

# **Selvitys metsäbiomassan logistiikan tiedonkeruun ja käsittelyn mahdollisuuksista**

Sami Siljoranta

Opinnäytetyö  
Marraskuu 2017  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Insinööri (AMK), logistiikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Siljoranta, Sami	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä marraskuu 2017
	Sivumäärä 119	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Selvitys metsäbiomassan logistiikan tiedonkeruun ja käsittelyn mahdollisuuksista</b>		
Tutkinto-ohjelma Logistiikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Lähdevaara Hannu, Pakarinen Risto		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän ammattikorkeakoulu		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää metsäbiomassan logistiisiin toimintoihin liittyviä tietotarpeita. Tavoitteena oli myös selvittää, kuinka tietoja automatisoidaan tai käsitellään metsäbiomassan toimitusketjussa, ja selvittää, minkälaisia mittaustietoja toimitusketjussa on saatavilla. Työn tarkoituksena oli myös palvella ammatillista metsäkoulutusta.</p> <p>Tutkimuksen päämenetelmänä oli työpöytä tutkimus. Lisäksi tietoa kerättiin havainnoimalla ja haastatteleamalla. Tutkimus aloitettiin keräämällä lähdeaineistoa metsäbiomassan toimitusketjun eri toiminnoista. Lähdeaineistoa tutkittiin huolella ja pyrittiin löytämään sisällöstä jo käytössä olevia tietoja sekä sellaisia tietotarpeita, joita ei selkeästi ole vielä käytössä laajasti tai ollenkaan. Tietotarpeiden tutkinta kohdistui koko metsäbiomassan toimitusketjun eri toimintoihin ja samalla kartoitettiin myös käytössä olevia tiedonkeruuteknologioita.</p> <p>Tutkimuksen tuloksena muodostettiin monipuoliset taulukot eri toimintojen tietotarpeista. Tietotarpeet koostuvat toimintaan, ympäristöön ja materiaaliin liittyvistä tiedoista. Tulokseksi saatiin myös taulukot teknologioista ja tekniikoista, joita toiminnoissa käytetään tai suunnitellaan käytettäväksi. Työn tuloksista selviää, että osa käytettävistä menetelmistä ja teknologioista on ollut käytössä jo pidempään, mutta osa teknologioista on vielä tutkimuksen ja kehittämisen tasolla.</p> <p>Lähitulevaisuuden merkittävänä tutkimuksen ja kehittämisen painoalueina ovat digitalisaatio, sekä erilaiset tietojärjestelmiin ja tiedonhallintaan liittyvät aihealueet.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) biomassa, tiedonkeruu, tietojenkäsittely, tiedonhallinta, tuottavuus, toimitusketju, työpöytä tutkimus		
Muut tiedot Liitteenä on lyhytversio tutkimusraportista.		

Author(s) Siljoranta, Sami	Type of publication Bachelor's thesis	Date November 2017 Language of publication: finnish
	Number of pages 119	Permission for web publication: x
Title of publication <b>A research on the possibilities of gathering and processing information in forest biomass's logistics</b>		
Degree programme Degree Programme in Logistics		
Supervisor(s) Lähdevaara Hannu, Pakarinen Risto		
Assigned by JAMK University of Applied Sciences		
Abstract  <p>The goal of the thesis was to do a research about information requirements in forest biomass's logistics. Furthermore, the goal of the thesis was to find out how the information is automated or processed in the supply chain of the forest biomass and what kind of measurement data is available. Also, the purpose of the thesis was to serve forest schooling in vocational education level.</p> <p>The main research method in the thesis was desktop study. Information was also gathered by observing and by interview. The research was launched by gathering sources and material about the logistics operations in supply chain of forest biomass. The gathered material was carefully studied and the goal was to find information that is already in use. Additionally, a goal was to find such information requirements that aren't available yet or they aren't widely in use. The information requirements were studied in every operation of the whole forest biomass's supply chain and available data collection technologies were charted.</p> <p>As a result, diverse charts about the information requirements were formed. The information requirements consist of three categories. The categories are operational, environmental and material based information. Furthermore, as a result charts about used technologies in different operations were formed. The charts also contain potential technologies that are still under development. Based on the results, some of the procedures have been used for a long time and some of them are still under research and development.</p> <p>In near future, remarkable area of research and development is digitalization and its related themes. Moreover, other interesting areas of research and development are different types of information systems and data management.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) biomass, data collection, data processing, data management, productivity, supply chain, desktop study		
Miscellaneous  A short version of the thesis is attached.		

## Sisältö

<b>Sanasto</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Johdanto</b> .....	<b>8</b>
1.1 Metsäbiomassa Suomessa .....	8
1.2 Tutkimusasetelma ja aiheen rajaus.....	8
1.3 Tutkimusmenetelmät ja -kysymykset .....	9
<b>2 Metsäbiomassan toimitusketju</b> .....	<b>10</b>
<b>3 Mittarit toimitusketjussa</b> .....	<b>12</b>
3.1 Mittareiden luokittelua .....	12
3.2 Tuottavuus- ja tehokkuusmittarit .....	13
<b>4 Metsänhakkuu</b> .....	<b>15</b>
<b>5 Lähikuljetus</b> .....	<b>16</b>
5.1 Toimintaan liittyvät tiedot.....	17
5.1.1 Kuormaus- ja purkutoiminnot .....	18
5.1.2 Kuormaus, kuormattuna ja tyhjänä ajo.....	20
5.1.3 Kuorman koko.....	20
5.1.4 Tuottavuus ja kuljettaja .....	21
5.1.5 Jatkettu lähikuljetus.....	22
5.2 Ympäristöön liittyvät tiedot .....	22
5.2.1 Ergonomia: tärinä .....	22
5.2.2 Maasto ja esteet .....	23
5.3 Materiaaliin liittyvät tiedot .....	24
5.3.1 Puutavaratiedot kentällä .....	24
5.3.2 Kuorma .....	25
5.4 Ponssen metsäkonesimulaattori .....	26

	2
5.5 Tietotarpeiden analysointi .....	28
<b>6 Tienvarsivarastointi .....</b>	<b>31</b>
6.1 Ympäristöön liittyvät tiedot .....	31
6.1.1 Laadunhallinta .....	31
6.1.2 Maasto ja esteet .....	32
6.2 Materiaaliin liittyvät tiedot .....	32
6.2.1 Kosteuden seuranta.....	32
6.2.2 Mittaukset .....	33
6.2.3 Kylmävarastointi laadunhallinnassa .....	34
6.3 Toimintaan liittyvät tiedot.....	34
6.3.1 Varastointitarve ja -aika.....	34
6.3.2 Lupa-asiat.....	35
6.4 Tietotarpeiden analysointi .....	35
<b>7 Haketus ja murskaus.....</b>	<b>38</b>
7.1 Toimintaan liittyvät tiedot.....	38
7.1.1 Tuottavuus ja palakoko.....	38
7.1.2 Haketuspaikka ja kalusto .....	41
7.2 Materiaaliin liittyvät tiedot .....	41
7.3 Ympäristöön liittyvät tiedot .....	45
7.3.1 Maasto ja olosuhteet.....	45
7.3.2 Työympäristön riskit .....	45
7.4 Tietotarpeiden analysointi .....	46
<b>8 Kaukokuljetus.....</b>	<b>49</b>
8.1 Eri puolajien kuljetusten vertailu .....	49
8.2 Toimintaan liittyvät tiedot.....	51
8.2.1 Autokuljetus.....	51

	3
8.2.2 Vesikuljetus.....	54
8.2.3 Rautatiekuljetus.....	57
8.3 Ympäristöön liittyvät tiedot .....	59
8.3.1 Renkaiden paineen hallintajärjestelmä .....	59
8.3.2 Olosuhteet .....	60
8.3.3 Kulutus ja päästöt .....	61
8.4 Materiaaliin liittyvät tiedot .....	62
8.4.1 Kuorma .....	62
8.4.2 Välivarastointi terminaalissa .....	63
8.5 Tietotarpeiden analysointi .....	64
<b>9 Loppukäyttö .....</b>	<b>66</b>
9.1 Toimintaan liittyvät tiedot.....	66
9.1.1 Vastaanotto .....	66
9.1.2 Puutavaran lajittelu ja käyttötarkoituksia .....	67
9.2 Ympäristöön liittyvät tiedot .....	68
9.2.1 Ekologisuus .....	68
9.2.2 Alueelliset tiedot.....	68
9.3 Materiaaliin liittyvät tiedot .....	68
9.3.1 Laatu .....	69
9.3.2 Mittaustekniikat .....	70
9.3.3 Kosteuden määrittäminen ja menetelmät .....	71
9.3.4 Tiedonsiirtotekniikat.....	73
9.4 Tietotarpeiden analysointi .....	73
<b>10 Ohjaujärjestelmät tiedon käsittelyssä.....</b>	<b>75</b>
10.1 Kuljetusten ohjaujärjestelmät .....	76
10.2 Informaatiolähteitä .....	77

	4
10.3 Teollinen internet ja toiminnanohjaus.....	78
10.4 Big Data ja tietojärjestelmät puunhuollossa .....	80
10.5 Ponsen Opti–tietojärjestelmät .....	81
<b>11 Tutkimustulokset.....</b>	<b>82</b>
11.1 Teknologiat lähikuljetuksessa.....	82
11.2 Teknologiat tienvarsivarastoinnissa .....	84
11.3 Teknologiat haketuksessa ja murskauksessa .....	85
11.4 Teknologiat kaukokuljetuksissa.....	87
11.5 Teknologiat loppukäytössä.....	89
<b>12 Johtopäätökset.....</b>	<b>90</b>
<b>13 Pohdinta.....</b>	<b>94</b>
<b>Lähteet .....</b>	<b>96</b>
<b>Liitteet .....</b>	<b>103</b>
Liite 1. Puutavaran kosteuden määrittäminen .....	103
Liite 2. Mittaustekniikoita puutavaralle kehittäviä ja tuottavia tahoja .....	104
Liite 3. Yleisimpien puupolttoaineiden kosteuspitoisuuksia.....	105
Liite 4. Lyhytversio tutkimusraportista .....	106

## Kuviot

Kuvio 1. Energiapuun toimitusketjun kuvaus.....	11
Kuvio 2. Työvaihejaon lajittelu .....	16
Kuvio 3. Kuormatraktori luonnollisessa ympäristössään .....	17
Kuvio 4. Metsäkuljetuksen työvaiheet .....	18
Kuvio 5. Ajanmenekin laskentatapa .....	19
Kuvio 6. Ajanmenekin muunnos käyttötuntituottavuudeksi .....	19
Kuvio 7. Ponssen LoadOptimizer-kuormainvaa'an kuljettajan näkymä .....	26
Kuvio 8. Ponssen metsäkonesimulaattori Saarijärvellä Poken tiloissa. ....	28
Kuvio 9. Työajan suhteelliset menekit haketuserittäin.....	39
Kuvio 10. Haketuskustannusten kehittyminen seula-aukon koon perusteella .....	40
Kuvio 11. Käsikäyttöisiä sähköisiä kosteusmittareita .....	42
Kuvio 12. NMR-laitteisto .....	44
Kuvio 13. Työntekijöiden kokemien olosuhdetekijöiden haitallisuus.....	46
Kuvio 14. Autokuljetus osana puutavaran toimitusketjua.....	49
Kuvio 15. Keskimääräiset puutavaroiden kuljetusmatkat .....	50
Kuvio 16. Kuljetuksen järjestämisen vaiheita .....	52
Kuvio 17. Keräilyajon keskeiset työvaiheet.....	53
Kuvio 18. Uimiskykyyn vaikuttavia tekijöitä.....	55
Kuvio 19. Kuljetusmatkoja.....	56
Kuvio 20. Suomen rataverkko, puutavaran terminaaleja ja kuormauspaikkoja.....	58
Kuvio 21. Kanadalaisen TireBoss-järjestelmän näyttöpäätte.....	60
Kuvio 22. Esimerkki tason 1 ympäristönhallintajärjestelmästä .....	61
Kuvio 23. EPPU-mittauslaskurin näkymä Excel-taulukkolaskentaohjelmassa .....	62
Kuvio 24. Terminaalitoimintojen kuvaus .....	63
Kuvio 25. Mittauksien tutkimusten ja kehittämisen alueita .....	70
Kuvio 26. LogPron reaaliaikaliittymä.....	77
Kuvio 27. Monilähdeinformaation kuvaaja.....	78
Kuvio 28. Tehokkaan puuhuollon tutkimuskohteet ja päämäärät 2025 .....	79
Kuvio 29. Teknologia tukena tiedonhallinnassa.....	80



## Taulukot

Taulukko 1. Puun ominaisuustietoja .....	15
Taulukko 2. Metsäkuljetuksen tietotarpeet.....	30
Taulukko 3. Tienvarsivarastoinnin tietotarpeet.....	37
Taulukko 4. Haketuksen tietotarpeet.....	48
Taulukko 5. Kaukokuljetuksen tietotarpeet.....	65
Taulukko 6. Loppukäytön tietotarpeet .....	75
Taulukko 7. Lähikuljetukseen liittyvät teknologiat. ....	83
Taulukko 8. Tienvarsivarastointiin liittyvät teknologiat.....	85
Taulukko 9. Haketukseen ja murskaukseen liittyvät teknologiat. ....	86
Taulukko 10. Kaukokuljetuksiin liittyvät teknologiat. ....	88
Taulukko 11. Loppukäyttöön liittyvät teknologiat. ....	90

## Sanasto

Ainespuu	Puunjalostuksen raaka-aine, saha- ja paperiteollisuus
Ajanmenekki	Tiettyyn tapahtumaan tai toimintoon kuluva aika
Ajouranvarsitiheys	Kokonaishakkuukertymä (m <sup>3</sup> puuta) per ajouranpituus (esim. 100 m)
Energiapuu	Puubiomassa, joka on tarkoitettu energiakäyttöön puulajista riippumatta
Hake	Koneellisesti pilkottua puutavaraa, käytetään polttoaineena
Hakkuutähde	Koostuu oksista ja latvuksista, joita syntyy hakkuissa
Hehtaarikertymä	Ainespuun kertymä hehtaaria kohden (esim. 50 kuutiometriä)
Kuitupuu	Käytetään sellun raaka-aineena, pieniläpimittaista
Käyttöpaikka	Käytetään myös nimitystä loppukäyttö. Voima- ja lämpölaitokset, sekä tuotantolaitokset, jotka käyttävät energiapuuta
Leimikko	Metsän rajattu alue, josta hakataan
Leimikon keskijäreys	Keskiläpimitta painotettuna leimikon pohjapinta-alalla
Metsähake	Yleisnimitys kaikille hakelajeille ( esim. hakkuutähdehake, kokopuuhake, rankahake)
Pienpuu	Energiakäyttö, ohutrunkoinen
Pyöreä puu	Eli raakapuu, käyttöpaikkana esim. sahat
Ranka	Käytetään yleensä pienikokoisen puun yhteydessä karsitusta rungosta, ei yleensä täytä ainespuun vaatimuksia
Tukkipuu, sahatukki	Arvokkain osa puusta, mittojen ja laadun perusteella katkaistu puu, sahateollisuus
T&K	Tutkimus ja kehitys
Tuoretiheys	Puun tuoreena mitatun massan ja tilavuuden suhde
Viilu	Ohut puusta höylätty osa, paksuudeltaan n. 1-3 mm

# 1 Johdanto

## 1.1 Metsäbiomassa Suomessa

Kokonaisuudessaan biotaloudella tarkoitetaan uusiutuvia luonnonvaroja käyttävää taloutta tuotteiden ja palveluiden tuottamiseen (Biotalous lyhyesti n.d.). Biotalous on yleistymässä oleva käsite energiantuotannossa, sillä fossiilisten polttoaineiden käyttö on vähentymässä ilmastonmuutoksen paineessa. Suomessa merkittävin biotalouden luonnonvara on metsä. Metsäteollisuus on Suomessa hyvin merkittävä voimavara, ja Suomi on kokoonsa nähden metsistä riippuvaisin valtio maailmassa. Suomessa selluntuotanto ja sahateollisuus ovat merkittävimmät toimialat raakapuun käyttäjinä. Vuonna 2016 raakapuuta käytettiin Suomessa noin 77 miljoonaa kiintokuutiometriä. (Metsäteollisuus Suomessa n.d.)

Metsäbiomassalla tarkoitetaan metsistä saatavaa energiamuotoa, bioenergiaa. Pyöreän puun lisäksi energiantuotannossa hyödynnetään myös sivuvirrat, joihin lukeutuvat esimerkiksi sellunvalmistuksen jäteliemet ja metsien hoitotöiden yhteydessä syntyvät puiden osista tehtävät hakkeet (Metsäteollisuus Suomessa n.d.). Metsäbiomassan logistiikalla tarkoitetaan biomassan siirtymistä toimitusketjussa metsästä käyttökohteeseensa. Kauttaaltaan koko toimitusketjussa kerätään, käsitellään ja tallennetaan paljon tietoa, jota hyödynnetään toiminnanohjauksessa ja -valvonnassa. Tekniikan kehittyessä myös käytettävät tiedonhallintateknologiat kehittyvät. Esimerkiksi metsissä energiapuun kaataminen toteutetaan metsäkoneilla, jotka tallentavat tietoa heti toimitusketjun alkupäässä. Tietoa käsitellään ja siirretään myös puun kuljetuksessa metsästä käyttökohteeseensa. Lisäksi tietoa siirretään ja hyödynnetään toiminnanohjausjärjestelmien avulla. Metsäbiomassan siirtyminen metsästä loppukäyttäjälle rakentuu useista eri toiminnoista, joista kerätään ja tallennetaan tietoa.

## 1.2 Tutkimusasetelma ja aiheen raja

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, kuinka tietoja kerätään toimitusketjun eri toiminnoissa sekä kuinka tietoja käsitellään ja automatisoidaan metsäbiomassan toimitusketjussa. Selvityksessä keskityttiin ainespuun ja energiapuun, toisin sanoen

metsäbiomassan, logistiikkaan ja toimitusketjuun. Toimitusketjua käsiteltiin kokonaisuudessaan, pois lukien metsänhakuun toiminnot. Tiedon lähteinä on käytetty kirjallisuutta, raportteja, havaintoja metsätyökoneen simulaattorista sekä haastattelututkimusta simulaattorin yhteydessä. Työn tarkoituksena oli myös palvella erityisesti ammatillisen tason metsäkoulutusta.

