuumenetelmissä korjuu- vaiheen kustannukset ovat noin puolet ja kaukokuljetuksen noin nel- jännes kokonaiskustannuksista.

Nykykalusto on suunniteltu karsittujen puutavaralajien ja teollisuus- hakkeen kuljetuksiin. Puupolttoaineen kuljetusta varten kuormatiloja on kehitettävä siten, että kullakin tuotteella saavutetaan edullinen kuormankoko ja että kuorma ja kuorman purkaminen liittyvät kit- kattomasti koko tuotantoketjuun.

Bioenergia-tutkimusohjelman eräässä projektissa aloitettiin kuorma- traktorin kuormatilan kehittäminen karsimattomien puiden kuljetusta varten, mutta hanke keskeytyi kehittävän yrityksen omistusmuutosten vuoksi. Hakkeen kuljetustiloja on kehitetty kahdessa hankkeessa. Palstahakkurin kehitysprojektissa valmistettiin lähikuljetuksessa käy- tettävä sivullekippaava kuormatila. Monitoimihakkuriauton kehitys- projektissa rakennettiin vaihtokontit, joissa sovelletaan koukkulaite- tekniikkaa. Lisäksi yhdessä selvitysprojektissa oli lähtökohtana meri- konttien ja koukkulaitetekniikan hyödyntäminen koko tuotantoketju- sa.

Ensiharvennuspuun hankinta karsimattomana osapuuna vaikutti 1980- luvun alussa lupaavalla vaihtoehdolla. Tuolloin puut kaadettiin ja val- mistettiin puutavaralajeiksi ihmistyövaltaisilla menetelmin. Kun karsin- tatyö voitiin jättää metsässä tekemättä ja käsitellä karsimaton puutava- ra rumpukuorimolla, saavutettiin huomattava kustannussäästö hak- kuuvaiheessa. Karsimattoman puutavaran kuormankoko jäi pieneksi, ja se huononsi kuljetustaloutta. Tiivistystä kokeiltiin ensimmäisen ker- ran jo 1970-luvulla eräässä SITRAn tukemassa hankkeessa, mutta tuolloin konstruoitu autokuorman tiivistysratkaisu jäi yksittäiseksi kokeiluksi. 1980-luvun alkupuolella käynnistettiin hanke osa- ja ko- kopuun kuormankoon suurentamiseksi autokuljetuksessa. Kehitettyjä tiivistystekniikoita sovellettiin sittemmin joissakin osapuuvaruusteissa autoissa. Yksiotehakkuukoneiden käyttöön perustuvan tavaralajikor- juun kilpailukyvyyn vuoksi osapuunahankinta on tällä hetkellä niin vä- häistä, että käytössä on vain 5 - 6 osapuuvaruusteista autoa, nekin pää- osin ilman erityistä tiivistyslaitteistoa.

Karsimattoman puutavaran osuus metsäkuljetuksessa oli parhaimmillaankin niin vähäinen, että kuormatraktorien kuormatilojen osalta ei päädytty erityisratkaisuihin. Hakkuutähteiden talteenoton huippuaikana 1970-luvun lopussa ja 1980-luvun alussa tosin todettiin, että tähteiden keruu ja metsäkuljetus on edullisinta suurikokoisella kuormatraktorilla nimenomaan niillä saavutettavan suuren kuormankoon vuoksi. Käytännössä tuolloin koneellinen korjuuketju käsitti prosessorityyppisen hakkuukoneen ja suuren kuormatraktorin, jolla myös hakkuutähteet kerättiin.

Ruotsissa puupolttoaineen tuotanto ja käyttö on Suomeen verrattuna laajaa, ja siellä käytettävät toimintamallit ja tehdyt kokeilut voivat antaa oloihimme sovellettavaa tietoa. Myös Ruotsissa on vakiintunut sama korjuuteknologia kuin Suomessa, eikä sielläkään korjuu karsimattomana osapuuna ole yleistä. Ruotsissa on kuitenkin kokeiltu toisenlaisia teknisiä ratkaisuja kuin Suomessa, ja niiden käyttökelpoisuutta suomalaisiin olosuhteisiin voidaan arvioida. Laajamittainen puupolttoaineen tuotanto ja sen kehittämispyrkimykset asettavat uusia vaatimuksia ja antavat perusteita kuormatilojen kehittämiseksi erityisesti puupolttoaineiden kannalta.

Ajoneuvojen painoja ja mittoja koskevat säädökset asettavat rajoituksia kuormatilan mitoille ja kuormankoolle. EU:n ministerineuvoston toimesta laadittu direktiivi raskaiden kuorma-autojen mittojen ja painojen harmonisoimiseksi hyväksyttiin lopullisessa muodossaan 25.7.1996. Direktiivi koskee raskaiden kuorma-autojen mittoja kansallisessa liikenteessä sekä mittoja ja painoja kansainvälisessä liikenteessä. Kuljetusdirektiivin mukaan ajoneuvoyhdistelmän suurin sallittu pituus on 18,35 metriä ja paino 40 tonnia. Koska Suomessa ja Ruotsissa on perinteisesti sallittu suuremmat ajoneuvoyhdistelmät, kuljetusdirektiiviin sisällytettiin ns. moduulimalli. Moduulimallin suurin pituus on 25,25 metriä ja suurin kokonaispaino 60 tonnia. Direktiivi sallii siirtymäajan vuoden 2003 loppuun. Muut jäsenvaltiot kuin Suomi ja Ruotsi pidättäytyvät moduuliratkaisun käyttöönotosta toistaiseksi.

Karsitun puutavaran ja kuorettoman hakkeen kuljetuksessa kokonaispainorajoite yleensä rajoittaa kuormankokoa, eikä välitöntä kaluston muutostarvetta ole nähtävissä. EU-ratkaisulla on merkitystä lähinnä karsimattoman puutavaran ja hakkuutähteiden kuljetusvaihtoehtojen kannalta.

Ensiharvennusemetsistä pääosa, lähes 80 %, on mäntyvaltaisia. Niiden, samoin kuin nuorten koivikoiden, puutavara käytetään selluntuotantoon. Kuusikuitupuu sen sijaan ohjataan pääosin mekaaniseen kuidutukseen, ja siltä edellytetään sellupuuta parempia ominaisuuksia, mm. karsintaa ja suurempaa minimiläpimittaa. Korjuun ja kuljetuksen kehitystyö tulisikin ensisijaisesti suunnata harvennusemännyn käsittelyyn.

Puupolttoaineen erillistuotannon välittömän potentiaalin puolestaan muodostavat koneellisesti tehtyjen uudistushakkuiden hakkuutähteet.

2 SELVITYKSEN TAVOITE

Tehtävänä oli tuottaa tietoa puupolttoaineiden metsäkuljetukseen ja kaukokuljetukseen soveltuvien kuormatilojen kehitystyön suuntaamiseksi. Tarkasteluun sisältyvät seuraavat tuotteet ja kuljetukset.

- Vajaakarsitun puutavaran metsä- ja kaukokuljetus
- Karsimattoman puutavaran metsä- ja kaukokuljetus
- Palstalla tehtävän hakkeen kuljetusketju
- Karsimattoman puutavaran haketus ja murskaus tienvarressa ja kuljetus
- Hakkuutähteiden metsäkuljetus ja kaukokuljetus
- Hakkuutähteiden haketus ja murskaus tienvarressa ja kuljetus

3 SELVITYKSEN TOTEUTUS

Alkuvaiheessa haastateltiin suomalaisia kuormatraktorinvalmistajia, kuorma-autonvalmistajaa, perävaununvalmistajia, raskaiden ajoneuvojen puutavaravarusteiden ja erityisvarusteiden toimittajia. Kehittämismahdollisuuksien arviointia jatkettiin johtavien laitevalmistajien ja asiasta kiinnostuneiden asiantuntijoiden kanssa. Tietoja hankittiin myös alan tutkimusjulkaisuista sekä tutkimus- ja kehitystyöhön osallistuvilta henkilöiltä.

Erilaisten kuormatilarakenteiden mahdollistamien kuormankokojen perusteella tehtiin tuottavuus- ja kustannusselvityksiä vaihtoehtoisten tekniikoiden edullisuuden vertailemiseksi.

4 NYKYINEN METSÄKULJETUSKALUSTO

Suomalaisia merkittäviä metsäkoneenvalmistajia ovat Timberjack Oy, Sisu Logging Oy, Ponsse Oy, Oy Logset Ab, Logman Oy ja Tume Oy (Nokka Forest). Suomalaiset valmistajat ja suomalainen teknologia ovat tunnettuja pohjoismaissa ja maailmanlaajuisestikin.

Puutavaran metsäkuljetuksessa vallitsevia ovat kuormaa kantavat 6- ja 8-pyöräiset kuormatraktorit. Kuormatraktorit voidaan suurpiirteisesti luokitella kolmeen kokoluokkaan:

	Kuorma-ala, m ²	Omapaino, t	Kantavuus, t
Järeät	4 - 5	12 - 15	12 - 14
Keskikokoiset	4	10 - 12	10 - 11
Pienet	3 - 3,5	9 - 10	8 - 9

Myös edellä mainittuja selvästi pienempiä kuormatraktoreita on markkinoilla, mutta niiden osuus puunkorjuussa on vähäinen. Kuorma-

traktoreita on käytössä noin 1 700. Valtaosa kuormatraktoreista sijoittuu em. keskikokoisten luokkaan (kuva 1).

Kuva 1. Timberjack 1110 on tavanomainen keskikokoinen kuormatraktori, sen kantavuus on 11 tonnia. *Kuva Timberjack Oy:n esite.*

Kuormatraktoreiden valmistajat ovat pääosin huolehtineet kaluston teknisestä kehittämisestä. Lähtökohtana ovat olleet kuljetettavalta puutavaralta edellytetyt mitat, maasto- ja leimikko-olot ja niihin sopivat korjuumenetelmät. Menetelmiä ja kalustoa on kehitetty yhteistyössä metsäteollisuuden puunhankinnan tutkimusyksikköjen, ammattilaisten, konevalmistajien ja urakoitsijoiden kanssa. Puunhankinnan ammattilaiset ja tutkijat ovat pyrkineet osoittamaan kokonaistaloudellisesti edullisimmat korjuumenetelmät ja esittämään mm. sen, minkälaista suorituskykyä koneilta ja laitteilta edellytetään. Metsäkone- ja laitevalmistajat ovat huolehtineet teknisten ratkaisujen kehittämisestä vastaamaan tarpeita. Metsäteollisuusyritykset urakanantajina ja metsäkoneyrittäjät urakoitsijoina puolestaan ovat osallistuneet uusien

laitteiden kokeiluihin ja työmenetelmien kehittämiseen todellisissa olosuhteissa.

Tällä hetkellä kuormatraktoreiden kehittämisen tärkeimpiä tavoitteita on maastossaliikkuvuuden parantaminen sekä maaperän ja puiden juuriston vaurioiden vähentäminen. Keinoja ovat mm. pintapaineiden vähentäminen ja pyörien kiinnitysratkaisujen kehittäminen kuormitus-
huippujen tasoitta-
miseksi.

Karsittujen puutavaralajien kuljettamisen kannalta kuormatilat ovat vakiintuneet, eikä selvää kehittämistarvetta ole. Parhaillaan kuitenkin tutkitaan lyhyen, esim. 3-metrisen, kuitupuun etuja tehdaskäsittelyssä pitempään tavaraan verrattuna. Jos lyhyen kuitupuun hankinta on perusteltua, olisi aihetta selvittää mahdollisuus muuttaa kuormatilan rakenne sellaiseksi, että kuormaan mahtuu kaksi puutavaraniippua.

Kuormatraktoreiden runkorakenteeksi on vakiintunut kotelomainen muoto aiempien kahden runkopalkin sijasta. Pankkojen ja sivupylväiden on muodostettava muodoltaan kaareva, runkoa kohti kapeneva rakenne, jotta telipyörästä on liikkumatilaa. Runko- ja pankkorakenteet poikkeavat eri valmistajien koneissa toisistaan. Voidaan kuitenkin arvioida, että nykyistenkin runkorakenteiden puolesta kuormatilaa voidaan melko helposti muuttaa ja varustaa esimerkiksi liukupan-koilla tai muulla kuormatilan levennystekniikalla.

5 NYKYINEN KAUKOKULJETUSKALUSTO

Suomessa on yksi kuorma-autojen valmistaja: Oy Sisu Auto Ab. Perävaunujen ja päällysrakenteiden valmistajia on useita. Suurimmat ovat
Jyky Oy,
A. Weckman & Kumpp. Ky ja Oy Närkö Ab.

Puutavarankuljetuksessa on noin 1 500, metsäteollisuuden hakekuljetuksissa noin 120 ja turveteollisuuden kuljetuksissa noin 180 ajoneuvoa. Hake- ja turveautot ovat periaatteessa samanlaisia.

Yleisin ajoneuvoyhdistelmä on 3-akselinen vetoauto ja 4-akselinen perävaunu; niiden osuus on noin 70 %. Vaihtoehto on 4-akselinen vetoauto ja 3-akselinen perävaunu. Autoyhdistelmän suurin sallittu pituus on 22 m, leveys 260 cm ja korkeus 400 cm. Suurin sallittu autoyhdistelmän kokonaispaino on 60 tonnia. Kokonaispainon lisäksi on määritetty suurimmat sallitut akselipainot. Ne voivat rajoittaa kuorman sijoittelua ja kokoa. Ajoneuvoyhdistelmän mitoitusta säätelevät lisäksi kääntymissäntö ja siltasäntö (kääntösäde ja akseliväli).

Puutavarankuljetusta varten ajoneuvot on varustettu pankoilla, sivupylväillä ja kuormansidontalaitteilla. Suomessa on kuormauslaitteeksi vakiintunut ajoneuvokohtainen hydraulinosturi, joka kytketään pika-kiinnityksellä vetoauton perään. Jotta kuormaimella yletytään lastaa-

maan perävaunun takaosaan, kiinteärunkoinen perävaunu varustetaan
liukupankoilla, tai sitten

runko on rakenteeltaan jatkettava. Jatkettavarunkoisen perävaunun etuna on mahdollisuus pitää ajoneuvoyhdistelmä tyhjänä ajettaessa lyhyenä. Ajoneuvoyhdistelmällä on silloin helppo liikkua pikkuteillä ja ahtailla kääntö- ja varastopaikoilla.

Uusin kehityssuunta kotimaisessa autonvalmistuksessa on ollut tehdasvalmiiden autojen tuottaminen ostajan tilauksen mukaan varusteltuna. Vetoauton runkorakenteita on kehitetty siten, että apurunkoa ei tarvita, vaan puutavarapankot kiinnitetään välittömästi runkopalkkeihin, jotka on profiloitu ja mitoitettu toisin kuin apurunkoa edellyttävässä mallissa. Rakennetta on silloin voitu yksinkertaistaa.

Puutavaraperävaunun rakenteen kehittämässä on kokeiltavana kotelorakenne. Sillä pyritään keveyden ohella pienentämään ilmanvastusta ja vähentämään ravan, lumen ja jään tarttumista rakenteisiin.

Puutavaravarusteisen 3-akselisen yhdellä vetävällä akselilla varustetun vetoauton suurin sallittu kokonaispaino 25,0 tonnia. Kun sen omapaino on noin 10,6 tonnia, kantavuus on 14,4 tonnia. 4-akselisen perävaunun suurin kokonaispaino on 36,0 tonnia, omapaino on noin 7,5 ja kantavuus 28,5 tonnia. Koko yhdistelmän omapaino on siten 18,1 tonnia ja kantavuus 41,9 tonnia, kun kokonaispainoksi sallitaan 60 tonnia.

Puutavaranosturi painaa runsaat 2 tonnia. Kun nosturia kuljetetaan mukana, ajoneuvoyhdistelmä voi ottaa kuormaa lähes 40 tonnia. Puutavaranosturia kuljetetaan yhä useammin mukana, sillä tyhjänäajon minimoinnin vuoksi seuraava kuorma otetaan yleensä edellisen kuorman purkupaikan lähistöltä. Kun otetaan huomioon nosturin irrotus ja kiinnitysaika, nosturi kannattaa muutoinkin kuljettaa mukana noin 60 km:n kuljetusetäisyyteen asti, vaikka kantavuudessa hieman menetetään.

Karsituilla puutavaralajeilla ajoneuvon kokonaispainoraja täyttyy jo vajaalla kuormalla eli kantavuus pystytään täysin hyödyntämään (kuva 2).

Kuva 2. Kolmiakselinen vetoauto ja neliakselinen perävaunu täydessä tukkilastissa. *Valokuva Metsäteho Oy.*

Karsimattoman puutavaran kuljetus edellyttää kuormatilojen varustamista sivulaidoilla, jotta oksat eivät ylitä sallittua kuorman leveyttä. Laitarakenteena käytettiin aluksi vanerilaitaa vahvistettuna sisäpuolelta peltilevyllä. Sitten laitoja on rakennettu profiloituista metallilevyistä ja metalliverkostakin (kuva 3). Kurottajalla tai kahmarinosturilla purkamista varten laitarakenteet on saranoitu. Varusteet lisäävät yhdistelmän painoa noin 3 tonnia. Koska perävaunu on laitarakenteen vuoksi tehtävä jäykäksi, ajoneuvo on varustettava niin järeällä ja pitkäulotteisella nosturilla, että se ylittää perävaunun takaosaankin. Osapuuvälikäyttöä ei ole 1980-luvun puolivälin jälkeen erityisemmin kehitetty, sillä osapuunakorjuu jäi koneellisen hakkuun yleistettyä ja puuraaka-aineen laatusyistä vähäiseksi. Tällä hetkellä käytössä on vain puolenkymmentä osapuuautoa.