### 1.3 Tutkimusmenetelmät ja -kysymykset

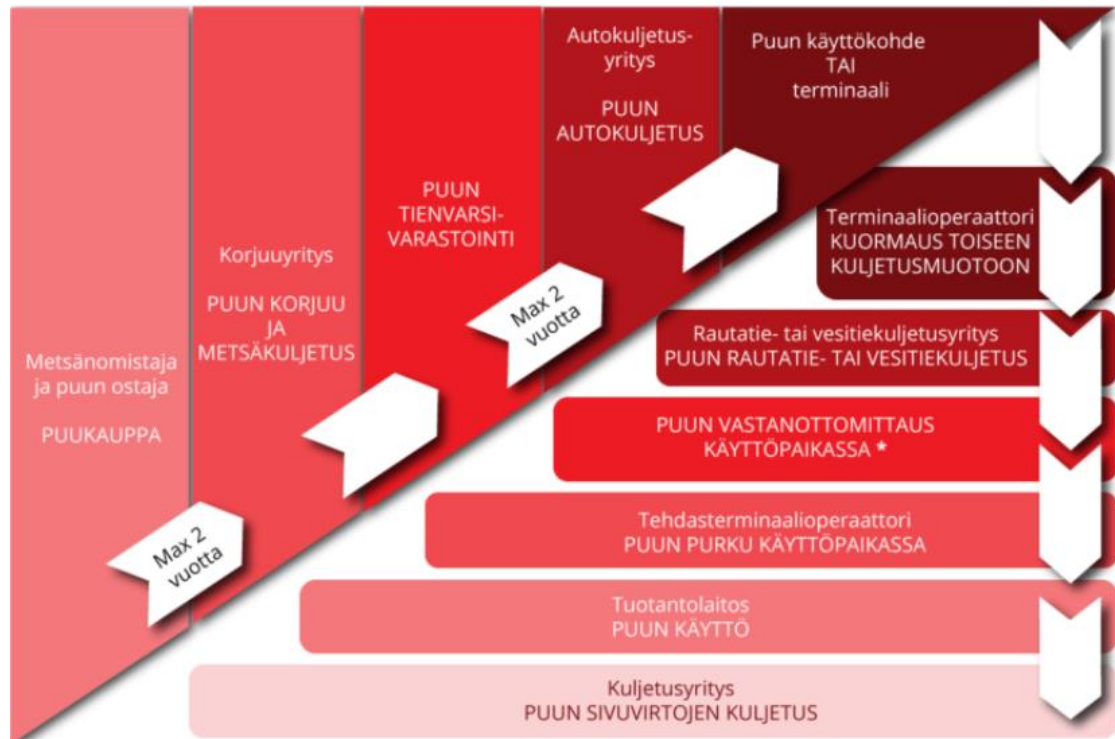
Opinnäytetyössä on käytetty useita tutkimusmenetelmiä, mutta pääpaino on kumminkin työpöytämenetelmällä, jonka tarkoituksena oli kartoittaa olemassa olevaa aineistoa. Työpöytä tutkimukselle on tyypillistä, että yhden aihealueen selvittäminen ei välttämättä onnistu kokonaisvaltaisesti yhden lähteen avulla, vaan aiheen käsittely vaatii poimintoja useista eri lähteistä. Menetelmä on siis tutkimuksiin ja raportteihin pohjautuva listaus, jossa asiat nivotaan yhteen. Työpöytämenetelmässä esiintyy kvantitatiivisen tutkimusmenetelmän piirteitä, sillä keskeistä on aiemmat teoriat ja johtopäätökset aiemmista tutkimuksista (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2007, 136). Työpöytämenetelmän lisäksi työssä on käytetty kenttätutkimusta ja haastattelua. Kenttätutkimukset ja haastattelut ovat kvalitatiivisia eli laadullisia tutkimusmenetelmiä. Ennen termin ”kvalitatiivinen” tuleamista yleiseen käyttöön, kutsuivat sosiaalitehteilijät toimiaan ”kenttätyöksi” ja aineistonkeruutaan ”osallistuvaksi havainnoinniksi” (Hirsjärvi ym. 2007, 130). Haastattelun tyyppiksi muotoutui puolistrukturoitu teema-haastattelu. Haastattelun muotona se on lomakepohjaisen ja avoimen haastattelu-muodon välimalli, jossa tyypillisesti haastattelun aihepiirit ovat tiedossa, mutta kysymysten järjestystä ja muotoa ei ole tarkoin määritetty (Hirsjärvi ym. 2007, 203). Puolistrukturoidulla haastattelutavalla viitataan siihen, että kysymysten rakenne on osin ennalta määritetty, jolloin haastattelussa saadaan kerättyä haluttuja tietoja. Haastattelua ei myöskään rakenneta lomakemuotoiseksi. Tutkimuksessa etsittiin vastauksia seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- ❖ Millä tavalla tietoja kerätään metsäbiomassan toimitusketjun eri toiminnoista?
- ❖ Kuinka kerättäviä tietoja käsitellään ja automatisoidaan?
- ❖ Mitä mittaustietoa on saatavissa tuottavuuden ja tehokkuuden näkökulmasta?

## 2 Metsäbiomassan toimitusketju

Metsätaloudessa biomassan toimitusketju alkaa metsästä hakkuutapahtumasta, ja päättyy loppukäyttöön esimerkiksi voimalaitoksessa. Opinnäytetyössä toimitusketju mielletään alkavaksi siitä, kun hakkuu on jo suoritettu ja puut ovat kasattuina hakkuualueella lähikuljetusta varten. Pisimmillään puun hankintaprosessi voi kestää jopa neljä vuotta, ja puun kuljetus on siitä vain yksi osa-alue. Toimitusketjuun liittyy kuljetuksen lisäksi muun muassa puun laatua parantavia prosesseja, kuten puun kuivausta, lajittelua ja haketusta. (Suunnitteluprosessi 2016.)

Toimitusketjulla tarkoitetaan logistisia toimintoja, joiden yhdistämisen tuloksena puutavara päätyy metsästä loppukäyttäjälleen (ks. Kuvio 1). Toiminnot voidaan eritellä omiksi aihealueikseen, joita käsitellään tiedonhallinnan kannalta myöhemmin. Metsäbiomassan toimitusketjun ensimmäisessä vaiheessa kuormatraktori noutaa valmiiksi kasatut puut hakkuualueelta ja kuljettaa puutavaran lähikuljetuksena tienvarsivarastoon. Tienvarsivarasto sijaitsee usein metsätien varrella, mutta jossain tapauksissa varasto voi olla myös maantien varrella. Puutavaraa voidaan varastoida varastossa pitkiäkin aikoja. Tienvarsivarastosta kaukokuljetus noutaa puutavaran kuljettavaksi terminaalioperaattorille välivarastoon tai loppukäyttäjälle. Välivarastossa ja tienvarsivarastossa puutavara voidaan myös hakettaa tai murskata suoraan puun kuljetusajoneuvon kuormatilaan tilanteesta riippuen. Jos kaukokuljetus toimittaa puutavaran terminaalioperaattorille, kuljetusta jatketaan sieltä loppukäyttäjälle joko autokuljetuksena tai toisella kuljetusmuodolla. Toimitusketju voidaan katsoa päättyneeksi, kun materiaali on toimitettu loppukäyttäjän käytettäväksi. Toimitusketjun päätepisteessä tuotantolaitokset suorittavat vielä materiaalin mittauksia.



Kuvio 1. Energiapuun toimitusketjun kuvaus (Suunnitteluprosessi 2016.)

Hämäläisen, Hujon ja Korpilahden mukaan ”Kun perinteisesti on mitattu lähinnä ulkoisia dimensioita ja niidenkin osalta vaaditaan aiempaa suurempaa mittaustarkkuutta, jatkossa joudutaan etsimään uudenlaisia mittaustekniikoita ja kehittämään niitä puutavaralogistiikkaan sopiviksi (Hämäläinen, Hujo & Korpilahti 2006).” Hämäläinen ja muut (2006) esittelevät erilaisia puutavaran mittaustekniikoita, joita voidaan soveltaa toimitusketjun eri vaiheissa. Menetelmien arvioidaan soveltuvan erilaisiin käyttöolosuhteisiin. He luettelevat puutavarasta mitattaviksi kohteiksi dimensio, muodon, kuoren paksuuden, kuorettoman läpimitan ja laatutunnukset. Laatu-tunnuksiksi on lueteltu laho, kasvunopeus, tiheys, kosteus ja massa. Hämäläisen ja muiden raportissa mittaustekniikat on ryhmitelty toimintaperiaatteiden perusteella. Toimintaperiaatteet ovat mekaaniset, kohdetta koskettavat mittaustekniikat, sähkömagneettiseen säteilyyn perustuvat mittaustekniikat, sähkön johtokykyyn perustuvat tekniikat ja akustiset menetelmät. (Hämäläinen ym. 2006, liite 3.)

### 3 Mittarit toimitusketjussa

#### 3.1 Mittareiden luokittelua

Toiminnan mittaamisella saadaan tukea päätöksenteolle ja toisaalta sitä, mitä mitataan, voidaan myös ohjata. Toiminnan mittareilla saadaan tietoa esimerkiksi toiminnan tehokkuudesta, tuottavuudesta, joustavuudesta ja laadusta. Mittareilla pyritään tiedonhankinnan lisäksi myös ohjaamaan toimintaa haluttuun suuntaan ja varmistamaan halutun strategian toteutuminen. Mittarit on valittava huolellisesti ja mahdollinen palkitsemisjärjestelmä on suunniteltava tarkasti, jotta mittareiden käytön hyöty saadaan esille. Mittarien yhteydessä käytetään usein termiä KPI (key performance indicator), jolla tarkoitetaan olennaisimpien tunnuslukujen mittaamiseen tarkoitettuja mittareita (Key Performance Indicators – Definition 2017). Tässä työssä keskitytään operatiivisen tason mittareihin tuottavuuden ja tehokkuuden osalta. Ennen siirtymistä varsinaisen toimitusketjun tietotarpeiden käsittelyyn, on olennaista ymmärtää tuottavuuden ja tehokkuuden käsitteet, joita käsitellään myös muissa luvuissa myöhemmin.

Mittareita voidaan luokitella useilla eri tavoilla. Tuomaisen mukaan muun muassa strategisen tason, taktisen tason ja operatiivisen tason mittareihin sekä suoriin mittareihin ja välillisiin mittareihin. Operatiivisilla mittareilla mitataan päivittäisen toiminnan suorittamista, taktisilla mittareilla mitataan pidempiin ajanjaksoihin perustuvaa toimintaa ja strategisilla mittareilla vielä pidempiä, jopa vuosia kestäviä ajanjaksoja. Kuitenkin strategisista mittareista johdetaan usein operatiivisen tason ja taktisen tason mittarit. (Tuomainen 2011, 30-31.) Kujansivu, Lönnqvist, Jääskeläinen ja Sillanpää kuvailevat suoran mittarin mittaavan tietoa suoraan halutusta kohteesta ja välillisen mittarin mittaavan mittauskohteeseen oleellisesti liittyviä tekijöitä. Välillistä mittaria voidaan käyttää esimerkiksi tuottavuuden mittaamisessa pienemmissä osissa, sillä tuottavuutta on varsin hankala mitata suoraan. Tuottavuuteen liittyen voidaan välillisesti mitata esimerkiksi resurssienkäytön tehokkuutta, joka on yksi osa-alue tuottavuuden määrittelyssä. (Kujansivu, Lönnqvist, Jääskeläinen & Sillanpää 2007, 168-169.)

## 3.2 Tuottavuus- ja tehokkuusmittarit

Tuottavuuden ja tehokkuuden käsitteet voidaan joskus sekoittaa keskenään ja käytännössä ne ovatkin päällekkäiset käsitteet. Usein tuottavuutta käytetään työpanoksen tehokkuuden mittaamiseen, jolloin tarkastellaan käytetyn työajan ja tuotoksen suhdetta (Johansson 2012). Tuottavuutta voidaan yleisemminkin kuvata mittariksi, jolla tarkastellaan käytettyjen resurssien ja saadun tuotoksen välistä suhdetta. Toisinaan sitä, kuinka tehokkaasti resursseja käytetään tuotteen tai palvelun tuottamiseksi. Esimerkiksi haketuksessa polttoaine on resurssi, jolloin mitä pienempi polttoaineenkulutus on, sitä parempi on tuottavuus olettaen tuotoksen pysyvän samana. Tuottavuus paranee tuottamalla enemmän ja saman aikaisesti käyttämällä vähemmän tai yhtä paljon resursseja. Kokonaistuottavuuden mittaaminen koko puutavaran toimitusketjusta on hankalaa, mutta tuottavuutta voidaan mitata yksittäisistä työpisteistä tai työsuorituksista. (Tuottavuus ja kustannustehokkuus sisäisen tehokkuuden mittarina.)

Myös Sipiläinen ja Ryhänen ovat kuvanneet tutkimuksessaan tuottavuuden määritelmää tuotoksen ja panoksen suhteeksi. Sipiläisen ja Ryhäsen mukaan Latruffe on jakanut tuottavuuskäsitteet kolmeen kategoriaan. Osittaistuottavuudella mitataan vain yhtä käytettyä panosta ja sen vaikutusta tuotokseen. Hyvä esimerkki osittaistuottavuuden mittaamisesta on työn tuottavuuden mittaaminen. Kategorian toinen käsite on monitekijätuottavuus. Sillä tarkoitetaan useampien panosten mittaamista ja niiden vaikutusta tuotokseen. Kolmas käsite mittaamisessa on kokonaistuottavuus. Yksinkertaisesti selitettynä siinä tarkastellaan kaikkien tuotosten ja panosten suhdetta. Panosten ja tuotosten välisellä suhteella taas tarkoitetaan tuotantoteknologiaa tai tuotantoyhteisöä. Sipiläisen ja Ryhäsen tutkimuksessa on myös lukuisia laskentakaavoja, joita voidaan käyttää erilaisten tuottavuuden tunnuslukujen laskennassa. (Sipiläinen & Ryhänen 2015, 15-17.)

Tehokkuuden ja tuottavuuden mittaaminen puutavaran toimitusketjussa on varsin hankalaa hakkuun osalta. Tehokkuuden määritelmänä voidaan pitää yrityksen tuottavuuden tasoa verrattuna suoritealan parhaaseen mahdolliseen tasoon nähden. Tehokkuudella tarkoitetaan oikeastaan suoritetun tapahtuman suhdetta normituotokseen. Normituotoksen määrittäminen on kuitenkin hakkuussa hankalaa. Hankalan



siitä tekevät erityisesti kuljettajien väliset erot, maaston ominaisuuksien vaihtelun kirjo ja puuston ominaisuuksien vaihtelu alueittain. Pelkästään Suomen sisällä puuston ominaisuuksien muutokset ovat suuria, kun verrataan esimerkiksi rannikkoseudun ja Keski-Suomen puustoa. Erot korostuvat entisestään, kun verrataan tuloksia maailmanlaajuisesti, sillä puustokannoissa ja puulajeissa on huomattavia eroja. Mahdollisesti useiden maiden kuljettajien tiedoista koostuvien datapankkien käyttö hakkuun normituotoksen määrittämisessä ei siis anna luotettavaa tietoa. Käytännössä yleispätevän normituotoksen määrittäminen on mahdotonta.

Tuottavuuden määrittämisessä olisikin keskityttävä tiettyyn alueeseen, maastoon ja tiettyyn kuljettajaan. Tällöin tietylle kuljettajalle olisi mahdollista määrittää normituotos ja verrata hakkuun edetessä työn tuottavuutta. Toisaalta kuljettajan siirtyessä toiselle hakkuualueelle, jossa puuston ja maaston ominaisuudet muuttuvat, on edellisellä alueella mitattu normituotos taas käyttökelvoton. Metsäkoneen tietojärjestelmään yhdistetty tuottavuuslaskuri voisi olla yksi ratkaisu tuottavuuden arvioinnissa. Laskuri keräisi tietoa kuljettajan työskentelystä tietyssä työympäristössä, ja vertaisi jatkuvasti valmiin tuotoksen tietoja edelliseen. Hakkuussa yksittäisen tuotoksen kesto voisi olla esimerkiksi kaadon aloittamisesta seuraavan kaadon aloittamiseen kuluva aika.

Metsäkoneiden tietojärjestelmät keräävät tietoa kuljettajan työskentelystä, ja tuottavat automaattisesti raporttia kuljettajan tehokkuudesta. Tietojärjestelmistä on kerrottu lisää luvussa 10. Automaattisten tietojärjestelmien avulla tehokkuutta ja tuottavuutta voidaan seurata erilaisten tunnuslukujen avulla. Seurattavia tietoja ovat ainakin työaika, polttoaineen kulutus ja koneen käyttö. Tietojärjestelmien tuottaman tiedon avulla voidaan ainakin arvioida työn tehokkuutta. Samalla periaatteella tietoja kerätään myös lähikuljetuksista kuormatraktorin toiminnasta. Tietojen avulla tietojärjestelmät antavat palautetta tehdystä työstä. Jos pohditaan koko puutavaran toimitusketjun tuottavuutta tai tehokkuutta, tarkastellaan oikeastaan leimikosta loppukäyttäjälle siirtyvän puutavaran määrää ja sen suhdetta normisiirtymään.

Koko toimitusketjun tuottavuuden tai tehokkuuden määrittäminen ei siis periaatteessa ole mahdollista, joten tunnuslukuja on määritettävä pienemmistä kokonaisuuksista, kuten lähikuljetuksen tai hakkuun tuottavuuksista. Tällöin määrittäminen

on mahdollista, eli voidaan tarkastella esimerkiksi lähikuljetuksissa kuljetetun puutavaran määrää aikayksikössä tai käytettävissä olevan kuljetuskapasiteetin hyödyntämistä. Samoin myös esimerkiksi kaukokuljetuksissa voidaan tarkastella käytettävän kapasiteetin maksimointia.