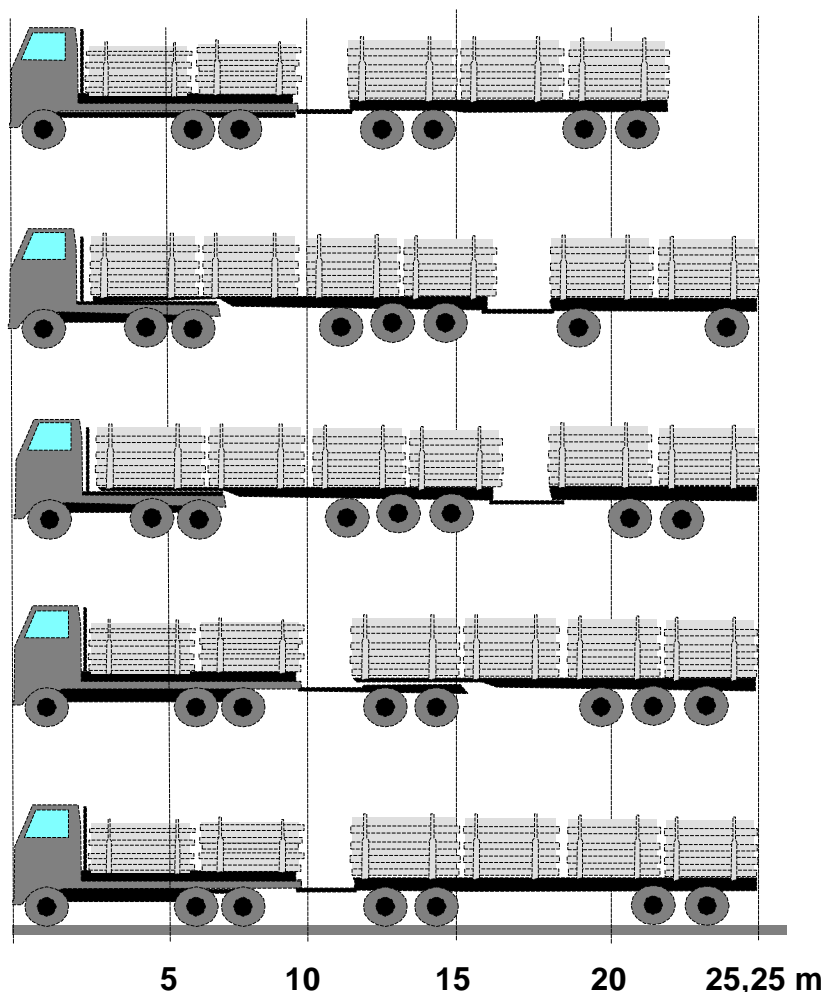
Hakkeenkuljetuksessa kiinteälavaiset täysperävaunulliset yhdistelmät ovat tavallisia. Laitarakenteet ovat tavallisesti vanerista, mutta myös muita materiaaleja ja yhdistelmiä käytetään ja kehitetään. Uusilla materiaaleilla pyritään saavuttamaan keveyden ja helpon työstettävyyden lisäksi mm. hyvä lämmöneristys. Hakekuormatila on luonnollisesti varustettava lattialla; osapuun kuljetuksessa se ei ole välttämätöntä. Yleisimmät hakekuorman purkutavat ovat kolakuljettimella purku, taaksekipaus ja sivullekipaus. Purkutavat riippuvat osittain vastaanottoaikan laitteistoista.

EU-päätöksen mukaan viimeistään vuonna 2003 sallitaan 25,25 m kokonaispituus. Lisäpituus voidaan pääosin hyödyntää perävaunussa. Autoyhdistelmä muodostetaan modulimaisista ajoneuvon ja perävaunun kuormatiloista. Perävaunut ovat rakenteellisesti puoliperävaunuja. Myös nykyistä täysperävaunullista yhdistelmää voidaan edelleen käyttää kansallisessa liikenteessä. Kansallisella lainsäädännöllä säädetään direktiivin yksityiskohtaisesta soveltamisesta. Liikenneministeriö on tehnyt selvityksen moduulimallin soveltamisesta Suomen tieliikenteessä. Selvityksen ehdotukset ovat seuraavat:

Kuva 3. Osapuuauto, jossa on laitamateriaalina profiilipelti ja laidat saranoitu avattaviksi. *Valokuva A. Weckman & Kumpp. Ky.*

- Yhdistelmän 25,25 metrin pituus tulee sallia kaikille vetoaisatyyppi-
sellä varsinaisella perävaunulla varustetuille yhdistelmille ja sellai-
sille yhdistelmille, joissa puoliperävaunun perään kytketään varsi-
nainen perävaunu. Tätä pituutta ehdotetaan hyödynnettäväksi myös
korirakenteeltaan lyhyemmissä yhdistelmissä sallimalla tarvittaessa
yli ajoneuvon etu- ja takapäädyn ulottuva kuormaamistapa. EU-
mitoituksen mukaisia ajoneuvoyhdistelmän kokoonpanoja esitetään
kuvassa 4.
- Kääntöympyrän avulla määritelty yhdistelmän kääntyvyysvaatimus
tulee ulottaa myös yli 22 metriä pitkiin yhdistelmiin yhdistelmän
pituuden mukaan porrastettuna siten, että sisäsädevaatimus piene-
nee nykyisestä 5,0 metristä 2,0 metriin.
- Suurimpana sallittuna leveytenä sallitaan edelleen 2,60 metriä.
- Yli 22 metriä pitkillä yhdistelmillä kaikissa akselistoissa tulee olla
lukkiutumattomat jarrut.
- Apuvaunut eli dollit tulee merkitä rekisteriin ja ne pitää katsastaa
joka toinen vuosi.
- Moduulimalli otetaan käyttöön vuoden 1997 heinäkuun alussa.

Puutavara-autojen kehittäminen on toteutettu pääosin valmistajien ja
autoyrittäjien yhteistyönä. Tuottavuustutkimuksella ja yhteydenpidolla
tutkimuksen ja puunhankinnan ammattilaisten kanssa on hahmotettu
teollisuuden puutavaroiden mitta- ja laatukehityksen trendejä. Karsi-
mattoman osapuun kuljetusta on kehitetty myös tutkimuslaitosvetoi-
sesti, mutta ko. raaka-aineen käytön vähäisyys on aiheuttanut kehit-
tämistyön taantumisen. Puupolttoaineen tuotannon kehittäminen ja
ajoneuvoyhdistelmien mahdolliset uudet mitat tarjoavat mahdollisuuksia
parantaa karsimattoman osapuun ja kokopuunkin kilpailukykyä.



Kuva 4. Ylinnä nykyinen puutavara-autoyhdistelmä, keskellä kolme vaihtoehtoista moduuliyhdistelmää, alinna kansallinen ehdotus nykyisen yhdistelmän sopeuttamisesta uuteen enimmäispituuteen.

6 KUORMATILOJEN KEHITTÄMISTARVE TUOTTEITTAIN

6.1 Vajaakarsitun puutavaran metsä- ja kaukokuljetus

Vajaakarsinnalla, jossa osa oksista karsiutuu ja jäävät oksat taittavat rungonmyötäisiksi, pyritään parantamaan kuorman tiiviyyttä karsimattomaan puutavaraan nähden ja jättämään osa latvusmassasta metsään ekologisista syistä. Suomessa ei valmisteta vajaakarsittua puutavaraa. Ruotsissakin vajaakarsittua valmistetaan vain koeluonteisesti, ja vajaakarsintalaitteita on rakennettu lähinnä tutkimustarkoituksessa muutama. Ruotsissa vajaakarsittu puutavara on kuljetettu yhdessä karsittujen pölkkyjen kanssa. Kun vain osa

Kuva 5. Joukkohakkuulaitteella valmistettua ensiharvennuksen mäntykuitupuuta. *Valokuva Metsäteho Oy.*

samalla kertaa kuljetettavasta puutavarasta on osittain karsittua, pystytään ajoneuvon kantavuus kuormankoon puolesta hyödyntämään täysin. Karsimattomien oksien vuoksi auton kuormatila on kuitenkin varustettava laidoin, mikä lisää hieman kuljetuskustannuksia. Jotta vajaakarsinnalla olisi kilpailukykyä, se tulisi yhdistää hakkuuvaiheessa joukkokäsittelyyn.

Suomessa kehitystyö on suunnattu pienikokoisten puiden joukkokäsittelyyn: keräilykaatoon, joukkokarsintaan ja nippuinakatkontaan. Kokeiluissa joukkohakkuulaitteella valmistettu puutavara on ollut niin hyvin karsiutunutta, ettei se kuljetusominaisuuksiltaan ole poikennut karsitusta tavarasta (kuva 5). Myöskään joukkokäsittelyssä sovellettu tavanomaista kuitupuuta pienempi minimilatvaläpimitta ei vaikuta kuorman tiiviyyteen niin paljoa, että sillä olisi käytännön merkitystä. Näin ollen joukkohakkuulaitteella valmistetun puutavaran kuljetus ei edellytä muutoksia kuormatilarakenteisiin. Jos sen sijaan pyritään valmistamaan nimen omaan ”ruotsalaistyyppisesti” vajaakarsittua tavaraa, lähestytään karsimattoman osapuun ominaisuuksia.