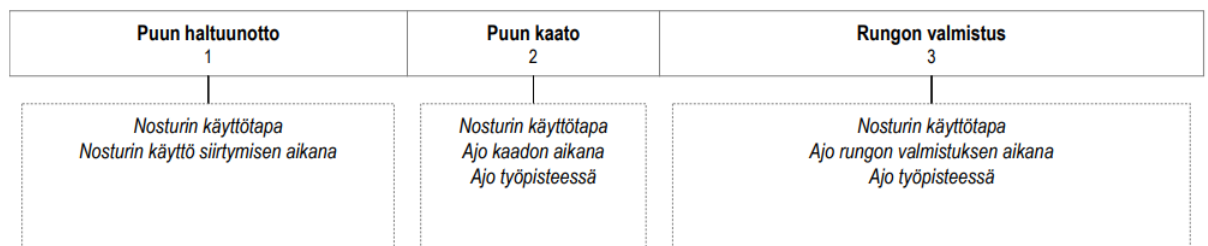
## 4 Metsänhakkuu

Toimintona hakkuu on monimutkainen ja tarkka prosessi. Sen yksityiskohtainen läpikäyminen vaatisi huomattavan selvitystyön, joten seuraavassa esitellään hakkuuta pahtuma hyvin tiivistetysti. Hakkuukoneella toteutettava puunkaato tarjoaa runsaasti mahdollisuuksia tiedonkeräämiseen koneen sisältämien tietojärjestelmien ansiosta. Koneen tietojärjestelmällä voidaan tuottaa kattavasti tietoa, vaikka Suomen olosuhteet ovatkin erityisesti talvella osittain haastavat. Tietoja saadaan muun muassa polttoaineen kulutuksesta, ajanmenekistä ja konekohtaisesta tuottavuudesta. Lisäksi toiminnosta kirjataan erilaisia ominaisuustietoja runko- ja pölkkykohtaisesti (ks. taulukko 1). Polttoaineen kulutusta seurataan koneen käyntiajalta ja työskentelyajalta, joten mittauksen on oltava jatkuvaa. Muita moottorin toiminnasta seurattavia tietoja ovat vähintään moottorin lämpötila ja moottorin kierrosnopeus. Joka sekunti tuotetaan työkoneen liikkeistä myös sijaintitietoa, josta voidaan määrittellä siirtymismatkat ja työpisteet. Tietoa saadaan myös kokeneilta kuljettajilta, mikä on tiedonlähteenä vähintään yhtä arvokas.

Taulukko 1. Puun ominaisuustietoja (Hakkuukoneen tietojärjestelmä tutkimustiedon lähteenä 2010)

RUNKOKOHTAISET:	PÖLKKYKOHTAISET:
Leimikon tunnus	Rungon numero
Rungon numero	Pölkyn numero
Puulaji	Puutavaralaji
Laatuluokkien lkm/puulaji	Pituus (cm)
Kannonkorkeusläpimitta (cm)	Latvaläpimitta (cm)
Latvaläpimitta (cm)	Tilavuus (dm <sup>3</sup> )
Pituus (m)	

Puun käsittely hakkuukoneella voidaan jakaa karkeasti kolmeen päätyövaiheeseen: puun haltuunotto, puun kaato ja rungon valmistus (ks. kuvio 2). Täten yksittäisen puun käsittelyaika määräytyy sen perusteella, kuinka paljon päätyövaiheisiin kuluu yhteensä aikaa. Päätyövaihe voidaan jakaa edelleen työvaiheisiin, jotka voidaan vielä jakaa osatyövaiheisiin. Voidaan siis puhua tietynlaisesta ”osaluettelosta”, jossa alemmat tasot yhdessä muodostavat yhden ylemmän tason osan. Ajanmenekkitieto saadaan kohdistettua tarkasti juuri sille puulle, jonka käsittelyn aikana tieto on syntynyt. Tietojärjestelmästä saatava tieto siis sisältää ajanmenekkitiedon, sen rakenteen ja tuotoksen. Ajanmenekkitietojen lisäksi tietojärjestelmä tallentaa tietoja teknisistä ajoista, joiden avulla voidaan jollain tasolla määrittää esimerkiksi kuljettajan taitoja ja automatisoinnin kohteita. Tekniset ajat viittaavat eri työnsiin käytettyihin aikoihin, kuten nosturin ja sen liikkeiden suhteellisiin käyttöaikoihin. (Hakkuukoneen tietojärjestelmä tutkimustiedon lähteenä 2010.)



Kuvio 2. Työvaihejaon lajittelu (Hakkuukoneen tietojärjestelmä tutkimustiedon lähteenä 2010.)

## 5 Lähikuljetus

Puutavaran lähikuljetus hakkuun jälkeen tienvarsivarastoille tapahtuu kuormatraktorilla, jossa on kuormatilan lisäksi nimensä mukaisesti kuormain (ks. kuvio 3). Lähikuljetuksesta käytetään usein myös termiä metsäkuljetus. Kuormatraktori kuljettaa puutavaran tienvarsivarastoon hakettavaksi tai murskattavaksi tai varastoon odottamaan sellaisenaan jatkukuljetetusta. Puutavara haketetaan tai murskataan tienvarsivarastosta yleensä suoraan kuormatilaan, mikäli haketusta metsässä tehdään. Tienvarsivarastot sijaitsevat metsäteiden varsilla, josta kaukokuljetus noutaa puutavaran jatkukuljetettavaksi. Varastointi maanteiden varsilla ei ensisijaisesti ole sallittua, ja

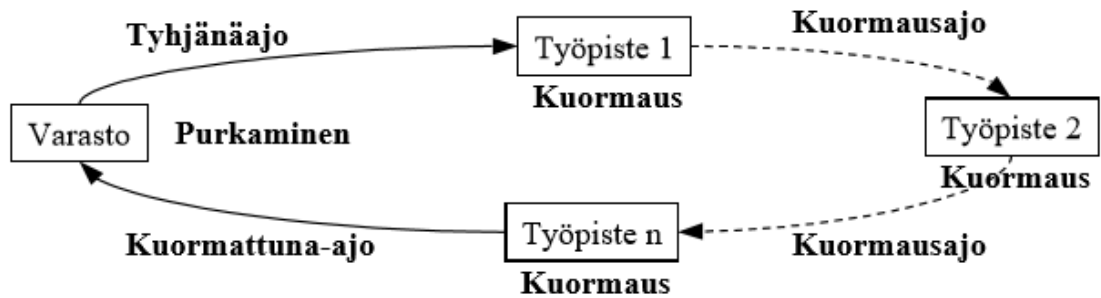
puutavaran haketus maanteillä on ehdottomasti kielletty (Puutavaran lastaus ja varastointi maanteillä).



Kuvio 3. Kuormatraktori luonnollisessa ympäristössään (Puutavaran lähikuljetus 2012)

## 5.1 Toimintaan liittyvät tiedot

Metsäkuljetuksen työvaiheet koostuvat tyhjänä ajosta, kuormauksesta yhdessä tai useammassa työpisteessä, kuormausajosta, kuormattuna-ajosta ja purkamisesta (ks. kuvio 4). Työvaiheiden ymmärtäminen on olennaista tiedon hankinnan näkökulmasta. Kuormausajolla tarkoitetaan ajoa, joka tapahtuu työpisteiden välissä vajaalla kuormalla. Suomessa puunkorjuussa käytetään ns. tavaralajimenetelmää, jossa puiden karsinta ja pilkkominen toteutetaan jo kannolla, ja kantavat kuormatraktorit kuljettavat puutavaran varastoon (Hakkila 2004, 21). Perinteisellä metsäkuljetuksella tarkoitetaan kuljetusta kannoilta tienvarsivarastoille, mutta käytössä on myös jatkettuja lähikuljetuksia, joissa kuormatraktori kuljettaa puutavaran suoraan satelliittitermiinaaleille (Hakkila 2004, 46-47).

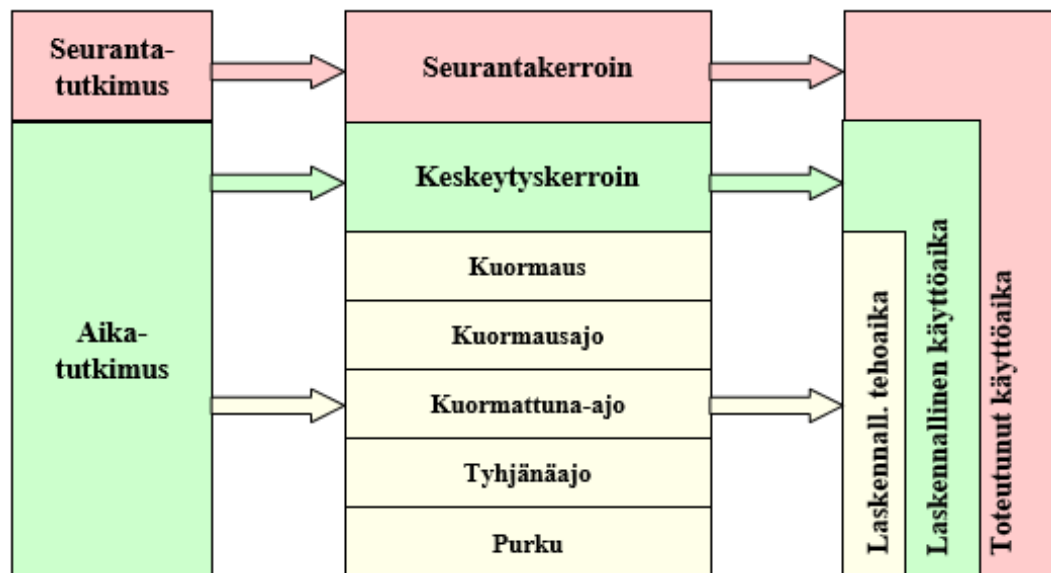


Kuvio 4. Metsäkuljetuksen työvaiheet (Väkevä, Kariniemi, Lindroos, Poikela, Rajamäki & Uusi-Pantti 2003)

### 5.1.1 Kuormaus- ja purkutoiminnot

Väkevä ja muut ovat tutkineet ajanmenekkitietoja metsäkuljetuksessa. Tutkimuksessa kuormauksella viitataan ainoastaan varsinaiseen kuormauksessa kulutettuun aikaan työpisteessä. Kuormausajoon sisältyvät kaikki siirtymiset ja koneen siirrot työpisteiden välillä. Tutkimuksessa talven ja kesän kerätyt aineistot käsiteltiin yhdessä ja ajanmenekki laskettiin erikseen päätehakkuille ja harvennuksille sekä pääpuutavarylajeille. Kuljettajan ja koneen ominaisuuksia ei huomioitu mittauksissa, vaan ajanmenekin selitteenä käytettiin leimikon keskijäreyttä, hehtaarikertymää ja ajouranvarsitiheyttä. Parhaaksi näistä vaihtoehdoista osoittautui keskijäreys. Hakkuutapa ja puutavaralaji vaikuttavana tekijänä laskettiin suhteellisen ajanmenekkitiedon avulla vertaamalla harvennuksen ja päätehakkuun tukin ajanmenekkiä. (ks. Väkevä ym. 2003, luku 3.1.1.)

Tutkimusmenetelmänä Väkevä ja muut käyttivät aika- ja seurantatutkimuksen yhdistelmää (ks. kuvio 5), jossa työvaiheiden tehoajanmenekki ja alle 15 minuutin keskeytysten määrä selvitettiin aikatutkimuksen avulla. Käyttöajanmenekki pitkällä aikavälillä taas selvitettiin seurantatutkimuksella. Käyttötuntituottavuus saatiin laskettua kuvion 6 kaavalla ajanmenekistä. (Väkevä ym. 2003, luku 3)



Kuvio 5. Ajanmenekin laskentatapa (Väkevä ym. 2003, luku 3)

$$T = \frac{60}{(Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5) * a * b}$$

$T$  = käyttötuntituottavuus ( $m^3/t$ )

$Y_1$  = kuormauksen tehoajanmenekki ( $min/m^3$ )

$Y_2$  = kuormausajon tehoajanmenekki ( $min/m^3$ )

$Y_3$  = kuormattuna-ajon tehoajanmenekki ( $min/m^3$ )

$Y_4$  = tyhjänäajon tehoajanmenekki ( $min/m^3$ )

$Y_5$  = purkamisen tehoajanmenekki ( $min/m^3$ )

$a$  = keskeytyskerroin (alle 15 min keskeytykset)

$b$  = seurantakerroin

Kuvio 6. Ajanmenekin muunnos käyttötuntituottavuudeksi (Väkevä ym. 2003, luku 3)

Väkevä ja muut määrittivät tutkimuksessaan erikseen myös purkamiseen kuluvan ajan. Varastolla taakkojen nosto kuormasta pinoon laskettiin varsinaiseksi purkamisajaksi. Kaikki ylimääräiset siirtymiset ja liikkeet varastopaikalla kellotettiin omaksi

ajakseen purkamisajonaikana. Puutavaran purkamiseen käytettyyn aikaan laskettiin myös puutavaran lajittelu varastoon purkamisen aikana sekakuormasta. (Väkevä ym. 2003, 14.)

### 5.1.2 Kuormaus, kuormattuna ja tyhjänä ajo

Kaikki työpisteiden välillä tapahtuvat liikkeet itse kuormaustapahtumaa lukuun ottamatta laskettiin Väkevän ja muiden tutkimuksessa kuormausajoksi. Useat tekijät vaikuttavat kuormausajonopeuteen, kuten kuljettajan ajotottumukset, työpisteiden määrä, hakkuutapa, maastoluokka, vuodenaika ja koneen ajotekniset ominaisuudet. Kuormakohtainen kuormausajomatka laskettiin tutkimuksessa kertomalla kuormatilan koko kuormausajomatalla kuutiometriä kohden. Kaavojen toiminta on selitetty yksityiskohtaisesti Väkevän ja muiden tutkimusraportissa. (Väkevä ym. 2003, luku 3.1.2.)

Tärkeimmät mitattavat suureet kuormausajon tutkimisessa ovat kuormausajomatka, kuormausajoaika ja kuormausajonopeus. Näiden suureiden avulla on mahdollista määrittää useita toimintaan vaikuttavia tekijöitä. Erityisesti ajanmenekifunktio tuntuisi olevan hyvin merkittävässä roolissa toiminnan mittauksessa. Tyhjänä ajoksi Väkevän ja muiden tutkimuksessa määriteltiin varastolta ensimmäiselle työpisteelle suoritettava ajo eli siihen kuluva aika, sekä toimenpiteet, jotka vaaditaan kuormauksen aloittamiseen ja muuhun kuormatraktorin valmistelemiseen. Samalla periaatteella kuormattuna-ajoon kuluva aika määritellään sen perusteella kuinka kauan viimeiseltä työpisteeltä siirtyminen varastolle kestää valmisteluineen. (Väkevä ym. 2003, 14.)

### 5.1.3 Kuorman koko

Tuottavuuden kannalta kuorman koolla on suuri merkitys kuormattuna-ajossa. Etusermin pinta-alalla, keskimääräisellä puutavaralajin pituudella ja pinotiivisyprosentilla Väkevän ja muiden tutkimuksessa laskettiin laskennallinen kuormakoko, ja keskikuormaa pienennettiin viidellä prosentilla. Tällä mallinnettiin vajaakuorman vaikutusta keskimääräiseen kuormakokoon. Lisäksi kuorman määrityksessä arvioitiin aikatutkimuskuormat. (Väkevä ym. 2003, 15.)

Väkevä ja muut ovat tutkimuksessaan verranneet tutkimustietojaan aiempaan tutkimukseen, ja selittäneet tutkimustulosten eroja. Vertailusta käy ilmi olennaisia seikkoja, kuinka laskentaperusteet vaikuttavat saatuihin tuloksiin. (Väkevä ym. 2003, luku 6.1.2.)

#### 5.1.4 Tuottavuus ja kuljettaja

Tehokkuus ja tuottavuus koko toiminnossa koostuvat useiden työvaiheiden suorittamisesta optimaalisella tavalla. Tärkein mittari on ajankäyttö, jolla voidaan määritellä pitkälti työn tehokkuutta tai tehottomuutta. Aiemmin luvussa esitelty tutkimus on hyvä esimerkki siitä, kuinka työn tehokkuuden tai tuottavuuden mittareita voidaan määritellä. Aluksi siis mitataan ja määritellään jonkinlaiset standardiajat, joihin päästäessä työn ajankäyttö on riittävän tehokasta. Näin voidaan seurata esimerkiksi uuden kuljettajan kehittymistä työssään ja antaa tälle palautetta, kuinka työvaiheiden suorittamista voidaan parantaa. Ajankäyttö taas koostuu tarkemmin ajateltuna erilaisten työtehtävien suorittamisesta. Esimerkiksi oikeanlainen kuormaimen käyttö säästää aikaa, jolloin työ on tuottavampaa. Toisaalta taas metsätraktorin huonot reititivalinnat sekä kuluttavat maastoa, että maksavat turhaa aikaa, jolloin työn tuottavuus ei ole parhaalla mahdollisella asteella. Kuljettajien väliset erot voivat olla hyvinkin suuria, eli kuljettajan merkitys tuottavuudessa on merkittävä. Väätäinen, Ikonen, Ala-Illomäki, Sirén, Lamminen ja Asikainen esittelevät tutkimuksessaan mahdollisuuksia opastavista tietojärjestelmistä, joiden käyttökokemukset ovat olleet positiivisia. Opastavat tietojärjestelmät antavat palautetta kuljettajalle tehdystä työstä ja täten työtä voidaan arvioida ja suunnitella tarvittaessa uudelleen. Metsäkuljetuksissa hyödyt tulisivat esille sekä kokemattomammilla kuljettajilla, että kokeneilla kuljettajilla tehokkuuden parantamiseksi. Lähikuljetuksissa on yleisesti käytössä myös aiemminkin mainittu kuormainvaakamittaus, jolloin kuljettajan on mahdollista seurata työsuoritteita reaaliajassa. Opastavia järjestelmiä on kaavailtu käytettäväksi myös muissa toiminnan suunnittelun ulottuvuuksissa. (Väätäinen, Ikonen, Ala-Illomäki, Sirén, Lamminen & Asikainen 2012, 29-30.)



### 5.1.5 Jatkettu lähikuljetus

Hakkila kertoo tutkimuksessaan terminaalihaketusjärjestelmästä, jonka toimintamalli eroaa perinteisestä terminaalihaketuksesta. Menettely on kehitetty Vapon toimesta. Toimintamallissa hakkuutähdettä kuljetetaan samalla kalustolla varsinaisen metsäkuljetuksen lisäksi satelliittiterminaalille. Käytettävänä kalustona on maataloustraktorivetoinen HavuHukka perävaunu, jossa on kokoon puristettava kuormatila. Satelliittiterminaalit sijaitsevat usein alle 10 kilometrin etäisyydellä metsävarastolta. Toimintamallin avulla välivarastohaketuksessa syntyvät tila- ja odotusongelmat vältetään. Jatkettun lähikuljetuksen avulla suoritettava terminaalihaketusjärjestelmä ei ole täytännyt odotuksia. (Hakkila 2004, 46-47.)

Jatketussa lähikuljetuksessa kaluston ominaisuudet poikkeavat perinteisestä metsäkuljetuksesta, sillä kuljetuskapasiteettia vaaditaan enemmän. Kokoon puristettavalla kuormatilalla saadaan lisättyä kapasiteettia. Aikaa kuluu koko lähikuljetukseen huomattavasti enemmän verrattuna perinteiseen lähikuljetukseen, jossa puutavara kuljetetaan vain palstalta tienvarsivarastoon. Toisaalta taas toimitusketjussakin on eroa perinteiseen malliin verrattuna. Perinteisesti kaukokuljetus kuljettaa puutavaran suoraan varsinaiselle terminaalille. Lähikuljetuksen näkökulmasta ajatellen toimintaa helpottaa se, että varsinaisten tienvarsivarastojen tilantarveongelma helpottuu, kun puutavaran kuljetusta jatketaan suoraan satelliittiterminaalille. Lähikuljetuksen osalta tietotarpeet painottuvat satelliittiterminaalien sijaintiin, kuljetusreitteihin ja kuljetettavaan puutavaramäärään. (ks. Hakkila 2004, 46-47.)

## 5.2 Ympäristöön liittyvät tiedot

### 5.2.1 Ergonomia: tärinä

Rytkösen ja Vähänikkilän tutkimuksessa on esitetty mielenkiintoista tutkimustietoa ajonaikaisesta tärinästä lähikuljetuksissa, kuormatraktorilla ajettaessa. Tärinä aiheuttaa jossain vaiheessa työuraa vaivoja kuljettajille. Tutkimuksessa käytettiin tärinäantureita ja vahvistimia, 8-kanavaista instrumenttinauhuria (Sony PC208A) ja 11-kanavaista analysointijärjestelmää (B&K Pulse). Tärinän mittauspaikat kuormatraktorin

ohjaamossa olivat istuin, ohjaamon lattia ja koneen runko ohjaamon alla. Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia rengaspaineiden vaikutusta tärinään. Tutkimuksessa todettiin, että tärinästä johtuvat ongelmat on vaikea ratkaista, mutta rengaspaineiden alentamisen todettiin vähentävän tärinää, heiluntaa ja iskuja erityisesti vaikeassa maastossa ajettaessa. Lisäksi ajonopeudella näyttäisi olevan merkitystä, sillä ajettaessa 11 km/h John Deere 1270D istuimen tärinä vähentyi, kun rengaspaineita laskettiin. Myös kuljettajien henkilökohtaiset kokemukset tukivat tutkimustulosten sanoa. (Rytkönen & Vähänikkilä 2010.)

Työntekijöiden hyvinvoinnilla on suora vaikutus tuottavuuteen, varsinkin jos ammattitaitoisen työntekijän työkyky häviää työstä johtuvien haittojen vuoksi. Ongelmakoh- tien tutkiminen on siis taloudellisessakin mielessä kannattavaa. Aiemmassa kappa- leessa esitetty Rytkösen ja Vähänikkilän tutkimus on oivallinen esimerkki siitä, kuinka hyödyntämällä tekniikkaa voidaan saada toiminnasta tarvittavaa tietoa, jota voidaan käyttää hyödyksi toiminnan suunnittelussa. Kaikkea tarvittavaa tietoa ei välttämättä ole helposti saatavilla, eikä jonkin spesifin anturijärjestelmän asentaminen metsäko- neen tietojärjestelmään ole välttämättä tarpeellista, mutta soveltavat tutkimukset tarjoavat mahdollisuuden tiedon kartoittamiseen. (ks. Rytkönen & Vähänikkilä 2010.)

### 5.2.2 Maasto ja esteet

Väätäinen ja muut ovat tutkimuksessaan käsitelleet opastavia tietojärjestelmiä met- säkoneiden tukena. Tietojärjestelmistä on saatu lupaavaa palautetta ja järjestelmään voidaankin tallentaa tietoa useista tärkeistä toimintaan vaikuttavista asioista kuor- matraktorinkuljettajan näkökulmasta. Tietojärjestelmään voidaan kirjata tietoa esi- merkiksi voimalinjoista ja muista esteistä, joista järjestelmä varoittaa. Tietojärjestel- mään on mahdollista tallentaa tietoa myös tienvarsivarastojen sijainneista, ajoura- verkoista, sekä puutavaralajien ja -määrien sijainneista. Hakkuukone kommunikoi kuormatraktorin kanssa, sekä kerää ja välittää tietoa kuormatraktorille työskentelyn aikana. Puutavaran sijaintien lisäksi hakkuukoneella voidaan mitata maaston kanta- vuutta ja välittää tietoa heikoista maastonkohdista kuormatraktorille. Lisäksi paikka- tietojärjestelmällä voidaan varoittaa muun muassa korjuukohteen rajoista ja suojel- tavista luontoalueista. Tämän lisäksi järjestelmiä on kaavailtu hyödynnettäväksi yhä

enemmän reittien suunnittelussa. (Väätäinen, Ikonen, Ala-Ilomäki, Sirén, Lamminen & Asikainen 2012, 28-30.)

Työmaa-alueilla on saatavilla ennakkotietoja, jotka on huomioitava työn suunnittelussa ja toteutuksessa. Ennakkotiedoissa on myös työmaakohtaiset ohjeet, jotka sisältävät karttatiedoston, josta selviää muun muassa leimikon koko, varastopaikkojen sijainnit ja ajoon vaikuttavat tiedot. Ajoon vaikuttavia tietoja ovat esimerkiksi pehmeät maaston kohdat, jyrkänteet ja vesistöjen sijainnit. Lisäksi on arvioitava ja suunniteltava puutavaran vaatima varastointitila kokonaisuudessaan. Metsäteholta on tarjolla taulukkoja, joilla voidaan käyttää apuna hahmoteltaessa varastojen tilantarpeita. Usein myös kuljettajan ammattitaito riittää lähteeksi tilantarpeen määrittämisessä. (Ennakkotieto 2012; Varastopaikka 2012.)

### 5.3 Materiaaliin liittyvät tiedot

#### 5.3.1 Puutavaratiedot kentällä

Lähikuljetuksissa tietoa saadaan kerättyä puutavaran lajista, laadusta ja määrästä. Nykyään tarjolla on ohjelmistoratkaisuja, joilla harvesterin on mahdollista välittää tietoa kuormatraktorille esimerkiksi kaadetuista määrästä ja puulajeista, lisäksi ohjausjärjestelmällä voidaan seurata reaaliajassa muun muassa varastojen tilannetta. Ohjelmistoja on käsitelty tarkemmin luvussa 10. Kuormatraktorin käytöstä taas kuormausta-  
pahtuman aikana järjestelmään tallentuu tietoa muun muassa kuormatun puutavaran määrästä, eristä ja lajeista. Alemmassa luvussa 5.3.2 on käsitelty kuormainvaan tiedonsiirtoa tarkemmin.

Puutavaran tulisi aina olla merkittynä kuormatraktorin saapuessa, erityisesti silloin, kun käsitellään hyvin saman näköisiä puulajeja. Merkintää puussa käytetään muun muassa silloin, kun puutavaran laadussa on poikkeama. Merkinnöissä käytetään myös ennalta sovittuja värikoodeja. Kuljettajan kannattaa kuormata puut kuormatilaan siten, että merkinnät ovat nähtävissä ohjaamosta. Tämä helpottaa kuorman purkamista ja lajittelua varastolla. Kuorma tulisi purkaa varastoon siten, että jatkokuljetuksen suorittaja voi kuormata varastolta mitä tahansa puulajia ja missä tahansa järjestyksessä. Laatuohje määrittelee tarkemmat tiedot siitä, kuinka puutavaran tulisi

varastossa olla. Puutavaran tunnistetiedot tulee kiinnittää kuormatraktorinkuljettajan toimesta puutavaraan. Kuormatraktorinkuljettajan vastuulla on myös havainnoida itse, kuinka työ kannattaa kokonaisuudessaan suorittaa, mutta lisäksi on huomioitava ns. ennakkotiedot. Ennakkotiedoissa on ainakin työmaakohtaiset ohjeet. (Kuorman rakenne 2012; Taakan tuonti pinoon ja pinon rakentaminen 2012.)

### 5.3.2 Kuorma

Esittelen tässä esimerkkinä kuormaimen asennettavan Ponsen LoadOptimizer -kuormainvaa'an (ks. kuvio 7). Kuormaa voidaan mitata myös ajoneuvon rakenteisiin asennetulla vaa'alla. Muita markkinoilla olevia kuormainvaakoja ovat muun muassa venymäliuskaan perustuva Epec LoadOptimizer, markkinoilla yleisin hydraulisella sylinterillä varustettu vaakamerkki LoadMaster 2000, TB400, sekä venymäliuskaan perustuvat riipukevaa'at John Deereltä ja Mecanilta (Melkas 2009, 36). Ponsen LoadOptimizer -vaa'alla puutavaran punnitus on automatisoitu, eli data tallentuu automaattisesti esimerkiksi kuormaa purettaessa ja punnitus onnistuu myös eräkohtaisesti puutavaralajeittain. Vaa'an painoanturi on suunniteltu kestäämään hankaliakin olosuhteita ja näyttö on pöly- ja vesitiivis. Tiedot kuormista ja kuormapäiväkirjat siirtyvät asiakkaiden järjestelmään USB-muistitikulla tai tiedot voidaan vaihtoehtoisesti tulostaa paperille. (Kuormainvaaka.)



Kuvio 7. Ponsen LoadOptimizer-kuormainvaa'an kuljettajan näkymä (Kuormainvaaka)

Kuormatraktoreissa käytettävät tiedonsiirtotekniikat ovat joko yksi- tai kaksisuuntaisia. Siirrot perustuvat StandForD –standardiin sekä tiedot punnituksesta ja kalibroinnista tallennetaan prl-tiedostoon. Yksisuuntaisessa tiedonsiirtotekniikassa puutavara-autoissa tiedot lähetetään kuormainvaa'alta ajoneuvoon. Lähetettävät tiedot ovat tiedostotyyppi, sanoman aika, erätunniste, osanipun tunniste, osanipun massa, kourataakan tunniste, kourataakan massa ja erän massa. Kaksisuuntaisessa tiedonsiirrossa ajoneuvon sovelluksesta lähetetään kuormainvaa'alle kuorman tunnistetieto, kuljetuserien numerot ja puutavaralajien tiedot. Vaa'alta lähetetään ajoneuvoon vastaavat tiedot kuin yksisuuntaisessa tekniikassa, mutta lisäksi kuljetuserien numerot, tiedot puutavaralajeista ja punnitusajankohdat. (Meikas 2010, 22-26.)

#### 5.4 Ponsen metsäkonesimulaattori

Kävin tutustumassa Saarijärvellä Poken metsäkonesimulaattoriin. Kuviossa 8 nähtävä simulaattori vastaa Ponsen oikeita metsätyökoneita ja tuottaa samoja tietoja kuin

kone, jolla työskennellään oikeassa ympäristössä. Simulaattoria käytetään koulutus- käyttöön ja sillä voidaan seurata kuljettajan taitojen edistymistä suorittamalla järjestelmään luotuja harjoituksia. Simulaattorilla voidaan harjoitella sekä hakkurin, että kuormatraktorin käyttöä. Päähän asetettavat 3D-lasit luovat oikeantuntuisen työympäristön, vaikka grafiikaltaan ne eivät aitoa ympäristöä vastaakaan. Suoritetun harjoituksen jälkeen järjestelmä antaa tarkasti tietoa muun muassa kuormaimen kärjen liikematkasta, jatkeen tarpeettomasta ajosta, kouran liikkeistä päätyä vastaan ja harjoitukseen kulutetusta ajasta sekä puiden asennosta kuormatilassa. Tiedot tarpeettomista liikkeistä ovat olennaisia, sillä ne lisäävät turhaan kulutusta ja niitä on tarkoitus minimoida. Lisäksi puiden asetelma kuormatilassa on olennainen tieto, sillä huonosti aseteltuna jää kuormatilan kapasiteettia käyttämättä. Näitä tietoja käytetään nimenomaan koulutuskäyttöön, eikä vastaavaa raporttia saada tuotettua oikealla työkonella.

Simulaattorissa on nähtävillä myös tietoja, joita oikealla työkoneella saadaan. Tietoja voidaan tarkastella työskentelyn aikana, kuviossakin nähtävillä olevalta kuljettajan näytöltä. Kuviossa pienempi näyttö on kuljettajan näyttö, suurempi näyttö on simulaattorin ja tietokoneen näyttö. Kuormatraktorin työskennellessä tietoja saadaan kuormatilaan kuormattavasta puutavaran massasta, koneen kulkemasta matkasta, kuormaimen matkasta suhteessa runkoon, puiden tilavuuksista ja polttoaineen kuluksista. Simulaattorin käyttö varsinkin uusien kuljettajien koulutuksessa on hyvä tapa tutustuttaa kuljettajat uuteen ympäristöön ja käytäntöihin. Kun uusia tekniikoita opetellaan simulaattorilla, vältetään ainakin kalliille oikealle kalustolle aiheutuvat turhat rasitukset ja kolhut. Myös kuljettajan on luontevampi siirtyä käyttämään oikeaa työkonetta, kun tuntuma koneen käytöstä on jo saavutettu simulaattorin avulla.



Kuvio 8. Ponssen metsäkonesimulaattori Saarijärvellä Poken tiloissa.

## 5.5 Tietotarpeiden analysointi

Metsäkuljetuksessa toiminnan tietotarpeet koostuvat mahdollisista ajanmenekkitiedoista, punnituksesta, kuorman koosta ja puutavaran sijaintitiedoista. Ympäristön tietotarpeissa tärkeimpiä tietoja ovat maastoon liittyvät tiedot ja työmaakohtaiset ohjeet. Materiaaliin liittyvät tietotarpeet ovat tiedot kuormauksesta ja puutavaran määrästä, sekä laadusta. Tietotarpeet on esitetty tarkemmin taulukossa 2.

Ajanmenekkitietoja ei oikeastaan voida käyttää mitenkään yleistävästi, vaan ne on käytännössä mitattava omasta toiminnasta tutkimuksen avulla. Tietenkin jonkinasteisen standardityön voi määrittää olemassa olevien tutkimusaineistojen pohjalta, mutta alueelliset vaihtelut ja maaston vaihtelut tuovat oman ongelmansa. Toisaalta sopivalla automatisoinnilla olisi mahdollista saada liitettyä aikaleimatiedot osaksi metsäkoneiden ja ohjausjärjestelmien tietojärjestelmää. Tällöin aikaleimatietoa ke-

rääntyisi automaattisesti työtä tehdessä, ja saataisiin tietoa työn tehokkuudesta vertaamalla tietoja esimerkiksi mitattuihin standardiaikoihin ja edellisiin työsuorituksiin. Aikaleimatietojen automatisointia osaksi toimintaa voitaisiin kuvailla niin sanotuksi potentiaaliseksi tietotarpeeksi.

Tietojärjestelmistä on mahdollista saada eri kuljettajien työskentelytietoja, joita voitaisiin periaatteessa käyttää jonkinasteisten keskiarvotöiden määrittämisessä. Toimintaan liittyen tärkeitä tietotarpeita ovat myös punnituksen tiedot, puutavaran varastopaikkojen sijainnit ja kaatopaikkojen sijainnit. Nykyään teknologia mahdollistaa harvesterin ja kuormatraktorin välisen kommunikoinnin, joka helpottaa oleellisesti erityisesti kuormatraktorin työtä. Kuormatraktorille välittyy tietoa muun muassa siitä, mihin puut on kasattu palstalla ja mitä puulajeja kasoissa on. Punnitus tapahtuu pääsääntöisesti kuormainvaa'alla, jolloin dataa saadaan kerättyä jatkuvasti reaaliajassa tietojärjestelmään. Tämä on jo saatavilla olevaa ja yleisesti käytössä olevaa teknologiaa. Harvesterin ja kuormatraktorin kommunikoinnin potentiaalia ei kuitenkaan nähtävästi aina kokonaan hyödynnetä, joten tietotarpeena se on edelleen ainakin jossain määrin potentiaalinen. Paikkatietojärjestelmien käyttö toiminnan tukena on myös olemassa olevaa teknologiaa. Paikkatietojärjestelmiin voidaan tallentaa varastopaikkojen sijainnit, jolloin ajoreittien suunnittelu työtä tehdessä on huomattavasti helpompaa. Tietojärjestelmien käyttö toiminnan tukena tuottaa tehokkaampaa työtä ja parantaa toiminnanhallintaa. Lisäksi tärkeä tieto on toteutettava toimintamalli, jolla voi olla vaikutusta metsäkuljetuksen kannalta.

Ympäristön tietotarpeet painottuvat tietojärjestelmiin, mutta tukena käytetään myös ennakkotietoja ja työmaakohtaisia ohjeita. Harvesterin ja kuormatraktorin yhteistyö on potentiaalinen teknologia ympäristötietojen keräyksessä, sillä harvesterilla voidaan kerätä tieto ennen kuin kuormatraktori saapuu puukasoille hakemaan puutavaraa kuljetettavaksi varastoille. Harvesterilla voidaan kerätä tietoa maaston ominaisuuksista, suoalueista, vesistöistä ja muista heikoista maastonkohdista. Tietojärjestelmillä ja työmaakohtaisilla ennakkotiedoilla mahdollistetaan myös kuormatraktorinkuljettajalle tiedot työmaa-alueen rajoista, suojelualueista, voimalinjoista ja muista mahdollisista esteistä reiteillä. Lisäksi tietojärjestelmillä voidaan kartoittaa ajouraverkostot, joita kuormatraktorinkuljettaja käyttää jatkuvasti työn tekemiseen ja suunnitteluun.