6.2 Karsimattoman puutavaran metsä- ja kaukokuljetus

6.2.1 Metsäkuljetus

Karsitun, noin 5-metrisen kuitupuun kuorman tiiviys on noin 60 %. Karsimattoman mäntykuitupuun metsäkuljetuksessa saavutetaan 30 - 35 %:n tiiviys. Kun keskikokoisen kuormatraktorin kuormankoko on karsitulla kuitupuulla noin 12 m³, se on karsimattomalla tavaralla 7 m³ eli vajaat 60 % karsitun tavarankuormankokoista. Tiiviys riippuu oksaisuudesta ja puuston järeydestä. Eri tutkimuksissa saadut tulokset vaihtelevat huomattavasti; esitetyt luvut ovat suuntaa antavia (kuva 6).

Kuva 6. Runsasoksaista ensiharvennusmäntyä. *Valokuva Metsäteho Oy.*

Kuormatilojen kehittämisen yhtenä lähtökohtana voisi olla saavuttaa karsimattomalla puutavarallakin yhtä suuri kuorman kiintotilavuus kuin karsitulla puutavaralla. Kuormatilat on mitoitettu suurin piirtein niin, että ohjeellinen kantavuus vastaa ainespuukuorman massaa. Kuorman kehystilavuus on 5-metrisellä puutavaralla noin 20 m³. Jotta karsimattomalla puutavaralla saavutetaan ainespuukuormaa vastaava kuormankoko, kehystilavuuden tulisi olla 34 m³ eli 1,7-kertainen. Karsitun ainespuun kuljetukseen verrattuna osapuukuormaa voidaan suurentaa paitsi kuormatilan leveyttä lisäämällä myös kuorman korkeutta lisäämällä, sillä kantavuuden mukaiset kuormat ainespuulla saavutetaan jo ”matalammilla” sivutolpilla.

Osapuun kuormaus on hitaampaa kuin karsitun ainespuun kuormaus, ja lisäksi se on miestyönä tehdyn siirtelykaadon jälkeen hitaampaa kuin koneellisen kaatokasauksen jälkeen. Viimeisimmät tutkimukset

kuitenkin viittaavat siihen, että koneellisilla osapuun korjuumenetel-
millä voidaan saavuttaa kustannusetua tavanomaisiin tavaralajimene-
telmiin nähden.

Seuraavassa esitetään kuormankoon vaikutusta metsäkuljetuskustan-
nuksiin, kun kuljetusmatka on 250 m. Yksikkökustannusten erot ovat
ääriarvojen välillä runsaat 8 mk/m³.

Kuorma, m ³	Suhteelliset kustannukset
12	100
11	102
9	109
7	119
5	138

Lehtiosapuulla kuorman tiiviys on keskimäärin huonompi kuin männyllä. Se riippuu puuston ominaisuuksista, kuten oksaisen latvuksen ja oksattoman rungonosan pituussuhteesta ja runkojen mutkaisuudesta. Pohjois-Suomen oloissa rungosta ei juurikaan saada kahta 5-metristä kappaletta, jolloin puutavaranipun keskipituus lyhenee pienentäen kuorman kokoa. Käytännön toimenpiteitä varten olisi tehtävä tarkemmat selvitykset toimintaoloista ja kalustolle asetettavista mitoitus- ja varustusvaatimuksista.

6.2.2 Kaukokuljetus

Kaukokuljetuksessa kuormankoolla on suurempi merkitys tuottavuuteen ja kustannuksiin kuin metsäkuljetuksessa, sillä kaukokuljetuksen kokonaisuudesta suhteellisesti suurempi osa kuluu varsinaisessa kuljetuksessa. Karsimattomalla puutavaralla saavutetaan kaukokuljetuksessa parempi tiiviys kuin metsäkuljetuksessa. Osa oksista on jo metsäkuljetuksen aikana katkeillut ja varissut maahan, autoonkuormauksessa puutavaraa rutistellaan jälleen, ja auton puutavaranosturi on metsätraktorin nosturia järeämpi ja suorituskyvyltään tehokkaampi. Maantiekuljetusta varten kuorma on sidottava, mikä vielä tiivistää sitä jonkin verran.

Kaukokuljetuksessa mäntyosapuukuorman tiiviys oli viimeisissä tutkimuksissa 42 %. Kuorman tiivistyslaitteiden vaikutus oli 5 %:n luokkaa eli ilman tiivistystä saavutettiin 40 %:n tiheys. Tiivistyslaitteena käytettiin sivutolppiin asennettuja hydraulisylintereitä, joilla kiristettiin kuorman yli kiinnitetyt kettingit. Tiivistyksen vaikutus oli noin 2 m³. Sen merkitys kuljetuskustannuksiin on 80 km:n kuljetusmatkalla noin 2 mk/m³ eli lähes 6 %. Tiivistysvarustuksen kustannukset puolestaan ovat 0,20 - 0,30 mk/m³.

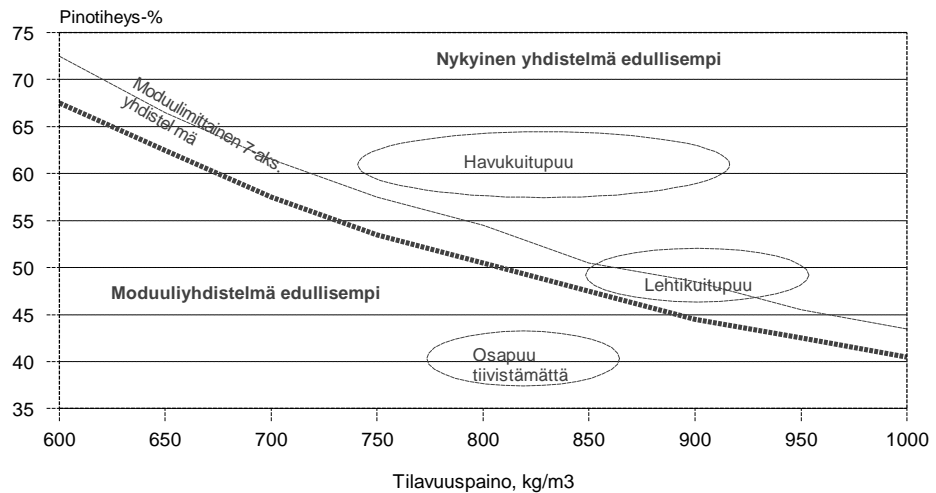
Autokuorman koko riippuu myös puutavaran pituudesta. Kun em. tutkimuksessa puutavaran keskipituus oli 4,80 m, pidennys 5-metriseksi olisi tiivistyslaitteiden vaikutuksen verran. 5-metrillä tuoreella mäntyosapuulla päästään tavanomaisella tiivistyksellä 33 - 34 tonnin kuormaan, kun kantavuus on 39 - 40 tonnia.

Tutkimustulosten mukaan kantavuuden mukainen autokuorman koko olisi noin 110 kuutiometriä (kehysmitta). Keskimääräinen kuormatilan koko on noin 95 kuutiometriä, kun puutavaraniipun pituus on 5 metriä. Kuormatila tulisi voida lisätä 15 kuutiometriä (noin 13 %) tai tiivistää kuorma noin 48 %:n tiiviyteen, jotta kantavuus hyödynnettäisiin täysin. Täyden kuorman ansiosta kuljetuskustannukset pienensivät nykytilanteeseen verrattuna lähes 14 % eli noin 4,70 mk/m³ 80 km:n kuljetusmatkalla.

Autokuljetuksessa EU-mitotuspäätöksen antama mahdollisuus lisätä yhdistelmän pituutta nykyisestä mahdollistaa kuormankoon suurentamisen puutavaraniipun pituutta lisäämällä. Puunkorjuun ja -kuljetuksen puolesta puutavaran pituuden lisäämistä noin 6 metriin asti pidetään mahdollisena. Jos puutavaraniipun pituus suurennetaan viidestä kuu-teen metriin, kasvaa ajoneuvoyhdistelmän kolmen puutavaraniipun kehystilavuus noin 19 kuutiometriä ja olisi yhteensä noin 112 kuutiometriä. Kuorman massa olisi silloin tiivistämättäkin noin 39 tonnia eli käytännöllisesti katsoen kantavuuden mukainen. Nykyisen ajoneuvoyhdistelmän ja moduuliyhdistelmien edullisuutta on verrattu mm. kuljetettavan puutavaran tilavuuspainon suhteen (kuva 7). Vertailusta voidaan todeta, että tuoreella osapuulla tiivistystarve on vähäinen.

EU-DIREKTIIVIN MUKAISEN MODUULIYHDISTELMÄN KÄYTTÖMAHDOLLISUUS
PUUTAVARAKULJETUKSISSA

NYKYINEN PUUTAVARA-AUTO = Kuormatila 6,5 m +10,5 m, kantavuus 42,0 t, 7-aks.
EU-MODUULIYHDISTELMÄ = Kuormatila 6,5 m +13,0 m, kantavuus 39,5 t, 8-aks.



Kuva 7. Moduuliyhdistelmillä ei saavuteta kustannusetua karsitun puutavaran kuljetuksessa, mutta karsimattoman osapuun kilpailukykyä ne parantavat. Kuva Metsäteollisuus ry, H. Rumpunen.