Materiaaliin liittyvät tietotarpeet koostuvat puutavaran lajista, erätiedoista, puutavaran laatutiedoista sekä kuorman koosta ja painosta. Käytännössä materiaaliin liittyvät tiedot saadaan kuormauksen aikana ja yhteistyössä harvesterin kanssa. Kuormatruktorin työtä helpottaa huomattavasti puun merkitseminen, jolloin kuljettaja voi päätellä puutavaraa erilaisia tietoja värikoodien perusteella. Esimerkiksi tietyillä värikoodilla voidaan merkitä laatu poikkeamat ja luokitella puulajit, jolloin kuljettaja voi jo kuormausvaiheessa lajitella puut kuormaansa. Värikoodeja käytetään pääsääntöisesti jokaisella työmaalla. Usein puut lajitellaankin puulajien ja laadun perusteella kuormatilaan, jolloin purkuvaiheessa toiminta on helpompaa ja puut saadaan kätevästi sijoiteltua varastoon. Kuormainvääntäjän käyttö on jälleen suuressa roolissa, sillä sen automaattinen tiedonsiirto helpottaa työtä huomattavasti. Kuormainvääntäjällä kuormattaessa tietoa tallentuu puutavaran lajeista, osanipuista, eristä ja tietenkin painotietoja sekä erilaisia kuljetustietoja. Näin saadaan jatkuvasti seurattua kuljetetun puutavaran määrää. Kuormainvääntäjien automaattinen tiedonsiirto on olemassa olevaa ja yleisesti käytössä olevaa teknologiaa.

Lisäksi koulutuskäytössä olevalla simulaattorilla voidaan esittää potentiaalisia tietotarpeita. Potentiaaliset tietotarpeet ovat kuormaimen kärjen liikematka, jatkeen tarpeettoman ajon määrä, kouran liikkeet päätyä vastaan, työhön kulunut kokonaisaika ja puiden asento kuormatilassa, mikä kertoo kuormatilan kapasiteetin hyödyntämistä.

Taulukko 2. Metsäkuljetuksen tietotarpeet

TOIMINTA	YMPÄRISTÖ	MATERIAALI
Ajanmenekkitiedot	Maaston ominaisuudet	Tiedot kuormauksen aikana
- Kuormaus- ja purkutoiminnot	- Ajouraverkot	- Puutavaralaji
- Kuormausajo (matka, aika ja nopeus)	- Kantavuus ja heikot maastonkohdat	- Erätietoja
- Kuormattuna-ajo	- Työmaa-alueen rajat	- Osamassat ja kuljetustiedot
- Tyhjänä ajo	- Suojelualueet	Puutavaran laatutiedot
- Purkamisajo, ylimääräiset siirtymiset ja liikkeet	- Korjuukohteen rajat	Puutavaran määrä
Hakkuutyypin (pääte vs. harvennus)	- Voimalinjat ja muut esteet	Kuorman paino ja koko

Kuorman koko, etusermin pinta-ala ja pinotiiveys	- Jyrkänteet ja vesistöt	Varastojen tilanne
Puutavaran sijainnit ja määrät sekä kuljetusreitit	Ennakkotiedot ja työmaaohjeet	Puutavaran värikoodit ja merkinnät palstalla
Toimintamalli ja hakkuutapa	Maastoluokka ja leimikon koko	Puutavaran tilavuustiedot
Punnitus	Varastojen sijainnit	
Leimikon keskijäreys ja hehtaarikertymä	Sääolosuhteet	
Koneen tekniset ominaisuudet (esim. kuljetuskapasiteetti)	Puutavaran vaatima varastointitila	
Työpisteiden määrä ja koneen kulkema matka		
Polttoaineen kulutus		
Kuormaimen matka suhteessa runkoon		

## 6 Tienvarsivarastointi

### 6.1 Ympäristöön liittyvät tiedot

#### 6.1.1 Laadunhallinta

Puutavaran varastoinnissa on huomioitava puun laadun muutokset, jotka johtuvat erityisesti ympäristön vaikutuksesta ja puun käsittelyn sivutuotteena. Puutavarassa tapahtuvat laatumuutokset aiheuttavat ongelmia toimitusketjun loppukäyttäjälle. Varastoinnin aikana tulisi materiaalin tilannetta seurata jalostusarvon säilyttämiseksi ja hävikin ehkäisemiseksi. Puutavarassa tapahtuvia muutoksia laadun suhteen ovat kuivuminen, halkeilu, sienten aiheuttama värivika ja laho. Edellä mainitut muutokset puutavarassa aiheuttavat käyttökelvottomuutta riippuen hieman loppukäytön kohteesta. Toiminnanohjauksen tukemiseksi tulisikin kehittää lahoasteen määrittämiseen ja laholajin tunnistukseen jonkinlainen mittari ja ennustemallit laholle, sekä puun kuivumiselle. (Hämäläinen ym. 2006, 11-12.)

Varastolaho on sienten aiheuttama ongelma, joka koskee kaikkia puulajeja enemmän tai vähemmän. Lämpötilan ja puun kosteuden asettuessa sopiviksi sienet ilmaantuvat puutavaraan. Varastointivaihtoehtoja on kuitenkin tarjolla, jotta laatumuutoksia voitaisiin hallita paremmin. Perinteisiä menetelmiä ovat lyhytaikainen vesivarastointi ja

kastelu, uusimpana vaihtoehtona on kylmävarastointi ja vähähappiset olosuhteet. (Puun laadun säilyttäminen -opas 2004.)

### 6.1.2 Maasto ja esteet

Varastoinnissa täytyy huomioida maaston ominaisuuksia, sillä kaukokuljetuksen saapuessa esimerkiksi maaston kantavuus saattaa koitua ongelmaksi. Tärkeimpänä tekijänä maaston kannalta on saavutettavuus. Toisin sanoen tien ja varaston kantavuuksien on oltava riittäviä. Lisäksi puutavara-auton on tarvittaessa kyettävä kääntymään kääntöpaikalla varaston läheisyydessä. Puutavara-auton on myös päästävä riittävän lähellä puukasaa, eli varastoa ei voida sijoittaa liian kauaksi tiestä. Puupinoja ei myöskään saa sijoittaa kasvavien puiden väliin, esteiden lähelle ja voimalinjat on otettava huomioon. Talviajan olosuhteet on myös otettava huomioon. Auraamisen vuoksi puupinoja ei voida sijoittaa suoraan vastakkain. Myös kuormatraktorin työskentelyyn on kiinnitettävä huomiota. Tilanne voi olla se, että kuormatraktori on työskentelemässä varastolla samaan aikaan, kun kaukokuljetus saapuu. Tilanne voidaan välttää sijoittamalla puukasat siten, että kuormatraktorin ei tarvitse käyttää tietä. (Puutavaran autokuljetus 1997.)

## 6.2 Materiaaliin liittyvät tiedot

### 6.2.1 Kosteuden seuranta

Kosteuden määrittämiseksi vallitsevien sääolosuhteiden avulla on esitetty ennustemalleja useissa eri tutkimuksissa ja mahdollisuudet tietojärjestelmiin yhdistämiseksi näyttäisivät hyvältä. Teknologia mahdollistaa tehokkuuden toiminnan hallinnassa ja seurannassa. Puutavaran varastoinnissa vallitsevat olosuhteet ja kulunut aika aiheuttavat muutoksia materiaalin laadussa. Kosteustiedonhallinta on yksi tärkeimpiä tekijöitä puutavaran varastoinnissa. Lisäksi kosteuden muutosten hallinnassa on huomioitava vuodenajat, sillä tutkimusten mukaan kuivuminen on ainakin osalla puulajeista suurimmillaan alkukesän aikana ja kuivimmillaan puu on loppukesällä, jonka jälkeen kosteusarvot alkavat yleensä hiljalleen nousta (Mäkelä, Korhonen, Lipponen & Öhman 2000, 5).

Heiskanen, Raitila ja Hillebrand kertovat tutkimusraportissaan energiapuun laatu-  
muutosten hallinnasta. Raportissa on kerrottu laskentafunktiosta, joka lähtökosteus-  
den, varaston teknisten ominaisuuksien, varaston ympäristöolojen ja varastoinnin ai-  
kaisten sääolojen perusteella ilmaisee kosteuden muuttumisesta varastoinnin aikana.  
Funktio on suunniteltu siten, että se on sovitettavissa olemassa olevien keskenään  
keskustelevien informaatiojärjestelmien tueksi, jolloin kosteuden muuttumista voi-  
daan mallintaa. Mallin väitetään myös helpottavan toimituslogistiikan optimoimista.  
Valmistelemina toimenpiteinä tutkimuksessa oli muun muassa kosteusnäytteiden ke-  
räys ja sääasemien asennus puukasoille, jotta sääolosuhteita voidaan seurata tar-  
kasti. Rakennettua laskentamallia on kuvattu kohtalaisen tarkaksi ja suhteellisen vä-  
hätöiseksi. Käyttämällä tietoja sadannasta, haihdunnasta ja puulajista saadaan siis  
kohtalaisen tarkkoja kosteustietoja kustakin puukasasta. Laskentamallista hyötyvät  
huomattavasti sekä polttoaineiden tuottajat, että voimalaitokset, kun halutaan tietää  
mikä puukasa olisi valmis käytettäväksi. Mallin käyttöönoton alkuvaiheessa tulisi sel-  
vittää pitkän aikavälin sadannan ja haihdunnan dataa oletusarvojen määrittämiseksi.  
Heiskanen ja muiden raportin luvussa 4.3 on selitetty, kuinka laskentamallin yhtälöä  
ja sen muuttujia käytetään. (Heiskanen, Raitila & Hillebrand 2014.)

Myös Jahkonen, Lindblad, Sirkiä ja Laurén esittelevät raportissaan malleja kosteuden  
määrittämiseksi. Mallintamisessa he käyttivät lineaarista- ja epälineaarista regressio-  
analyysia (ks. Jahkonen ym. 2012, luku 3.3). Jahkonen ja muut kertovat myös eri puu-  
lajien ominaisuuksista, jotka on olennaista huomioida kosteuden määrittämisessä (Jah-  
konen ym. 2012, 7).

### 6.2.2 Mittaukset

Kuormainvaakamittauksen myötä muut mittausmenetelmät ovat saaneet hiljalleen  
väistyä. Manuaalisesti suoritettavat mittaukset ovat nykyisen teknologian varjossa ja  
automaattisia mittausmenetelmiä yritetään jatkuvasti kehittää ja tuoda toimintaan  
mukaan. Ainakin aikaisemmin tienvarsivarastoilla yleisin mittausmenetelmä kuitu-  
puulle on ollut pinomittaus. Menetelmällä mitataan puupinon kehystilavuus ja keski-  
järeys. Lisäksi muiden tiheystekijöiden avulla määritetään muuntokerroin. Muunto-  
kertoimella taas kehystilavuus voidaan muuntaa kiintotilavuudeksi. Energiapuupinon

kiintotilavuus taas määritetään pinon pituuden, korkeuden ja leveyden avulla. Tukeille suoritetaan pituusmittaus ja erän tilavuus määritetään alueittain tunnettuja läpimittaluokittaisia yksikkötilavuuslukuja käyttämällä. Niiden perusteella saadaan kuorellinen tilavuus kuutiometriä per metri. (Mittaus ja laatu 2013.)

### 6.2.3 Kylmävarastointi laadunhallinnassa

Kausivaihtelun takia puutavaraa joudutaan varastoimaan. Herkimmät puulajit varastoinnin aikana tapahtuville muutoksille ovat havusahatukit ja kuusikuitupuut. Kylmävarastointia käytetään yhtenä tekniikkana laadunhallinnassa. Kylmävarastoinnin lisäksi käytetään muun muassa vesivarastointia, josta on kerrottu lisää luvussa 8.2.2. Varastoinnin suunnittelussa on kiinnitettävä huomioita varastoitavan puutavaran puulajiin ja varastointiaikaan. Kylmävarastoinnissa ideana on puutavaran kaataminen talvella ja varastoiminen siten, että puutavara säilyy kylmänä ja kosteana kesälläkin. Tällä ehkäistään muun muassa sienten aiheuttamat laatumuutokset puutavarassa. Kylmävarastointia on suosittu erityisesti kuusikuitupuulla ja hiomopuulla laadullisten ominaisuuksien säilyttämiseksi. Perinteisesti käytetyin menetelmä kylmävarastoinnissa on peittäminen lumi- ja purukerroksilla. Lisäksi myös purun alla käytetään peitteitä. Varastoinnin aikana puutavaran ominaisuuksien muutoksia tulisi seurata näytteenotoilla, joilla voidaan määrittää ainakin kosteus ja puutavaran vaaleus kuusikuitupuulla. Varastoimista helpottaa, kun tiedetään ainakin suunnilleen varastointiajan pituus. Lisäksi kylmävaraston perustaminen huolellisesti lisää merkittävästi puutavaran säilymistä, joten huolellisuuteen kannattaa panostaa. (Mäkelä, Varhimo & Pennanen 2001, 4-23.)

## 6.3 Toimintaan liittyvät tiedot

### 6.3.1 Varastointitarve ja -aika

Tärkeimpiä tietoja toiminnan kannalta ovat puutavaravarastojen sijainnit, puutavaran määrät varastoittain ja varastointiajat. Tarve puutavaran varastoinnille riippuu kiertonopeudesta ja kausittaisesta hakkuu- ja käyttömäärien suhteesta. Eroavaisuuksia kiertonopeuksissa on laajalti. Sahatukien kiertonopeus on yli 20 kertaa vuodessa, kun taas esimerkiksi koivukuitupuun kiertäminen vain neljästä kuuteen kertaa vuodessa.

Pääosin varastoidaan kuitenkin vain kuitupuuta. Tärkeää varastoinnissa on huomioida materiaalin muutokset varastoinnin aikana. Sahatukit ovat ns. hakkuiden ajoituksen määrääviä puutavaralajeja, joten niillä ei yleensä ilmene pitkäaikaisen varastoinnin tarvetta. Varastoinnin suunnittelussa täytyy siis huomioida erityisesti hakattavat puutavaralajit ja loppukäytön kohteet sekä tarvemäärät. (Puun laadun säilyttäminen –opas 2004.)

### 6.3.2 Lupa-asiat

Joskus kysymykseen saattaa toiminnassa tulla tilanne, jossa operoidaan yksityisellä tiellä. Tällöin yksityisen tien käyttämiseen on saatava lupa, jotta tietä voidaan käyttää kuljetuksiin ja varastointiin. Tien käyttämiseen tarvitaan tieosakkaiden taikka tiekunnan lupa, jos tietä käytetään muun kuin tieosakkaan järjestämään toimintaan, joka selvästi lisää tien kunnossapitokustannuksia, tai muun kuin tienosakkaan hyväksi tapahtuviin tilapäisiin kuljetuksiin (YksTL 358/1962, 80 §).

Jos taas varastoidaan yleisen tien yhteyteen, suositellaan varastoinnissa ensisijaisesti käyttämään tarkoituksenmukaisia kuormausalueita. Kuormausalueita rakensi aiemmin Tielaitos nykyään Destia. Yksityiset toimijat rakentavat omakustanteisesti. Maantien suoja- ja näkemäalueella ei saa pitää sellaista varastoa, aitaa taikka muuta rakennelmaa tai laitetta, josta tai jonka käytöstä voi aiheutua vaaraa liikenneturvallisuudelle tai haittaa tienpidolle (Rakennelmat ja laitteet sekä toimenpiderajoitukset tiealueen ulkopuolella 503/2005, 46§). Käytännössä siis varastoiminen yleisen tien viereen on kielletty, jos kuormaus joudutaan tekemään tieltä (Varastointi yleisen tien viereen 1997).

## 6.4 Tietotarpeiden analysointi

Ympäristöön liittyvät tiedot ovat merkittävässä roolissa tienvarsivarastoinnissa. Tietotarpeet on esitetty taulukossa 3. Erityisesti ympäristövaikutuksista johtuvat laatu- muutokset ja niiden hallinta on keskeisessä asemassa onnistuneessa varastoinnissa. Laatumuutoksia puutavaraan aiheutuu lämpötilan ja kosteuden vaikutuksista, kun lahoa, kuivumista, halkeilua ja värivikoja, sekä tuholaisia ja sieniä alkaa ilmaantua. Kosteudenhallinnassa apuna käytetään erilaisia kaavoja, ennustemalleja, seurantatietoja

ja kokemustietoja kosteuden arvioimiseen, sekä varsinaisia kosteusmittareita ja erilaisia varastointitapoja. Ennustemalleissa hyödynnetään pitkän seurannan olosuhdetietoja vallitsevista sääoloista sekä tietoja haihdunnasta ja sadannasta. Tutkimuksissa on käytetty säätietojen keräämiseen siirrettäviä sääasemia, jotka on asetettu tarkasti varastopaikkojen läheisyyteen tarkempien arvojen keräämiseksi. Keinoina kosteudenhallinnassa ovat esimerkiksi kastelu, vesivarastointi ja kylmävarastointi, joilla liiallista kuivumista ja muita muutoksia on mahdollista hallita. Lisäksi varastoinnissa käytetään peitteitä. Automaattinen kastelujärjestelmä varustettuna kosteuden seurantalaitteilla voisi olla yksi teknologian kehityskohde, mutta kastelun automatisoinnista ei ainakaan vielä ole viitteitä. Lisäksi potentiaalinen tarve erilaisille laatumuutosten ennustemalleille on suuri. Esimerkiksi sovellus lahon ennustamiseen ympäristövaikutusten avulla olisi suuri apu laatumuutosten hallinnassa.

Toimintaan liittyen olennaisia tietoja ovat puutavaran laatumuutokset, tienvarsivarastojen sijainnit ja kulkureitit, varastointiaika sekä varastoitavat määrät. Lisäksi myös tienkäyttöön liittyvät lupa-asiat täytyy selvittää. Laatumuutosten myötä puutavaran käyttö tietyissä loppukäytön kohteissa muuttuu hankalaksi tai mahdottomaksi, joten puutavara on mahdollisesti ohjattava johonkin muuhun käyttötarkoitukseen. Tieto laatumuutoksesta helpottaa toiminnan suunnittelua, jolloin laadultaan poikkeava puutavara voidaan varastoida erilleen. Laadunhallinnan tulisi olla jatkuvaa, jotta muutoksiin voidaan reagoida. Varastojen sijainti- ja määrätiedot ovat välttämättömiä, jotta toiminnanohjauksessa voidaan määritellä mahdollisten seuraavien varastopaikkojen sijainnit silmällä pitäen kaukokuljetuksen kuormaamista. Lisäksi kulkureitit varastoille on järjestettävä, joten varastoa ei voida sijoittaa mielivaltaisesti valittuun paikkaan. Varastointiaikoja on pystyttävä jotenkin seuraamaan, jotta ennustemallien avulla voidaan määrittää puutavaran ominaisuuksia, lähinnä kosteutta ja mahdollisia laatumuutoksia. Puutavaran varastointiin liittyen tutkimuksissa on ollut esillä potentiaalinen RFID-teknologiaa hyödyntävä seurantajärjestelmä, jolla voitaisiin seurata jopa yksittäisten pölkkyjen tai nippujen varastointiaikoja. Myös muiden teknologioiden käyttämisestä seurannassa voidaan pitää potentiaalisena kehityskohdeena. Käytössä on ainakin tunnistelaput, joilla puutavara merkitään saapuessaan va-

rastoon. Tunnisteiden avulla on mahdollista seurata varastointiaikoja erä- ja pölkkykohtaisesti, mutta automaattinen seurantajärjestelmä nykyaikaista teknologiaa hyödyntäen olisi merkittävä edistysaskel ja potentiaalinen tietotarve.