Rumpukuorinnassa puutavaran suuresta pituudesta on haittaa mm. rankojen runsaan katkeilun ja puuaineen hävikin vuoksi. Tehtaan puunkäsittelyyn voitaneen kuitenkin tarvittaessa kohtuullisin investoinnein rakentaa puutavaran tai nippujen katkontalaitte. Puutavaran

pituusvaikutus on samantapainen karsitullakin tavaralla, joten katkontalaitteen käyttö ei rajoittuisi pelkästään osapuuhun.

Kuormatilojen ja kuorman tiivistyslaitteiden kehittämistarve riippuu paljolti kuljetettavan osapuun järeydestä ja oksaisuudesta sekä vastaanottajan asettamista laatuvaatimuksista, esimerkiksi karsinnan laadusta. Siten kaluston varustamisessa käytännön tilanteessa on otettava huomioon tosiasiallinen toimintaympäristö.

6.3 Hakkuutähteiden metsä- ja kaukokuljetus

6.3.1 Metsäkuljetus

Keskikokoisen kuormatraktorin kuormatilan kehyskoko (rakennemittoin) on noin 17 m^3 . Hakkuutähteillä saadaan kehyskokoön nähden 1,5 - 2-kertainen kuormankoko eli 25 - 35 kehyskuutiometriä. Kuorman tiiviys on kuitenkin niin pieni, että kuormankoko jää 4,5 - 5,5 kiintokuutioon. Hakkuutähteet ovat ainespuutavaraan verrattuna huomattavan epähomogeeninen materiaali; sen ominaisuudet, tiiviys ja kuutiopaino vaihtelevat paljon ja kuorman tilavuuden määrittäminen on hankalaa.

Kokeiluissa on päästy jopa noin 10 kiintokuutiometrin kuormankokoon. Käytössä on silloin ollut pidennetyillä sivupylväillä ja jatketulla kuormatilalla varustettu suurikokoinen kuormatraktori. Käytännön kuljetusurakoinnissa on nykyään käytetty lähes tavanomaisesti varustettua keskikokoista kuormatraktoria. Lähtökohtana on ollut pitää kuljetuskustannukset kohtuullisina hyödyntämällä käytettyä konetta, koska hakkuutähteiden kuljetus ei rasita kalustoa läheskään niin paljon kuin ainespuun kuljetus. Hakkuutähteiden talteenoton jatkuvuudesta ei toistaiseksi ole ollut varmuutta, minkä vuoksi kaluston varusteluun ei ole haluttu investoida paljoa. Hakkuutähteiden metsäkuljetuskustannukset ovat käytännön urakoinnissa olleet tasolla 23 mk/m^3 eli noin 10 mk/hakekuutio.

Hakkuutähteet on siis kuljetettu eri koneella kuin karsittu puutavara. Kuormatraktorin kapasiteetti vastaa hakkuukoneen kapasiteettia, eikä yhdellä koneella ehditä kuljettaa sekä puutavaraa että hakkuutähteitä. Viimeaikaisissa tutkimuksissa ei myöskään ole saatu tukea sille, että hakkuutähdekuormaa kannattaisi tiivistää kuljettamalla samassa kuormassa esimerkiksi hakkuutähteitä ja tukkeja.

Kuormankoon vaikutus hakkuutähteiden metsäkuljetuskustannuksiin ovat seuraavat (ilman kuormatilan erityisvarusteiden kustannuksia):

m^3/kuorma	mk/m^3	Suhteelliset kustannukset
----------------------------	------------------------	------------------------------

5	23	100
7	20	87
9	18	78
11	16	70

Kuormankokoa voidaan edullisimmin lisätä laajentamalla kuormatilaa pidemmillä sivupylväillä ja pidentämällä kuormatilan takaosaa. Kuormatraktorin kantavuus ei rajoita kuormankokoa. Sen sijaan kuorman korkeus rajoittuu puutavaranosturin käyttökorkeuteen (kuva 8).

Kuva 8. Vakiokuormatilalla hakkuutähdekuorman koko on noin viisi kiintokuutiometriä. *Valokuva Metsäteho Oy.*

6.3.2 Kaukokuljetus

Hakkuutähteiden autokuljetusta on kokeiltu ja jonkin verran myös tehty käytännössä Ruotsissa. Selvitysten mukaan edullisimpiin hakkuutähdehakkeen tuotantokustannuksiin on päästy, kun tähteet on kuljetettu ja haketettu vasta käyttöpaikalla. Hakkuutähteiden kuljetus edellyttää laidallista ja pohjallista kuormatilaa. Kuorma on tiivistetty tavanomaista järeämmällä kuormaimella painelemalla ja laitoja vasten puristamalla. Tiivistämättömän kuorman tiiviys on 15 - 20 %, kun kuormaimella tiivistämällä päästiin 25 - 26 %:n tasolle. Kun lähtökohtana on suomalainen 110 kuutiometrin kuormatilainen ajoneuvoyhdistelmä, tiivistyksellä voidaan kuormankokoa kasvattaa 23:sta 29 kiintokuutiometriin (26 %). Vaikutus kuljetuskustannuksiin 40 km:n matkalla on noin 21 %, 8 - 9 mk/m³. Tiivistettynäkin hakkuutähdekuorman massa on pieni, vain noin 25 tonnia; kantavuus sen sijaan on noin 35 tonnia.

Ruotsissa hakkuutähteiden kuljetuksessa on paremmat edellytykset päästä kohtuullisiin kustannuksiin, sillä siellä sallitaan kaksi metriä suurempi kokonaispituus kuin Suomessa eikä enimmäiskorkeutta ole määrätty. Käytännössä korkeus asettuu 4,4 metriin, kun se meillä on 4,0 metriä. Ruotsalaisella mitoituksella päästään merkittävästi suurempaan kuormankokoon kuin siihen, mikä sallitaan suomalaisten säädösten mukaan. Jos kokonaispituutta voidaan EU-mittapäätöksen myötä kasvattaa, siitä on hyötyä sellaisten tuotteiden kuljetukselle, kuten hakkuutähteet, joiden tiiviys on pieni.

Hakkuutähdekuormaa voidaan tiivistää myös kuormansidonta- ja tiivistyslaitteilla, kuten osapuukuormia. Ruotsalaisissa kokeiluissa eri tavoin tiivistämällä tiivistyminen on ollut samaa luokkaa kuin edellä esitetty kuormaimella tiivistys.

Hakkuutähteiden murskaukseen käyttöpaikalla perustuvassa puupolttoaineen tuotannossa osa kustannuskilpailukyvästä tienvarsi- ja palstahaketukseen verrattuna oletetaan saatavan haketus- tai murskauskäsittelyssä. Kiinteäasenteinen hakkuri tai murskain voi olla huomattavasti suurempi ja tehokkaampi kuin liikuteltava tai kuljetusajoneuvoon tai palstahakkuriin asennettu yksikkö. Kiinteä yksikkö on lisäksi käyttökustannuksiltaan edullisempi. Kuormankoko ei yksistään ratkaise tuotantoketjun kilpailukykyä. Tavoitteena voidaan kuitenkin pitää mahdollisimman suurta kuormankokoa sinänsä, sillä hakkuutähteillä ei juurikaan voida ylittää ajoneuvoyhdistelmän kantavuutta.

6.4 Tienvarsihaketukseen liittyvä kuljetus

Tienvarsihaketuksessa käytetään yleisimmin siirrettävää haketusyksikköä, jolla hake välittömästi puhalletaan kiinteälavaiseen hakeautoon. Ongelmana on haketuksen ja kaukokuljetuksen liittymä; haketta voidaan vain silloin, kun hakeauto on paikalla. Hakeauto puolestaan odottaa kuorman haketuksen ajan, noin 1,5 tuntia.

Ajoneuvoyhdistelmän kuormatila on 110 - 120 m³. Tilavuus vaihtelee lava- ja alustarakenteesta sekä pyöränkoosta riippuen. Kuormatilaa ei juurikaan voida suurentaa, paitsi EU-mittojen niin mahdollistaessa. Kuormatila on niin suuri, että kantavuuden mukainen kuorma saavutetaan kuorettomalla- ja kokopuuhakkeella ja myös tuoreella hakkuutähdehakkeella. Kehittämistarve kohdistuu pikemminkin haketus- ja kuljetusjärjestelyihin kuin kuormatilarakenteisiin.

Haketuksen ja kuljetuksen tehostamiseksi on kokeiltu haketuksen ja alkukuljetuksen tekemistä erillisellä työyksiköllä siirtolavoja käyttäen. 1980-luvun alun kokeiluissa vaihtolavoina käytettiin ns. jalkalavoja. Niiden käyttö edellyttää tasaista, täysin kantavaa vaihtopaikkaa (esim. levähdyspaikat). Nykyisellä koukkuvaihtolavatekniikalla siirtokuormausta voidaan tehdä maasto-olosuhteissakin. Haketus- ja siirtoyksikön

käyttöä rasittaa kuitenkin verokäytäntö: kuljetuksessa ja siirtokuormauksessa on käytettävä verollista polttoainetta, kun pelkkä haketusyksikkö voi käyttää verotonta polttoainetta. Lisäksi kuljetus edellyttää ajoneuvoveron suoritusta.