Materiaaliin liittyvät keskeiset tietotarpeet tienvarsivarastoinnissa ovat kosteustiedot ja puulajitiedot. Kosteustieto on siinä mielessä merkittävä, että sen perusteella materiaalista määritetään energiasisältö ja kuiva-ainemäärä. Käytännössä siis kosteus määrittää sen, milloin puutavara on valmis siirtymään loppukäyttäjälleen. Kosteuden mittaaminen käsimitarilla on hyvin yleinen tapa määrittää puutavaran kosteutta, ja markkinoilla onkin laaja kirjo erilaisia käsimitareita. Lisäksi standardin mukainen uunikuivaus-menetelmä on laajalti käytössä ja erilaiset ennuste- ja laskentamallit pyrkivät arvioimaan kosteusarvoja. Tarve olisi kumminkin automaattiselle kosteudenseurantajärjestelmälle, joka antaisi luotettavaa reaaliaikaista tietoa puutavaran kosteudesta. Tätä voitaisiin pitää potentiaalisena tietotarpeena. Kosteuden merkitys on suuri myös laadunhallinnassa. Teknologian ja digitalisaation kehittyminen mahdollistaa uusien kosteuden seuranta- ja mittausmenetelmien käyttöönoton tulevaisuudessa. Kosteuden lisäksi olennainen tieto materiaaliin liittyen on puutavaran laji ja määrä. Näitä tietoja kerääntyy kuormatraktorin toiminnasta ja puissa on myös kiinnitettynä tunnistetiedot. Olennaista on tietää, kuinka paljon puutavaraa lajeittain varastoissa on.

Taulukko 3. Tienvarsivarastoinnin tietotarpeet

TOIMINTA	YMPÄRISTÖ	MATERIAALI
Laatumuutokset	Laatumuutokset	Kosteus
Varastojen sijainnit ja kulureitit	- Laho	Puulaji ja sen ominaisuudet sekä käyttötarkoitukset
Varastointiaika ja varastoitavat määrät	- Kuivuminen	Kaadon ajankohta
- Tarvemäärät loppukäyttäjien näkökulmasta	- Halkeilu	Varastointiaika
- Kiertonopeus	- Tuholaiset ja sienet	Vallitsevat olosuhteet
- Kysyntä	- Väriviat	Vuodenajat
Kausittaiset hakkuu- ja käyttömäärien suhteet	Vallitsevat sääolosuhteet ja vuodenajat (lämpötila, sadanta, haihdunta, lumitilanne)	Erityyppiset mittaustiedot



Mahdolliset lupatiedot	Maaston ominaisuudet	- Kehystilavuus, keskijäreys, tiheystekijät ja muuntokerroin
Mahdollisten kuormausalueiden sijainnit yleisillä teillä	- Kantavuustiedot	- Kiintotilavuus, pinon pituus, korkeus ja leveys
Toimintojen ajoitus	- Kääntöpaikat	- Yksikkötilavuudet
- Varastolla työskentely	- Varaston sijainti	- Kuorellinen tilavuus
- Kaukokuljetuksen saapuminen	- Esteet, voimalinjat ja kasvava puusto	- Vaaleus

## 7 Haketus ja murskaus

### 7.1 Toimintaan liittyvät tiedot

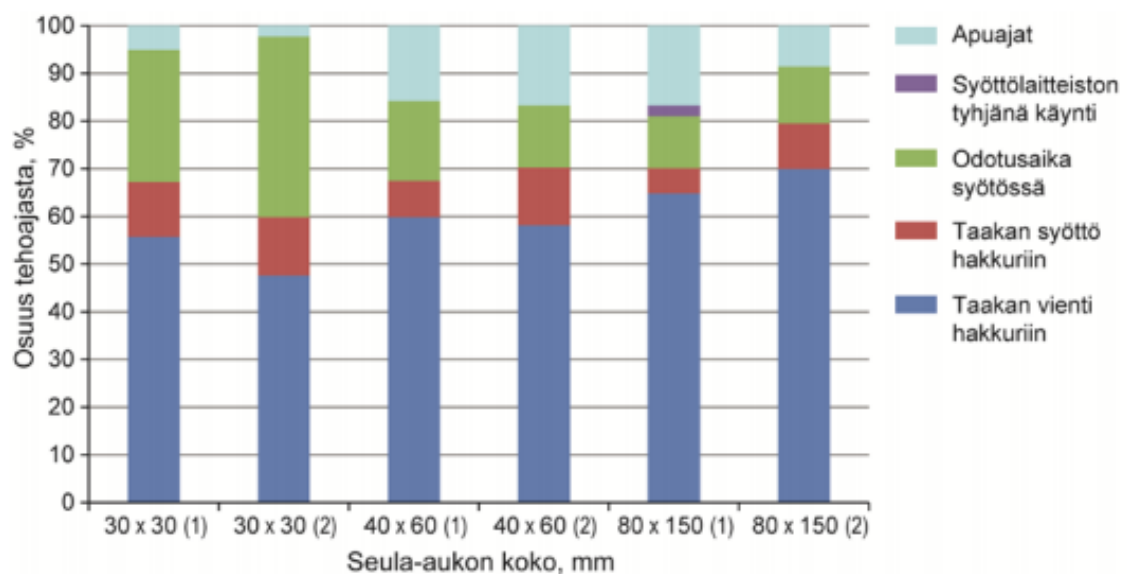
Olemassa on useita logistisia tuotantoketjuvaihtoehtoja, joten prosessien vaiheiden järjestykset vaihtelevat. Haketusta tehdään tilanteesta riippuen eri vaiheissa biomassan toimitusketjua. Vaihtoehdot ovat palstahaketus, tienvarsihaketus, terminaalihaketus ja haketus käyttöpaikalla. Myös hakettavan puutavaran muoto ja laji vaihtelevat. Käsiteltävät puutavaran muodot ovat irrallinen hakkuutähde, hakkuutähdepaalit, kannot, pienpuu, aines- ja energiapuu, sekä kokopuupaalit. Murskausta käytetään yleensä lähinnä kannoille ja käyttöpaikoilla materiaalin hienontamiseen suurivolyymisessä ympäristössä.

#### 7.1.1 Tuottavuus ja palakoko

Hakkeen palakokoa voidaan säätää seulan aukon kokoa muuttamalla hakkurissa. Kun palakokoa pienennetään, tuottavuus heikkenee, sillä polttoaineen kulutus kasvaa. Polttoaineen osuus kustannusrakenteesta on 30 prosenttia ainakin pienpuun terminaalihaketuksessa. Se onkin suurin yksittäinen kustannus. Liian hienoa haketta ei siis kannatta tuottaa. Puutavaran palakoolla ja kosteusarvolla on kuitenkin merkitystä voimalaitosten prosessiin, joten asia ei ole täysin yksiselitteinen. Palakoon ja täten myös seula-aukon pienentämisellä on huomattu olevan vaikutusta kosteusarvoihin. (Jylhä, 2013, 5-6.)

Haketuksen tuottavuutta on tutkinut Jylhä. Hänen mukaansa suurin merkitys haketuksessa tuottavuuteen on seula-aukolla. Tutkimuksessa ne olivat 30 x 30, 40 x 60 ja

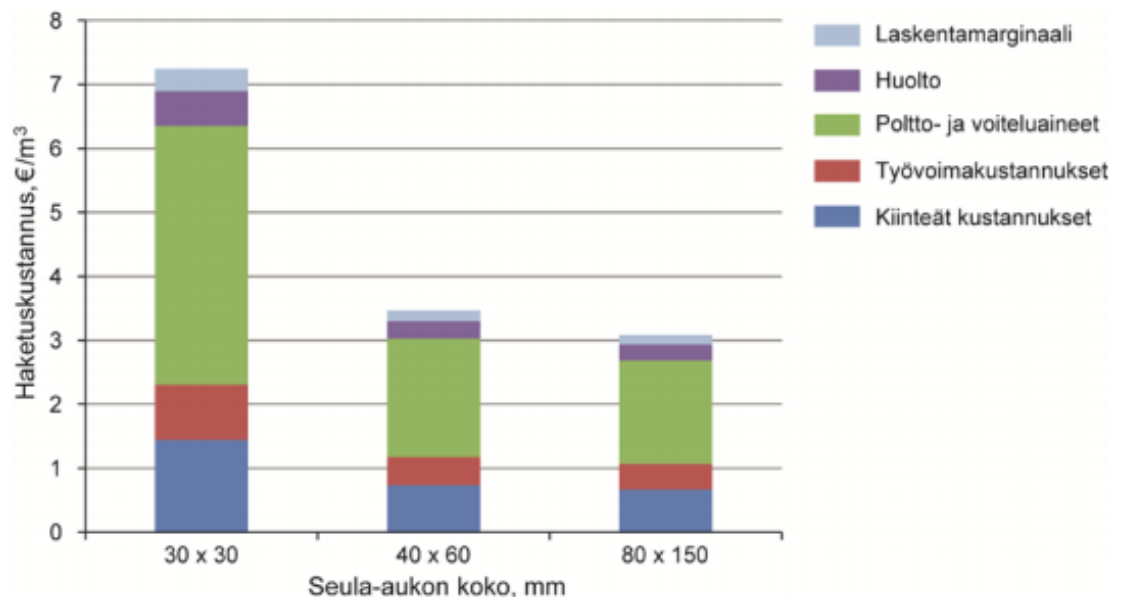
80 x 150 (mm). Kuviossa 9 on nähtävissä selkeä muutos odotusajassa, kun seula-aukkoa kasvatettiin. Seula-aukon koon kasvaessa odotusaika syötössä lyheni. Loogisesti taakan viennin osuus ajanmenekistä kasvaa seula-aukon koon kasvaessa. Jylhä on myös pohtinut tutkimusolosuhteita. Tutkimus ei välttämättä ole täysin realistinen, sillä kuormallinen haketta saatiin tuotettua ilman hakkurin siirtoja puukasojen välillä. Siirtotapahtumat pienentävät automaattisesti tuottavuutta ajanmenekin kasvaessa kuormaa kohden. Lisäksi kyseisessä aikatutkimuksessa hakkurin terien ja seularparin vaihtoon kuluva aikaa ei sisällytetty työvaiheisiin. Lisäksi koe tehtiin optimaalisissa olosuhteissa ja hakkuri oli vuosimallia 2005, joten vuosimalliltaan uudempiin hakkuureihin on mahdollisesti tehty muutoksia, jotka vaikuttavat polttoaineen kulutukseen tai tuottavuuteen. (Jylhä 2013, 10-16.)



Kuvio 9. Työajan suhteelliset menekit haketuserittäin (Jylhä 2013, 10)

Jylhän tutkimuksessa siis todettiin, että seula-aukon koolla on suuri merkitys tuottavuuteen laskettuna hakettua puumäärää kohden. Lisäksi seula-aukon kasvattamisen tuloksena polttoaineen kulutus pieneni. Pienimmän aukkokoon (30 mm x 30 mm) polttoaineen kulutus oli yli kaksinkertainen verrattuna (40 mm x 60 mm) kokoon. Suurimpaan aukkokoonkin (80 mm x 150 mm) siirryttäessä kulutus aleni 13 prosenttia verrattuna toiseksi suurimpaan. Tutkimuksessa todettiin myös seula-aukon koon

kasvattamisella olevan huomattavia vaikutuksia kustannuksiin. Pienimmästä aukko-koosta siirryttäessä suurimpaan aukkokokoon kustannukset alenivat noin 60 prosenttia. Kuviossa 10 on eritelty tarkemmin tutkimuksessa selvitettyjen kustannusten muutokset seula-aukon koon suhteen. Tuottavuuden ja tehokkuuden näkökulmasta todettakoon, että seula-aukon koon tulisi olla mahdollisimman suuri, mutta kuitenkin niin, että hakkeelle asetetut palakoon vaatimukset täyttyvät. Tutkimuksessa käytettiin menetelmänä aikatutkimusta ja ajanmenekki onkin tuottavuuden kannalta yksi tärkeimpiä vaikuttavia tekijöitä. Tutkimuksessa myös mainittiin puun järeydellä olevan vaikutusta tuottavuuteen ja lisäksi haketusvolyymin kasvaessa kannattaa harkita kiinteiden haketuspaikkojen investointia. Jylhä mainitsee myös murskainten olevan pääsääntöisesti hakkureita tuottamattomampia, joten murskainten käyttöä tulisi tuottavuuden näkökulmasta harkita tarkasti. Murskausta käytetään periaatteessa ainoastaan kannoille ja massan hienontamiseen käyttöpaikalla. Murskaimia käytetään muutenkin yleensä vain terminaaliolosuhteissa tai loppukäyttäjän toimesta. (Jylhä 2013, 12-16.)



Kuvio 10. Haketus kustannusten kehittyminen seula-aukon koon perusteella (Jylhä 2013, 14.)

### 7.1.2 Haketuspaikka ja kalusto

Toiminnan kannalta olennaisia tietoja ovat haketuspaikkaan ja haketusvolyymiin liittyvät tiedot, joiden perusteella voidaan arvioida käytettävää kalustoa. Tienvarsihaketus metsävarastolla on haketusvaihtoehdoista yleisin, vaikka ns. kuuman ketjun ongelma onkin olemassa. Tuotantoketjun tehokas suunnittelu vaatii kuljettajien kommunikointia ja kokemusta toiminnasta, jotta odotusaika pysyy mahdollisimman pienenä. Kuorma-auton tai sen perävaunun päälle rakennetut autohakkurit ovat käytössä suuren kokoluokan tuotantoketjuissa, ja etuna on hakkurikaluston liikuteltavuus kätevästi paikasta toiseen. Toinen käytetty kalustovaihtoehto on traktorisoivainen hakkuri, joka soveltuu yleensä pientuotantoihin. Kuuman ketjun ongelmaa voidaan hallita käyttämällä hakkuriautoa, joka hakettaa puutavaran itse ja suorittaa sen jälkeen kaukokuljetuksen. Hakkuriauto sisältää hakkurin, kuormaimen ja hakelavan. Kuljetuskapasiteetiltaan hakkuriauto ei pärjää varsinaiselle hakeautolle, joten kuljetusetäisyydet eivät voi olla yhtä pitkiä. Palstahaketuksessa taas haketus tapahtuu jo palstalla kuormatraktorin hakkurilla, ja valmis hake kuljetetaan tienvarsivarastoon. Kalustolta vaaditaan tässä tapauksessa maastokelpoisuutta, toisin kuin tienvarressa tapahtuvassa haketuksessa. Palstahakkurit ovat kevyempiä ja häiriöherkempiä, eikä raskaita murskaimia voida käyttää palstahaketuksessa. Käyttöpaikkahaketus tarjoaa varteenotettavan vaihtoehdon tienvarsihaketukselle, sillä kiinteiden hakkureiden ja murskainten kustannukset pienenevät suurilla volyyymeilla. Ongelmana on kuitenkin huonon energiantiheuden omaavan käsittelemättömän biomassan kuljetus. Käsittelemättömän biomassan yhteydessä puhutaan usein paalauksesta, jolla saadaan tilansäästöä, helpotetaan varastointia ja saadaan etuja kuivumisessa. Terminaalihaketuksella etuja saadaan tienvarsihaketuksen verrattuna käyttämällä satelliittiterminaaleja ja jatkettuja lähikuljetuksia. (Hakkila 2004, 39-47.)

## 7.2 Materiaaliin liittyvät tiedot

Haketuksessa tärkeimmät materiaaliin liittyvät tiedot ovat puutavaran kosteus ja palakoko. Palakoolla on merkitystä myös toiminnan kannalta, joten palakokoa käsittelevä luku on esitetty toimintaan liittyvissä tiedoissa luvussa 7.1.1. toiston välttämiseksi.

Kosteuden määrittäminen luotettavasti puutavarasta näyttäisi olevan haastavaa, varsinkin kun toimitaan toimitusketjun kenttäolosuhteissa. Markkinoilla on olemassa useita käsikäyttöisiä kosteusmittareita, esimerkiksi sähköisiä kosteusmittareita (ks. Kuvio 11), joita voidaan käyttää kenttäolosuhteissa. Tässä luvussa esitellään joitain kosteuden mittaamisen menetelmiä. Käytetyin menetelmä ympäri maailman on ollut kuivaus lämpökaapissa. Kosteusnäyte kuivataan 105 +/- 2 celsiusasteessa vakiopainoon. Menetelmällä tulosten saanti kestää 12 tunnista 24 tuntiin. Tämä määrittäminen on standardoitu myös EU-alueella (EN14774). Muita näytteenottoon liittyviä standardeja ovat SFS-EN 14780 Kiinteät biopoltoaineet. Näytteen esikäsittely ja SFS-EN 14778 Kiinteät biopoltoaineet. Näytteenotto. (Järvinen 2013, 9-10.)



Kuvio 11. Käsikäyttöisiä sähköisiä kosteusmittareita (Järvinen ym. 2007, 45.)

Järvinen, Malinen, Tiitta ja Teppola tutkivat puun kosteuden mittaamisen vaihtoehtoja. Tutkimuksessa on esitetty menetelmiä, joiden hyödyntäminen haketusvaiheessa tapahtuvaan kosteuden "at-line" mittaamiseen olisi mahdollista. Esimerkiksi käytössä olevista sähköisistä menetelmistä on esitetty kaksi, puun sähköiseen vastukseen perustuva mittausmenetelmä ja puun dielektrisyteen perustuva mittausmenetelmä. Sähköiseen vastukseen perustuvassa mittauksessa elektrodit upotetaan

puun sisään ja dielektrisyyteen perustuvassa mittaustavassa kosteutta mitataan pintakontaktilla. Kun kosteutta mitataan vastukseen perustuvalla menetelmällä, on lämpötilan ja uuteaineiden merkitys huomioitava. Jokaiselle puulajille ja lämpötilalle tulisi käyttää spesifistä kalibrointia tarkoissa mittauksissa. Kalibroinnit löytyvät yleensä valmiina mittareista. Pintakontaktilla mitattaessa luotettavuus kärsii, sillä mittaustavassa ongelmia aiheuttaa erityisesti pintakosteus. Kummallakaan mittaamenetelmällä ei voida mitata jäisen puun kosteutta. (Järvinen, Malinen, Tiitta & Teppola 2007, 44-46.)

Järvinen käsittelee raportissaan erilaisia menetelmiä biomassan kosteuden määrittämiseen. MR-tekniikan on osoitettu olevan hyvin tarkka menetelmä puutavaran kosteuden määrittämiseen, mutta syystä tai toisesta yrityksiä soveltaa kyseistä tekniikkaa on ollut vähän. Ensimmäinen toteutettu projekti, jossa yritettiin kehittää liikutettava laite kosteuden mittaamiseen MR-tekniikalla, oli Quantum Magnetics, Inc. -yrityksen hanke. Kevyt NMR-laitteisto koostuu magneetista, RF-kelasta, vahvistimesta ja tietokoneesta sekä virransyöttöjärjestelystä (ks. Kuvio 12). Laitteen testitulokset olivat lupaavat. (Järvinen 2013, 32-33.)



Kuvio 12. NMR-laitteisto (Järvinen 2013, 33)

Myös Järvinen, Malinen, Tiitta ja Teppola esittivät raportissaan NMR-tekniikkaa hyödyntävän kosteuden mittaamenetelmän. Raportissa on kuvattu, kuinka tutkimuslaitetta käytetään. Näyte asetetaan laitteeseen ja tulokset saadaan todella nopeasti verrattuna esimerkiksi lämpökaapin avulla toteutettavaan kosteusmittaukseen. Tulokset on myös kuvattu luotettaviksi. Raportissa on taulukoitu tuloksia yksityiskohtaisemmin. (Järvinen ym. 2007, 53-55.)

Kokemustiedolla ja pitkäaikaisella seurannalla voidaan jotenkin arvioida puun kosteuspitoisuus, tällöin puhutaan epäsuorasta mittaamenetelmästä. Hakkuiden ajoituksesta sekä puulajeittain ja alueittain on olemassa pitkäkestoinen seuranta kosteuden arviointiin. Käytännössä nämä menetelmät ovat tilastoihin perustuvia analyysejä, joissa hyödynnetään muun muassa valtakunnallisia tuoretiheystaulukoita. Tuoretiheysluvut saadaan esimerkiksi luonnonvarakeskuksen tarjoaman EPPU-energiapuulaskurin avulla (Ohjelmistot ja laskurit 2016). Lisäksi Puupolttoaineiden laatuohjeessa on eritelty laadun määrittämisen ja luokittelun ohjeita myös kosteuden

mittaamisen osalta (ks. Puupolttoaineiden laatuohje 2014). Kosteuden määrittämisessä voidaan myös käyttää erästä menetelmää, jota käyttävät esimerkiksi suuren volyymin käyttäjät, kuten voimalaitokset. Menetelmässä hyödynnetään puutavaran kuivapainon ja märkäpainon suhdetta. Kaava kosteuden määrittämiseen ja mitausohjeet on eritelty tarkemmin liitteessä 1. (ks. Puun kosteus 2017.)

## 7.3 Ympäristöön liittyvät tiedot

### 7.3.1 Maasto ja olosuhteet

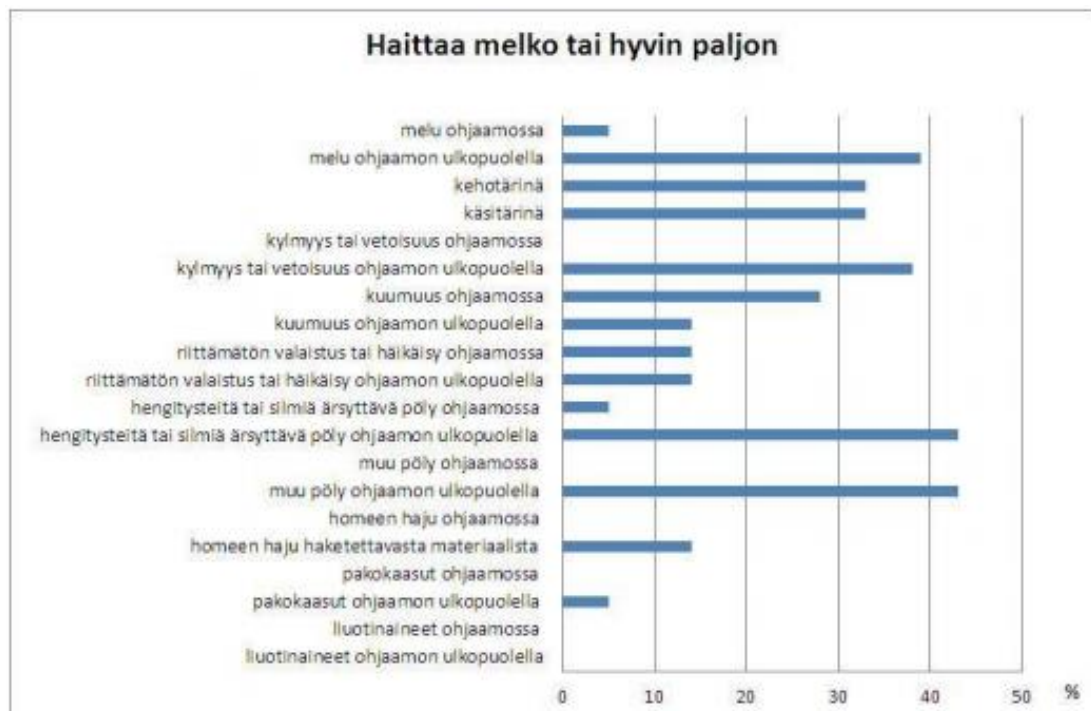
Ympäristöön liittyen tulisi huomioida tilantarve ja maaston kantavuus. Usein metsätiet ovat kapeita ja maastossa saattaa olla kantavuudeltaan heikkoja kohtia. Maaston ominaisuuksiin tulisi kiinnittää huomiota ennen haketuksen aloittamista, kun suoritetaan palstahaketusta ja tienvarsihaketusta. Terminaalilla ja käyttöpaikalla hakettamisessa ollaan paremmin hallittavissa olosuhteissa, jolloin kantavuudessa ei yleensä ilmene ongelmia. Kantavuutta voidaan nykyään mitata metsäkoneista ainakin harvestereilla, joten esimerkiksi kantavuustietoja voisi mitata samalla kun puutavaraa tuodaan tienvarsivarastoon tai kun suoritetaan puun kaatoa. Maaston kantavuus on joka tapauksessa selvitettävä, ennen kuin raskas hakkurikalusto tuodaan metsäteille. Toinen huomioitava seikka on tilantarve. Kapeiden metsäteiden ympäristössä ei välttämättä ole juurikaan ylimääräistä tilaa. Hakkurikaluston viemä tila ja käytettävissä oleva tila haketuspaikalla olisi hyvä selvittää etukäteen. Vuodenajalla on myös merkitystä haketuksessa. Talvisissa olosuhteissa lumesta saattaa koitua haittaa kosteuden kasvatuksen lisäksi kalustolle. Esimerkiksi lumikasan keskeltä kaivettavan puutavaran syöttäminen hakkuriin saattaa aiheuttaa häiriöitä. Tilantarvetta kasvattaa myös hakkurin varoetäisyys.

### 7.3.2 Työympäristön riskit

Työympäristöön liittyvät riskitekijät liittyvät lähinnä hakkuriin ja sen tuotokseen. Henkilöstön koulutuksella on suuri merkitys riskienhallinnassa. Työssä tulisi käyttää kuulosuojainten lisäksi hengityssuojaimia riippuen haketustyön kestosta. Haketuksessa syntyy huomattava määrä haitallista pölyä. Pöly sisältää erilaisia mikrobeita, joita ovat muun muassa bakteerit, homesienet ja hiivat. Haketuksen jälkeen tulisikin



odottaa ohjaamosta nousua ja haketusalueelle tulemista ainakin niin kauan, että näkyvä pöly on kerennyt hävitä ilmasta. Hengityssuojaimien lisäksi ohjaamoiden ilman-suodatukseen tulisi kiinnittää huomiota. Hakkurin ohjaamon ilmanottoaukon ollessa tuulen yläpuolella pakoputkeen nähden vältetään polttoaineiden päästöjen suora pääsy ohjaamoon. Ilman epäpuhtauksia ja hakkeen mikrobeita voidaan mitata erilaisilla suodattimilla ja ottamalla näytteitä. Pölyn ja melun lisäksi hakkurityössä kuljettaja altistuu lisäksi muun muassa tärinälle (ks. Kuvio 13). Eri haittatekijöiden mittaaminen vaatii innovointia, mutta tietoa työympäristön riskeistä erityisesti maasto-olosuhteissa tarvitaan työhyvinvoinnin parantamiseksi. (Laitinen, Rytönen, Jumpponen & Ojanen 2014, 3-28.)



Kuvio 13. Työntekijöiden kokemien olosuhdetekijöiden haitallisuus (Laitinen ym. 2014, 30.)

#### 7.4 Tietotarpeiden analysointi

Haketukseen liittyvät tietotarpeet on esitetty taulukossa 4. Toiminnan kannalta tärkeä tietotarve haketuksessa on ajankäyttö. Haketusvaiheisiin liittyy läheisesti kuu-

man ketjun ongelma, jossa odotusajat voivat viedä toimintaan kuluva ajasta suuren osan. Tärkeää on suunnitella toimintaa siten, että odotusaikoja ei synny haketusvaiheessa turhaan. Lisäksi haketettavan taakan syöttö ja vienti hakkurille vievät suuren osan haketustapahtuman kokonaisajasta. Olennainen tieto onkin puukasojen sijainnit. Optimaalisessa tilanteessa hakkuria ei tarvitse siirtää lainkaan, vaan puukasat ja työpisteet ovat riittävän lähellä toisiaan. Hakkureissa myös säädöt ja terien vaihdot vaativat oman aikansa. Aikaleimatietojen keräys haketuksessa voidaan kuvata potentiaalisesti tietotarpeeksi, toisin sanoen tutkimuksia haketuksen ajankäytöstä on tehty, mutta ajankäytön seuraamista ei ole otettu osaksi toimintaa tai ainakaan siitä ei ole tietoa. Aikaleimatietojen automaattinen kerääminen on mahdollinen teknologinen kehityskohde ja potentiaalinen tietotarve. Haketustapahtuman sijainnilla toimitusketjussa voidaan vaikuttaa toiminnan sujuvuuteen, joten suunnittelulla on suuri merkitys tuottavuuden ja tehokkuuden kannalta. Polttoaineen kulutus on kustannusrakenteellisesti suuri tekijä haketuksessa, ja polttoaineen kulutukseen voidaan vaikuttaa muun muassa hakkurin seula-aukon koolla. Murskauksen käyttö painottuu lähinnä terminaali- ja käyttöpaikkaolosuhteisiin, joissa volyymit ovat suuret ja olosuhteita voidaan hyvin hallita.

Ympäristöön liittyen haketuksessa tarvitaan tietoa maaston ominaisuuksista. Maaston kantavuus voi olla ongelma haketuksessa, sillä kalusto on usein raskasta ja vaatii kantavan maaston. Esimerkiksi palstahaketuksessa ei voida käyttää kantavuuden ja hankalan maaston vuoksi raskasta autohakkurikalustoa. Maaston ominaisuustietoja voidaan nykyään kerätä metsäkoneilla, joilta tietoa voidaan välittää eteenpäin. Hakkurit tarvitsevat myös tilaa, ja tilantarpeesta kapeissa metsäolosuhteissa saattaa koitua ongelmia. Maastotietoja, ajoreittitietoja ja tilatietoja tarvitaan erityisesti metsässä tapahtuvan haketuksen suunnittelussa. Työympäristöön liittyvät riskitekijät jätetään usein vähälle huomiolle. Haketuksessa kysymykseen tulee erityisesti pölyn aiheuttamat ongelmat ja työskentely hankalissa maastoissa. Erilaisilla ilmaisimilla voidaan tarkkailla pölykertymiä ja maastotietojen perusteella voidaan suunnitella haketuksen paikkaa. Ilmaston puolesta vuodenajalla on vaikutusta ainakin kalustoon, sillä lumen on huomattu aiheuttavan häiriöitä kalustolle.

Materiaalitietojen osalta ehdottomasti tärkeimmät tiedot hakkeesta ovat hakkeen kosteus ja palakoko. Toimintaan liittyvissä tiedoissa on kerrottu palakoosta, mutta

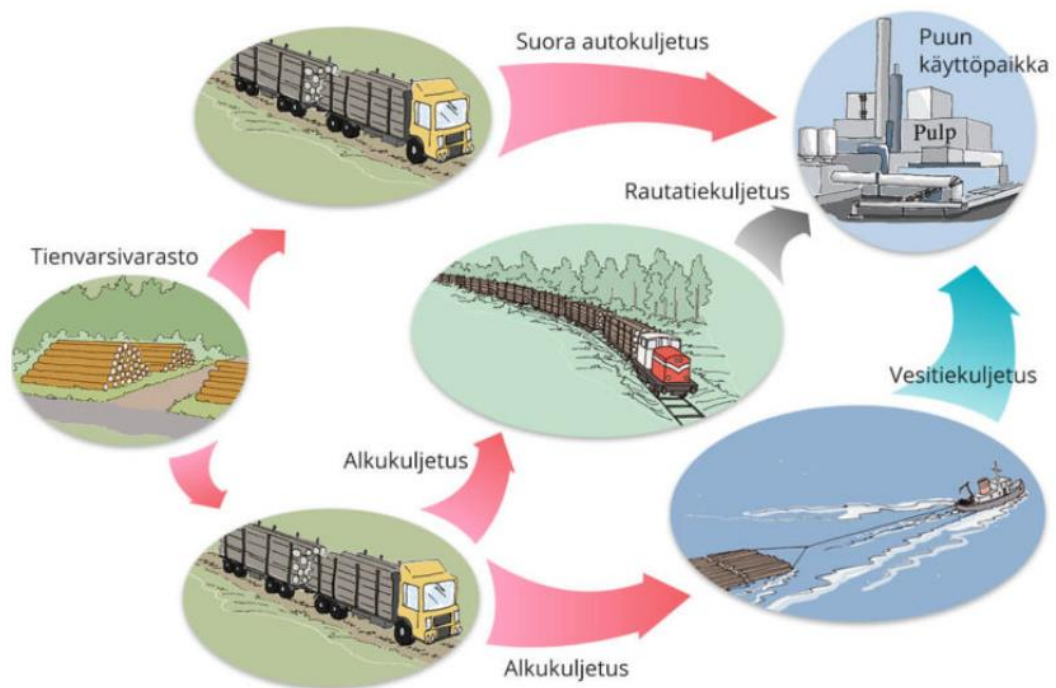
palakoko liittyy läheisesti myös materiaalin tietoihin. Kyseiset tiedot kiinnostavat erityisesti loppukäyttäjää, sillä loppukäyttäjien laitteistot vaativat toimiakseen sopivan palakoon ja materiaalin kosteuden. Lisäksi kosteutta käytetään energiasisällön ja kuiva-ainemäärän määrittämisessä. Kosteuden mittaaminen automaattisesti hakkurilla tai murskaimella tuotannon aikana olisi merkittävä edistys ja kosteuden mittaaminen ylipäättään puutavarasta on edelleen tietynlainen T&K-painoalue. Materiaalin puolesta tarvitaan tietoa myös puutavaralajista ja määrätietoja. Erityisesti määrätiedot vaikuttavat merkittävästi kaluston- ja toimintamallin valinnassa.

Taulukko 4. Haketuksen tietotarpeet

TOIMINTA	YMPÄRISTÖ	MATERIAALI
Aikaleimatiedot	Haketuksen sijainti (palsta, terminaali jne.)	Kosteus
- Hakkurin siirto ja säädöt, terien ja seulaparien vaihdot	- Maasto ja kantavuus	- Lämpötilat
- Haketuksen kokonaiskesto	- Tilantarve	- Uuteaineet
- Odotusajat	- Työympäristö	- Jäisyys
- Taakan syöttö ja vienti	- Hakkurin varoetäisyydet (lisätilantarve)	Palakoko
Puukasojen sijainnit	Vuodenaika	Haketettavan puutavaran laji
Haketuksen paikka toimitusketjussa ja tuotantoketjumalli	- Lumisuus	Puutavaran volyyymi
Polttoaineen kulutus	Sääolosuhteet	
Haketus vs. murskaus	- Seurantatiedot	
Puutavaran muoto ja laji sekä järeys	- Ennustemallit	
Puutavaran volyyymi	Tärinä	
Palakoko ja seula-aukon koko	Haketuspöly	
Olosuhteet		
Mahdollinen kuljetuskapasiteetti		
Kaluston maastokelpoisuus		

## 8 Kaukokuljetus

Puutavara kuljetetaan tienvarsivarastoilta autokuljetuksina suoraan käyttöpaikalle tai terminaalille, mutta autokuljetusta tarvitaan myös ns. alkukuljetuksissa (ks. kuvio 14). Autokuljetusten lisäksi puutavaraa kuljetetaan myös rautatiekuljetuksina ja vesikuljetuksina käyttöpaikalleen. Kaukokuljetuksissa on hieman eroavaisuuksia, kun puhutaan eri puulajien kuljetuksista. Vuonna 2016 keskimääräinen kaukokuljetusmatka oli 157 kilometriä ja rautatiekuljetusten osuus kuljetuksista kasvoi 1,7 prosenttiyksikköä, puolestaan auto- ja vesikuljetusten osuus pieneni hieman (Strandström 2016, 4).