Kuormatiloihin ei juurikaan ole tehtävissä nykyoloissa oleellisia muutoksia. Siirtokuljetuksen kannattavuus suurimittaisessa polttohaketuotannossa nykyisellä kustannustasolla tulisi selvittää. Myös uudenlaisten mahdollisuuksien, esimerkiksi hakkeen pneumaattisen siirron soveltamista ja hakkuri-maastokuorma-auton käyttöä ja kilpailukykyä tulisi tutkia.

6.5 Palstalla tehtävän hakkeen kuljetusketju

Nykyään on käytössä kaksi erityyppistä palstahakkuria: kuormatraktori-riperustaiset tai kuormatraktorin tyyppiset (ruotsalaiset, kuva 9 ja suomalaisvalmisteinen, kuva 10) ja monitoimihakkuriauto (MOHASSISU, kuva 11). Aiemmissä malleissa hakkurille oli erillinen moottori, mutta nykyisissä koneissa on vain yksi voimanlähde, mikä antaa edellytyksiä suuremmalle kuormatilalle ja kantavuudelle. Tutkimusohjelman alkuvaiheessa oli esillä siirtokontin käyttö palstahaketuksessa kiinteän, kippaavan kuormatilan sijasta. Autokuljetus edellytti kuitenkin niin suurta konttia, että se ei ole palstahakkurikäyttöön mahdollinen.

Palstahaketukseen kehitettyyn suomalaisvalmisteiseen palstahakkuriin on pystytty rakentamaan suurempi kuormatila kuin kuormatraktorin ollessa lähtökohtana. Kuormatilan on tilavuudeltaan ja mitoiltaan oltava suhteessa peruskoneen kantavuuteen ja käyttöoloihin.

Kuva 9. Tyypillinen ruotsalainen palstahakkuriksi varustettu kuormatraktori. *Kuva Erjo Ab:n esite.*

Kuva 10. Oy Logset Ab:n valmistama Chipset-palstahakkuri.
Valokuva Metsäteho Oy.

Kuva 11. Metsäenergia MetEr Ky:n valmistama koukkulavalaitteella varustettu MOHA-monitoimihakkuriauto. *Valokuva Metsäteho Oy.*

Monitoimihakkuriautolla puolestaan pyritään kokonaisuuden kannalta toisistaan riippuvien erillisten haketus- ja kuljetusyksiköiden käyttöä joustavampaan toimintaan. Hakkuutähteiden ja muun haketettavan materiaalin varasto- ja haketuspaikkavaatimukset ovat vapaammat kuin tavanomaisten puutavaralajien. Edullisissa olosuhteissa haketus on mahdollista jopa suoraan palstalta ilman varsinaista hakkuutähteiden metsäkuljetusta. Monitoimihakkuriauton kuormatilojen mitoitus määräytyy käyttöolosuhteiden ja tieliikenteen määräysten mukaan. Kehittämistarve ja -mahdollisuudet ovat rinnastettavissa tavanomaiseen hakkeenkuljetuskaluston kehittämiseen.

7 KUORMATILOJEN TEKNISET KEHITTÄMISMAHDOLLISUUDET

7.1 Kuormatraktorit

Karsimattoman osapuun ja hakkuutähteiden kuljetuksessa tulisi olla tavanomaista suuremmat ja mahdollisesti kuormaa tiivistävät kuormatilarakenteet. Tiivistys kuorman leveyssuunnassa on tarpeellinen harvennusleimikoilla.

Karsimattoman puutavaran kuljetuksessa on kokeiltu pankkoihin sarranoituja, kallistettavia sivupylväitä (kuva 12). Ruotsalaisissa tutkimuksissa näillä varusteilla on saatu 23 - 36 %:n lisäykset kuorman massassa. Nykykalustolle sovellettuna tästä saadaan 8,6 - 9,5 m³:n kuormankoko. Kuorman tiiviys olisi 43 - 47 %. Kun kantavuuden mukainen tavoite oli 12 m³, puolet kuorman lisäyksestä saavutettaisiin kuvatulnaisella varustuksella. Valmet 838 Combi -koneen vuosikymmenen vaihteessa valmistanut Sisu Logging Oy ei kokenut ko. yhdistelmäkoneella olleen kannattavuutta.

Kuva 12. Kallistettavat sivupylväät kuorman tiivistystekniikkana.
Valokuva Sisu Logging Oy.

Kallistettavia sivupylväitä parempana ratkaisuna pidetään kuormatilan leveyden muutettavuutta liukupankkojen avulla. Liukupankkoperiaatteen toimivuutta testattiin Karelian Puu ja Metall Oy:n prototyypilaitteistolla syksyllä 1996 (kuva 13). Ensiharvennuskäynnillä kuormankokoa voitiin tiivistyksen avulla suurentaa 1,6 - 1,8-kertaiseksi. Tiivistys sivusuunnassa onnistui hyvin; puunippu ei pyrkinyt nousemaan ylös, vaan tiivistyi tehokkaasti.

Nyky aikaistenkin kuormatraktoriin varustaminen hydraulikäyttöisillä liukupankkoilla arvioidaan melko helpoksi. Kuormatilan poikkipinta-ala voitaisiin laajentaa vähintään 1,5-kertaiseksi eli 4:stä 6:een neliömetriin, mikä edellyttää noin 65 cm lisää leveyttä puolelleen. Jos kuormalla saavutettaisiin 43 %:n tiiviys, tavoitekuormaan pääsemiseksi sivupylväitä tarvitsisi korottaa 40 - 50 cm. Tämän suuruinen korotus ei tuota ongelmia. Liukupankkavarustuksen kustannuksiksi arvioidaan 50 000 mk.

Toinen, kallistusta parempi tiivistysmenetelmä olisi pyörähdysliikkeen käyttäminen. Kun sivupylväät ovat veivinmuotoiset, kuormatilan leveyttä voitaisiin muuttaa pyöräyttämällä sivupylväitä neljänneskierros. Tässäkin voimana käytettäisiin hydraulikkaa. Kustannukset olisivat liukupankkoihin verrattavat. Liukupankko- tai muun tiivistysvarustuksen pääomakustannukset em. hankintahinnalla ovat noin 0,30 mk kiintokuutiota kohden. Lisäksi tulee käyttö-, korjaus- ja huoltokustannuksia.

Hakkuutähteiden kuljetusta varten kuormatila tulisi suurentaa edellä esitettyä enemmän. Lähtökohtana on lisäksi se, että kuormattuna voidaan ajaa leveällä kuormalla eli päätehakkuualalta esteettä varastolle. Riittävän kokoiseen kuormatilaan päästään, kun levityksen lisäksi kuormatilaa jatketaan takaosasta ja sivupylväitä korotetaan niin paljon kuin kuormaajan esteetön käyttö sallii. Kuormaimen liikeradat ja suurin kuormauskorkeus ovat sellaiset, että sivupylväiden jatkeet kannattaa toteuttaa kiinteinä; hydraulisilla jatkeilla ei saavuteta kustannusetua.

Kuva 13. Liukupankoilla tiivistyksessä kuormaa voitiin lisätä 60 - 80 %.

Valokuva Metsäteho Oy.

Kuormatilan jatkamiseksi yksinkertaisin ratkaisu olisi mekaanisesti pikakiinnittyvä rungon jatke, jossa on pankko sivupylväineen. Tarvittaessa jatko-osa nostettaisiin paikoilleen ja irrotettaisiin kuormatraktorin puutavaranosturilla. Kustannuksiksi arvioidaan 10 000 mk. Jatkuvasti mukana kulkeva, hydraulisesti käytettävä jatko-osa puolestaan maksaisi 30 000 - 50 000 mk.

Yhteensä kuormatilan hakkuutähdevarustus tulisi maksamaan enintään 80 000 mk. Varustuksen pääomakustannukset olisivat noin 0,50 mk/m³. Kustannuslaskelmassa kuormatraktoria oletetaan käytettävän täystehoisesti ympäri vuoden.

Kuormatraktorin hakkuutähdekuorman tiivistämistä sitomalla tai muulla tavoin päältäpäin painamalla ei pidetä hyvänä menetelmänä. Sellaisia ratkaisuja ei Ruotsissakaan ole kehitetty, vaan parhaimpana esimerkkinä on esitelty kuormatilan laajennusta yksinkertaisen putkirakenteisen kehikon avulla (kuva 14).

Kuva 14. Yksinkertaisin lisävarustein hakkuutähteiden ajoon varustettu kuormatraktori Ruotsissa. *Valokuva Metsäteho Oy.*

7.2 Puutavara-autot

7.2.1 Karsimattoman puutavaran kuljetus

Vaikka EU-mitointi antaa mahdollisuuden suurentaa ajoneuvoyhdistelmän kokonaispituutta, sekä karsimattoman puutavaran että hakkuutähteiden osalta on tarkasteltava myös kuormien tiivistysmahdollisuuksia. Käytännön kokemuksia on osapuun kuljetuksesta; hakkuutähteiden kuljetuksesta on tietoja lähinnä vanhoista ruotsalaisista kokeiluista.

Yleisin tiivistyslaite on ollut tavanomaisen kuormansidontalaitteen muunnos, jossa kuorman sidontaketju on kiristetty hydraulisynterillä. Kun kiristysvara on tavanomaisesti 60 cm, muunnoksessa se on kaksinkertainen. Jokaista puutavaranippua kohti tarvitaan kaksi sidontaketjua ja kiristintä, eli kun ajoneuvoyhdistelmässä on kolme nippua, kiristimiä tarvitaan kuusi. Hydraulisynterit sijoitetaan runkopalkkien väliin (kuva 15). Kiristimen hinta on vähän yli 5 000 mk kappaleelta; ajoneuvoyhdistelmän varustus maksaa 30 000 - 40 000 mk. Kustannusvaikutukset (pääomakustannukset) ovat noin 0,20 mk/m³.

Hydraulivoiman sijasta kiristys voidaan hoitaa paineilmatomimisella kiristimellä. Se on vinssityyppinen, jossa sidontaliina tai ketju kierretään kelalle, jolloin kiristysvara on rajaton. Paineilmalaitteilla tuotettavaa noin kuuden tonnin vetovoimaa pidetään kuitenkin riittämättömänä kuorman tiivistyksessä. Paineilmakiristin maksaa noin 4 500 mk.

Kuva 15. Hydraulikäyttöinen kuormansiteen kiristin osapuuautossa.

Valokuva A. Weckman & Kumpp. Ky.

Sivupylväisiin sijoitetuilla hydraulisyylintereillä saadaan samansuuruinen kiristys kuin runkorakenteeseen sijoitetuilla kiristimillä. Sidontaketjun sijasta voidaan käyttää kuorman päälle käännettävää puomia. Se painaa kuorman päällystää vaakasuorasti tasaisemmin kuin ketju, jota käytettäessä kuorman yläpinta muotoutuu kuperaksi. Puomi on kuitenkin koettu käytössä hankalaksi, ja se on ketjukiristimiä raskaampi ja kalliimpi ratkaisu.

Edellä esitettyä tehokkaampaan tiivistykseen päästään hydraulimoottoriin perustuvilla kiertävillä kiristimillä. Yksi prototyyppi rakennettiin 1970-luvun lopulla. Perävaunu varustettiin sivupylväillä, jotka saronoitiin alapäästä ja varustettiin lisäksi saranoiduilla jatkoilla. Kuormausta varten kuormatila avattiin suureksi, ja se kiristettiin kuljetuskokoon siirtolavan päällevetomoottorista rakennetulla hydraulikäyttöisellä kelavintturilla vajereita käyttäen (kuva 16). Laitteistoa kehitettiin leppäosapuukuorman tiivistyksessä. Kuorman kehystilavuus saatiin tiivistymään noin 40 %.

Kuva 16. Periaatekuva kuormatilasta, jolla tiivistäminen oli tehokasta, vaikka käyttö hankalaa. *Kuva Metsäntutkimuslaitos.*

Tulosta ei voida sinänsä soveltaa karsimattomalle mäntyosapuulle, sillä laskennallisesti se johtaa karsitun kuitupuun keskimääräiseen tiiviyteen. Mäntyosapuulla tulisi aiemmin esitetyillä perusteilla saavuttaa 48 %:n tiiviys yhdistelmän kantavuuden hyödyntämiseksi. Tällöin on otettu huomioon ajoneuvon kantavuutta pienentävät varusteet: laidat ja tiivistyslaitteet. Tiivistystarve on noin 17 % kuorman kehystilavuudesta. Se edellyttää kuorman lastaamista aluksi 50 - 60 cm ylikorkeaksi ja sitten tiivistämistä sallittuun 4 metrin enimmäiskorkeuteen. Voidaan arvioida, että voimakkaalla kiristyslaitteella tarvittava tiivistyminen saadaan aikaan. Vaihtolavalaitteiden hydraulimoottori painaa noin 300 kg ja maksaa 20 000 mk. Käytännön sovellukseen tulisi etsiä pienempi ja edullisempi laite. Varustelukustannuksia voitaneen hillitä myös siten, että kutakin puutavarannippua kohti käytetään vain yhtä hydraulimoottoria, vaikka siteitä onkin kaksi.

Autokuorman tiivistämistä liukupankoilla ei tietävästi ole kokeiltu. Kuormatraktorin kuormatilan liukupankkokokeilussa karsimattoman puutavaran tiivistyminen onnistui hyvin. Liukupankkoteknikka saattaisi toimia myös puutavara-autossa. Koska autokuorman korkeus on suurempi kuin leveys, liukupankoilla tiivistyksessä tarvitaan pienempi liikevara kuin se, mikä edellytetään korkeussuuntaisessa tiivistyksessä. Tiivistäminen voitaisiin tehdä jopa vain yhdeltä puolen.

Tiivistämisen vaihtoehtona tai lisänä kuormatila voidaan suurentaa asentamalla pankot runkoon eikä tavanomaisesti rungon päälle. Silloin korkeutta saadaan lisättyä pankon korkeuden verran eli noin 15 cm. Kuormatila se lisää 5 - 6 kuutiota eli noin 3 kiintokuutiometriä osapuuta. Kuormaa ei silloin voi purkaa kurottajalla tai vastaavilla laitteilla, jotka edellyttävät nostohaarukoiden työntämistä nipun alle. Kun kuormaa ei pureta kurottajalla, ei myöskään tarvitse rakentaa avattavia sivulaitoja, vaan yksinkertaiset ja kevytrakenteiset laidat riittävät, esimerkiksi sivupylväisiin kiinnitettävät rautaverkkolaidat (kuva 17). Lisäpaino jää 1 000 kiloon, ja varustelukustannuksiksi arvioidaan 20 000 mk. Saranoidut, profiilimetallilevystä valmistetut laidat lisäävät massaa noin kolme tonnia ja aiheuttavat vähintään 50 000 mk:n lisäkustannukset (kuva 18).

Kuva 17. Pertti Szepaniak -yhtiöiden kevytrakenteisilla laidoilla varustettu osapuuauto. *Valokuva Metsäntutkimuslaitos, H. Kalaja.*

Kuva 18. Saranoiduilla profiilipeltilaidoilla varustettu osapuuauto. *Valokuva A. Weckman & Kumpp. Ky.*

Toinen mahdollisuus korkeuden lisäämiseksi on pienipyöräinen perävaunu. Tavanomaisesti puutavara-autoissa käytetään halkaisijaltaan 108 tai 104 cm:n renkaita (kuva 18). Kun perävaunussa käytetään pienikokoisia, halkaisijaltaan vain 86 cm:n renkaita, kuormatilaan saadaan noin 10 cm lisää hyötykorkeutta. Sen merkitsee 1,5 - 2 m³ osapuuta. Pankkorakenteella ja perävaunun pyörävarustuksella voidaan kuormaa suurentaa ja päästä noin puoleen tavoiteltavasta kuorman lisäyksestä, toinen puoli olisi hoidettava tiivistyslaittein.

7.2.2 Hakkuutähteiden kuljetus

Hakkuutähdekuorman tiivistystarve on osapuuta suurempi ja tehtävä ongelmallisempi. Kuorma täytyisi sitoa tiheästi poikittaissiteillä, tai tavanomaisten poikittaissiteiden lisäksi täytyisi kuormaa puristaa pituussuunnassakin. Ruotsissa on kokeiltu erilaisia siteitä lisälaitteineen, mutta hyvää ratkaisua ei ole löytynyt (kuva 15, s. 26). Laitteilla voitiin parantaa hakkuutähdekuorman tiiviyyttä noin 150 kg:sta/m³ 195 - 230 kg:aan/m³.

Kuva 19. Esimerkkejä Ruotsissa 1980-luvun alussa kokeilluista hakkuutähdekuorman tiivistyslaitteista. *Kuvat Skogsarbeten.*

Uudemmissa ruotsalaisissa tutkimuksissa esitetään hakkuutähdekuorman tiivistämistä kuormaimella. Parhaimpaan tulokseen päästiin, kun käytettiin suurta erilliskuormaajaa (kuva 20). Siinä käytetty nosturi on niin järeä, ettei se sovellu ajoneuvokohtaiseksi nosturiksi

Kuva 20. Hakkuutähteiden kuormausta ja tiivistystä järeällä erilliskuormaajalla. *Kuva Loglift Oy:n esite.*

Suomalaisissa toimintaoloissa erilliskuormaajan käytölle ei ole yhtä hyviä lähtökohtia kuin Ruotsissa. Siksi kuormaimella tiivistykseenkin tulisi käyttää ajoneuvokohtaista nosturia. Aiemmin esitetyt tarkastelut tehtiinkin sellaisten ruotsalaiskokeilujen tietoja soveltaen, joissa oli käytetty tavanomaista puutavaranosturia hieman järeämpää, mutta kuitenkin ajoneuvokohtaista nosturia. Nosturilla saatiin samantasoinen tiivistyminen (26 %:n tiiviys) kuin kuorman sidontaan perustuvilla laitteilla. Tavanomaisella kuormatilalla päästäisiin noin 25 tonnin kuormaan, kun kantavuus sallisi noin 35 tonnia. Kuormatilaa tulisi suurentaa. Maksimissaan nykyisillä enimmäismitoilla voidaan päästä noin 120 kuution kuormatilaan. Käytetyillä laskentaperusteilla hakkuutähdekuorman massa olisi silloin noin 27 tonnia.

EU-mitoituksen mukaan voitaisiin päästä 133 - 140 kuution kuormatilaan. Tuoreilla hakkuutähteillä kuorman massa olisi noin 30 tonnia. Se olisi vain hieman kantavuutta pienempi, sillä kokonaispituuden lisäys nostaa ajoneuvoyhdistelmän omapainoa. EU-mittojen salliman enimmäispituaisen ajoneuvon käyttö tuo uusia ongelmia; liikkuminen pitkällä ajoneuvoyhdistelmällä kapeilla sivu- ja metsäteillä ja kääntäminen ahtailla varastopaikoilla on hankalaa, ja tavanomaisella auto-

kohtaisella puutavaranostrilla ei yllätä lastaamaan perävaunun takaosaa.

Hakkuutähteiden kuljettamiseen soveltuvan ajoneuvoyhdistelmän ja sen varusteiden kehittämisen perustaksi tarvitaan lisää tietoja, joita tulisi hankkia käytännön kokeiluin. Tiivistäminen kuormaimella edellyttää mm. kuormaimien kokeilua ja niiden rakenteen tarkistuksia sekä kuormatilarakenteilta vaadittavan lujuuden mitoituksen tarkistusta ja purkamistekniikoiden selvittelyä. Myös tiivistys tiivistyslaittein edellyttää kokeiluja, ennen kuin voidaan osoittaa ratkaisumalleja. Lisäksi paikalliset toimintaolot (polttoaineen tavoitekosteus) voivat vaikuttaa hakkuutähdekuorman tavoitekokoon ja teknisiin ratkaisuihinkin.

Sekä osapuu- että hakkuutähdekuormien tiivistämisen ja sitomisen hankalin vaihe lienee sidontaketjujen tai vastaavien kiinnittäminen. Se on voitava tehdä koneellisesti, esimerkiksi puutavaranosturilla. Teknisiä ratkaisuja sopiviksi kiristinlaitteiksi tuntuu olevan saatavilla.

7.3 Hakekuormatilat

Polttohakkeen tuotantoketjuissa käytetään pitkälle kehitettyjä ja tehtävään soveltuvia kuormatiloja. Niiden valmistajat ovat alan vankkoja osajia. Hakekuormatilojen kehittäminen etenee normaalin tuotekehittelyn puitteissa kilpailuilla markkinoilla. Hakkeentuotannon ongelma on ennen muuta haketuksen ja kaukokuljetuksen liittymä. Siinä tulisi päästä toimintatapaan, jossa haketus ja kaukokuljetus eivät olisi kiinteästi toisistaan riippuvia. Eräs keino toimintojen eriaikaistamiseen olisi vaihtokuormatilojen ja useiden perävaunujen käyttö, mutta niiden rationaalisen siirtelyn häirtana on nykyinen polttoaine- ja ajoneuvoverotus.

8 PÄÄTELMÄT

Karsimattoman puutavaran kustannustehokas metsäkuljetus edellyttää kuormatraktorin varustamista kuormaa tiivistävällä kuormatilalla. Kuorman sidontalaitteita ei pidetä tarpeellisina eikä käytäntöön hyvin soveltuvina. Kuormatilan laajentaminen ja kuorman tiivistäminen voidaan toteuttaa hydraulikäyttöisillä liukupankoilla, joilla muutetaan kuormatilan leveyttä. Toinen mahdollisuus on kääntää veivimäisiä sivupylväitä neljänneskierroksen verran. Sivupylväitä tulisi korottaa noin 50 cm. Näillä ratkaisuilla saavutetaan kuormatraktorin kantavuuden mukainen kuorma. Varustelun aiheuttamat lisäkustannukset ovat noin 50 000 mk. Vaikutus metsäkuljetuksen yksikkökustannuksiin on 0,30 mk/m³. Suurentuneen kuormankoon tuottama hyöty puolestaan on yli 4 mk/m³.

Hakkuutähteiden kuljetusta varten kuormatraktorin kuormatila tulisi liukupankkavarustuksen lisäksi jatkaa sekä korottaa sivupylväitä kuormaimen sujuvan käytön sallimissa rajoissa. Yksinkertaisin ja edullisin rungon jatko-osa olisi puutavaranosturilla asennettava ja irtotettava jatke, jossa on pankko ja sivupylväät. Varustuksen lisäkustannukset olisivat enintään 80 000 mk ja kustannusvaikutukset 0,50 mk/m³. Kuljetustehokkuuden parantumisen vaikutus olisi noin 6 mk/m³.

Karsimattoman puutavaran autokuljetuksessa kuorman kokoa voidaan suurentaa muuttamalla pankkorakennetta niin, että pankot lasketaan runkorakenteen tasalle. Silloin tosin kuorma on purettava päältä otavilla laitteilla, esimerkiksi autonosturilla. Perävaunun varustaminen pienikokoisilla pyörillä lisää myös kuormatilan hyötykorkeutta. Mikäli puutavara on runsasoksaista, kuormaa on lisäksi tiivistettävä tavanomaisia sidontalaitteita voimakkaammilla laitteilla. Markkinoilla on mm. tehokkaita hydraulikäyttöisiä laitteita, joita pystyttäisiin hyödyntämään tässä tarkoituksessa. Varustuksen aiheuttamiksi lisäkustannuksiksi arvioidaan noin 50 000 mk. Kustannus- ja hyötyvaikutukset olisivat noin 0,30 ja 4,70 mk/m³. Liukupankot saattaisivat soveltua myös autokuljetukseen, ja sitä pitäisi tutkia.

Hakkuutähteiden kuljettamiseksi auton kuormatila tulisi muuntaa mahdollisimman suureksi, ja lisäksi kehittää voimakkaat kiristyslaitteet. Vaikka voitaisiin soveltaa EU-mitoituksen maksimimittoja ja hyvää tiivistystä, tuoreillakin hakkuutähteillä kuorman massa jäisi jonkin verran kantavuutta pienemmäksi. Hakkuutähteiden autokuljetusta ja tähteiden käyttöpaikalla haketuksen perustuvan tuotannon kilpailukykyä tulee tarkastella lisää.

Kuormatilaratkaisujen vaikutusta tuotantokustannuksiin valotetaan seuraavilla suuntaa antavilla tuotantoketjuittaisilla kustannuslaskelmilla.

Karsimaton mäntyosapuu		
	Tavanomainen varustus	Tiivistävä varustus
	mk/m ³	
Yleiskustannukset	20,00	20,00
Hakkuu	21,50	21,50
Metsäkuljetus	37,80	33,40
Kaukokuljetus 80 km	38,60	34,20
Prosessointi	16,80	16,80
Yhteensä	134,70	125,90
Selluhake	161,70	161,70
Energiajäte	81,00	54,70
Energiajäte, mk/MWh	45,00	30,40

Hakkuutähdehake: haketus tienvarressa		
	Tavanomainen varustus	Tiivistävä varustus
	mk/m ³	
Yleiskustannukset	6,00	6,00
Metsäkuljetus	23,00	17,00
Haketus	34,00	34,00
Kaukokuljetus 40 km	30,00	30,00
Yhteensä	93,00	87,00
Yhteensä, mk/MWh	51,70	48,30

Hakkuutähdehake: haketus käyttöpaikalla		
	Tavanomainen varustus	Tiivistävä varustus
	mk/m ³	
Yleiskustannukset	6,00	6,00
Metsäkuljetus	23,00	17,00
Kaukokuljetus 40 km	41,00	32,00
Haketus ja siirto ^{*)}	30,00	30,00
Yhteensä	100,00	85,00
Yhteensä, mk/MWh	55,60	47,20

^{*)} Haketuksen ja siirron hinta ei perustu laskelmaan.

Vaikka kuormatraktorin liukupankkovarustuksesta on kokemusta vain kokeilulaitteistolla tehdystä kokeilusta, voidaan sen silti arvioida olevan välittömästi käytäntöön sovellettavissa. Liukupankkovarusteista kuormatraktoria tarvitaan karsimattoman puun ja hakkuutähteiden metsäkuljetuksessa, ja sillä voitaisiin kuljettaa myös karsittua puutavaraa yhtä tehokkaasti kuin tavanomaisilla pankoilla varustetulla koneella. Hakkuutähteiden kuljetustehokkuuden lisääminen edellyttää liukupankkojen lisäksi kuormatilan jatkamista.

Puutavara-autoon soveltuvien kuormatilavarustuksien osalta sen sijaan on tehtävä kehitystyötä ja kokeiluja, ennen kuin voidaan suositella käytäntöön sopivia tekniikoita ja laitteita. Tutkimustietoa tällä alueella tuotetaan ennen muuta VTT Energian ja ruotsalaisten tutkimuslaitosten (SkogForsk ja Sveriges Lantbruksuniversitet) tutkimushankkeista.