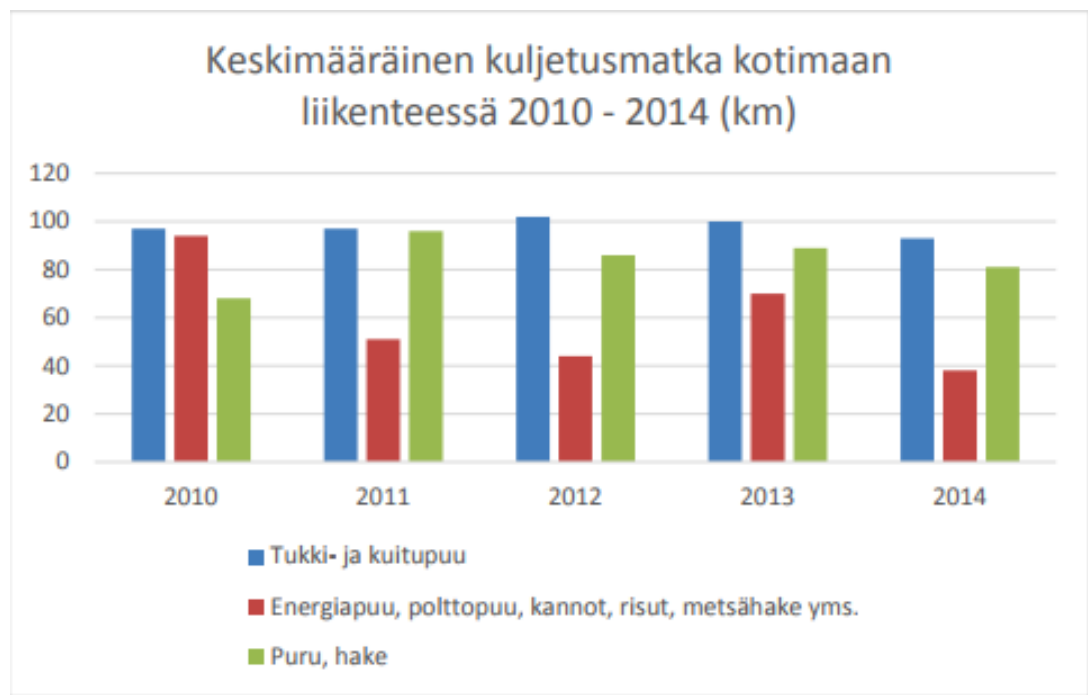


Kuvio 14. Autokuljetus osana puutavaran toimitusketjua (Kuljetusmuodot 2016)

### 8.1 Eri puulajien kuljetusten vertailu

Metsäbiomassan kaukokuljetuksissa energiapuun osalta voidaan todeta joitakin poikkeavuuksia pyöreän puun kaukokuljetukseen verrattuna. Luonteeltaan kuljetukset ovat hyvin samankaltaiset, mutta esimerkiksi keskimääräisissä kuljetusmatkoissa on eroja (ks. kuvio 15). Kuviosta voidaan huomata kuljetusmatkojen kehitys, erityisesti energiapuun keskimääräisen kuljetusmatkan lyhentyminen, verrattuna pyöreän puun

(tukki- ja kuitupuun) keskimääräisen kuljetusmatkan pysyessä lähes samana. Kuljetaminen on niin sanotusti herkkää, eli alhaisen myyntiarvon vuoksi kuljetusmatkojen on pysyttävä riittävän lyhyinä. Energiapuu ja pyöreä puu ovat myös ominaisuuksiltaan erilaisia kuljetuksen kannalta. Pyöreän puun kuormaaminen on siinä mielessä yksinkertaista, että siinä ei tarvitse huomioida esimerkiksi oksien aiheuttamia ongelmia. Energiapuukuljetuksissa kuorma ei välttämättä ole läheskään niin yhtenäinen kuin pyöreän puun kuljetuksessa, vaan esimerkiksi oksat saattavat jäädä roikkumaan varsinaisen kuormatilan ulkopuolelle. Kuormauksessa on siis huomioitava kuormaus-tapa ja mahdollisten peitteiden ja lisävarusteiden käyttö kuormauksessa, jotta kuormatilan ylittävät osat saadaan pysymään sallituissa rajoissa. Hakkeen kuljetuksessa pankkoja ei tietenkään voida käyttää kuten muiden puulajien kuljetuksissa. Haketta kuljetetaan umpinaisissa kuormatiloissa ja haketus tapahtuu suoraan kuormatilaan hävikin ehkäisemiseksi. Lisäksi kaikkia kuljetusmuotoja ei voida soveltaa kaikkien puulajien kuljetuksissa, esimerkiksi vesikuljetusmuotona uittoa käytetään vain tukki-puun kuljetuksiin.



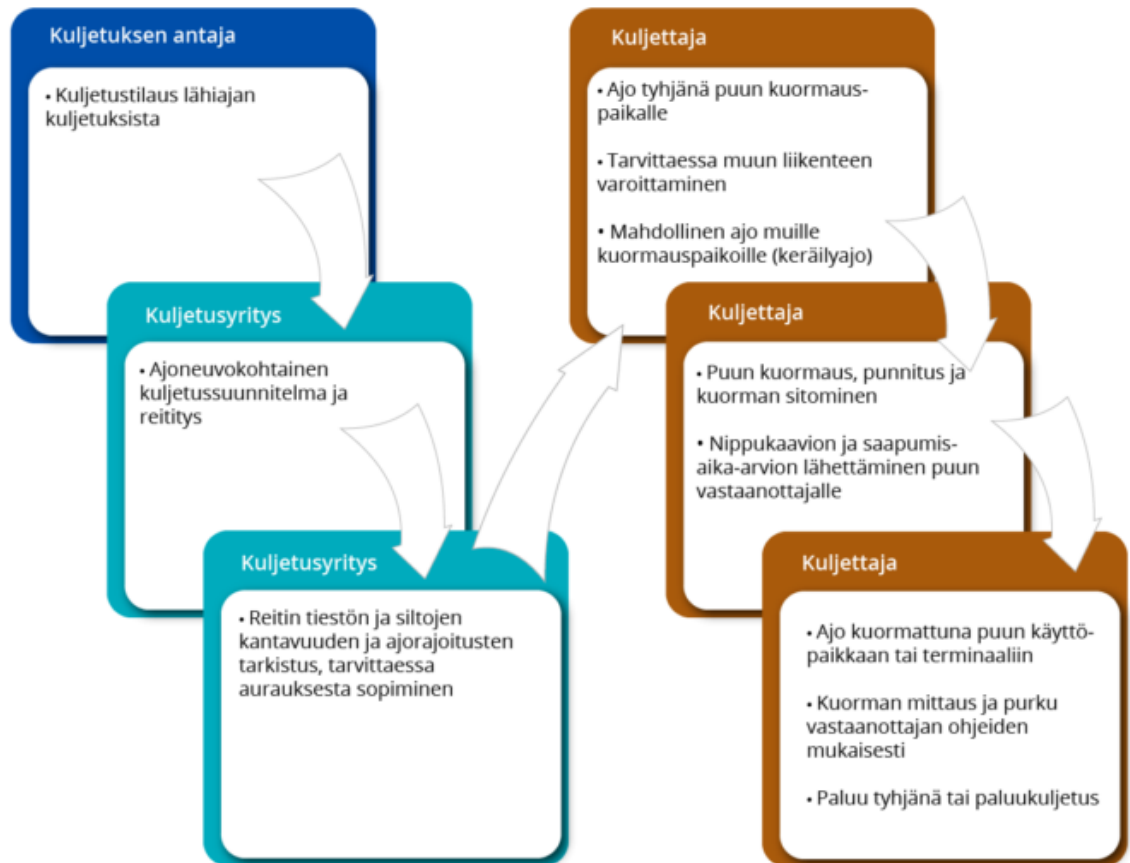
Kuvio 15. Keskimääräiset puutavaroiden kuljetusmatkat (Venäläinen & Poikela 2016, 11)

## 8.2 Toimintaan liittyvät tiedot

### 8.2.1 Autokuljetus

Kaukokuljetuksissa toimintaan liittyvillä tiedoilla tarkoitetaan oikeastaan kaikkia puutavara-auton liikkeitä ja niihin liittyviä toimintoja. Tietenkin yksi tärkeimpiä tietoja, joita kaukokuljetuksessa saadaan, on paikkatiedot. Kaikissa nykyaikaisissa ajoneuvoissa on ajotietokone ja se on yhteydessä toiminnanohjaukseen tai ajojärjestelyyn. Ajotietokoneissa on GPS-paikannuksella varustettu karttaohjelma, jolloin puutavara-auton sijaintitiedot välittyvät toiminnanohjaukselle reaaliajassa. Kuljetusten kestoja on mahdollista seurata. Myös tiedot kuormauksen ja purkamisen kestoista voivat välittyä ohjelman välityksellä. Yleistymässä on myös ajoneuvon tietojärjestelmään asennettava akselimassamittaus, jolla voidaan varmistaa oikeat kuormitukset.

Autokuljetuksen järjestäminen sisältää useita suunnittelun ulottuvuuksia ja huomioidettavia asioita (ks. kuvio 16). Kuljetusyritykselle kuljetuksesta annetaan tilaus, jossa voi olla joko tarkat määräykset ajoneuvoista ja kuormista tai yrittäjälle annetaan valta antamalla tiedot vain varastoista ja kuljetusmääristä. Lisäksi tietoja annetaan kääntöpaikoista, varastojen sijainneista sekä kuormaimen ja perävaunun jättöpaikkojen sijainneista. Metsävarastossa kuljettaja vertaa annettuja sähköisiä puutavaran tietoja puunippujen tunnistelappuihin. (Kuljetustilaus 2016.)



Kuvio 16. Kuljetuksen järjestämisen vaihteita (Kuljetuksen vaiheet 2016)

Puutavaran kaukokuljetuksessa voidaan varastolla käynnit jakaa karkeasti kahteen kategoriaan. Puutavara-auto voi käydä yhdellä tai useammalla tienvarsivarastolla. Jos puunkuljetusajoneuvolla käydään useammalla tienvarsivarastolla kuormaamassa, puhutaan keräilyajosta. Normaalijasta puhutaan, kun kuorma saadaan yhdeltä varastolta. Useimmissa tapauksissa tilanne on se, että yksi tärkeimmistä tehokkuuden mittareista on käytetty aika. Väkevä, Lindroos, Rajamäki ja Uusi-Pantti ovat tutkineet lisääjanmenekkiä, joka aiheutuu keräilyajosta. Erityisesti tutkimuksessa keskityttiin ajanmenekkiin varastojen välillä siirryttäessä ja kuormaustoiminnoissa. Myös ajonopeuksia selvitettiin siirtymisajoissa. Ajonopeuksien tarkastelua on esitetty tarkemmin Väkevän ja muiden raportissa luvussa 3.3. Tutkimusmenetelmiä oli esitetty raportissa useita. Tärkeimpinä tiedonhankintatapoina esiintyivät kellottaminen ja erilaiset mittarit, kuten vaakamitta, pinomitta ja tukkimittari. Tutkimuksessa kerättyjen tietojen tavoitteena oli palvella muun muassa autokuljetusten kehittämistä, kustannusten kartoittamista ja suunnittelun parantamista autokuljetuksissa. Keräilyajosta voidaan





mallinnuksessa. HCT-yhdistelmien käyttö toimitusketjussa aiheuttaa yleensä lisäkustannuksia. Lokakuussa 2013 suurimmat sallitut kokonaispainot ja –massat nousivat raskaissa ajoneuvoyhdistelmissä, ja tämän seurauksena käynnistettiin kokeiluja suuremmille yhdistelmille. HCT eli High Capacity Transport –kokeilulupia on myönnetty ainakin viidelle puutavarayhdistelmälle ja kolmelle hakeyhdistelmälle. HCT-yhdistelmän käyttö aiheuttaa tietyissä tapauksissa toimitusketjussa muutoksia, sillä suuret yhdistelmät eivät sovellu metsäajoon, eli on käytettävä siirtokuormausajoneuvoa. Lisäksi tarvitaan soveltuva terminaaliverkko ja kuljetuskäytäväverkko. Kuljetuskäytävillä tarkoitetaan tieyhteyksien, terminaalien ja puutavaran toimituskohteiden kokonaisuuksia. HCT-yhdistelmää voidaan käyttää myös pelkästään esimerkiksi terminaali-loppukäyttäjä -väliseen kuljetukseen, jolloin metsästä haku voidaan suorittaa edelleen esimerkiksi tutulla moduuli-yhdistelmällä. Tutkimusraportissa on esitelty myös mielenkiintoista tietoa uusista hybridi- ja täyssähkökoneista terminaalikäytössä, joilla saavutetaan huomattavia polttoainesäästöjä. Uudet ratkaisut ovat kuitenkin vielä pitkälti kehitysasteella. (Venäläinen, Aalto, Heljanko, Hilmola, Korpinen, Ovaskainen, Pesonen & Poikela 2017, 13.)

## 8.2.2 Vesikuljetus

### 8.2.2.1 Uitto

Yksi käytettävistä kuljetusmuodoista on jo pitkään Suomessa tunnettu uitto, jonka käyttö kuljetusmuotona varastosta loppukäyttöön on vähentynyt. Kuljetusmuotona se on kaukokuljetusvaihtoehtoista kaikkein hitain. Uitossa puun on oltava riittävän kuivaa, jotta se kelluu vedessä. Puun kuivattaminen kuitenkin heikentää jalostusarvoa, mutta vedessä laadun säilyminen on parempaa. Puun vesikuljetuksen tulee olla hyvin suunniteltua, ja eri tekijöiden vaikutukset on otettava huomioon (ks. kuvio 18). Puutavara kuljetetaan pudotuspaikalleen autokuljetuksina, ja puiden pudotuksessa veteen käytetään apuna trukkia. Vesialueisiin liittyy tiettyjä reunaehtoja vesialtaan syvyyteen ja kokoon liittyen, jotka täytyy huomioida uittosuunnittelussa. Lisäksi erilaisia varusteita uittoon liittyen tarvitaan. Ennen pudotuspaikkaa puutavara-auto ajetaan sidontapaikalle, jossa puut niputetaan. Tiedonhallinnan- ja erityisesti tehokkuuden kannalta on tärkeä suunnitella autokuljetukset pudotuspaikoilleen siten, että

trukki on paikalla, eikä puutavara-auto seiso kuormattuna paikallaan. Pudotuspaikkoja edeltää myös puskurivarastoja, joihin puutavaraa ajetaan ennen uittokauden alkua kuivamaan ja pihkoittumaan. (Uitto n.d.)

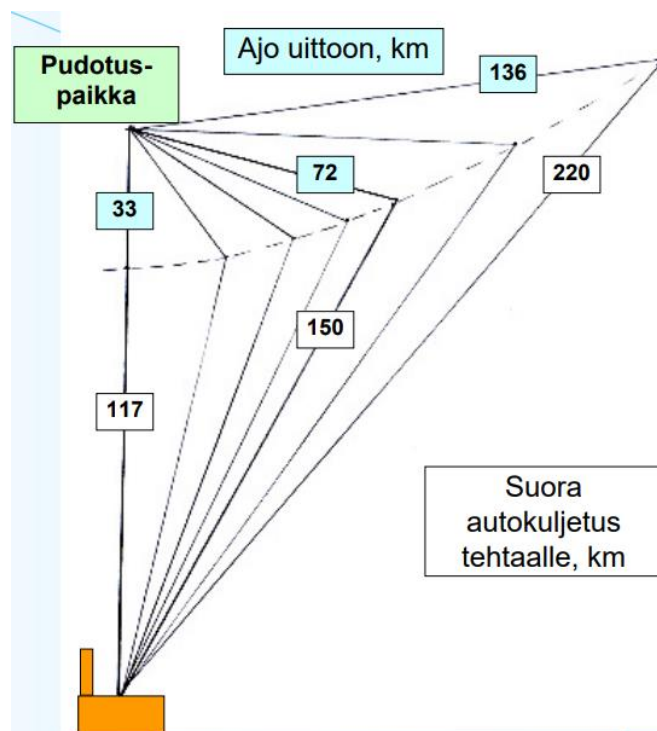
Uittopuun punnituksessa voidaan käyttää puutavara-auton kuormainvaakaa, trukin vaakaa, kannettavia pyöräpainovaakoja, veteen asetettavan nippukehikon vaakaa tai siirrettävää siltavaakaa. Näistä vaihtoehtoista toiminnan kannalta hyväksi vaihtoehdoksi on todettu ainakin puutavara-auton kuormainvaaka. Puu voidaan puolestaan mitata ainakin käyttämällä valtakunnallisia tuoretiheystaulukoita. Lisäksi yleisesti käytetään pinomittausta. (Väkevä, Hujo, Mäkelä, Peltola & Rieppo 2005, 5-8.)

VAIHE	TEKIJÄ	PARANTAA UIMISKYKYÄ	HEIKENTÄÄ UIMISKYKYÄ
KORJUUN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS	Kasvupaikka Kasvunopeus Hakkuutapa Hakkuuajankohta Pölkyn koko Korjuutoimenpiteet	Rehevä kasvupaikka Nopeakasvuisuus Päätehakkuu Talvi Järeät pölkyt Pölkkyjen kuivatus levälään palstalla	Karu kasvupaikka Hidaskasvuisuus Ensiharvennus Syksy ja kevät Pienet pölkyt
VARASTOINTI	Varastoinnin kesto Varastoinnin ajankohta Varastointiajan sää Varastopaikka Varaston rakenne	Pitkä aika Kevät ja kesä Lämmin, tuulinen Avoin, tuulinen paikka Välipuiden käyttäminen	Lyhyt aika Syksy Sateinen, viileä Suojaisa paikka Tiiviit pinot
VETEENPANO	Nipun rakenne Nipun sitominen Uittovarastojen purku	Tiivis ladonta Joukossa järeitä pölkkyjä Pyöritys ja tiukka sidonta Kuivimmat kerrokset ensin veteen	Huono ladonta Vain pieniä pölkkyjä Löysä sidonta

Kuvio 18. Uimiskykyyn vaikuttavia tekijöitä (Uitto n.d.)

Vesikuljetuksen vahvuutena on ehdottomasti edullisuus yli n. 120 kilometrin kuljetusmatkoilla verrattuna muihin kaukuljetuksen muotoihin. Uittoon kuitenkin liittyy aina autokuljetukset pudotuspaikoille, joten kuljetuksissa vaaditaan paljon suunnittelua (ks. kuvio 19). Lisää hyviä puolia on myös varastoinnissa, joka ei aiheuta lisäkustannuksia ja suuret vesivarastot antavat toimintaan joustavuutta. Lisäksi vesikuljetus mahdollistaa tienvarsivarastojen nopean tyhjentämisen ja ajomatkat lyhentyvät.

Myös laadunhallinnan kannalta vesikuljetus tarjoaa mahdollisuuksia verrattuna auto- tai rautatiekuljetuksiin. Määränopeudeksi on arvioitu Purhosen esityksessä Rumpusen mukaan 25 000 kuutiometrin kuljettamiseen 300 kilometrin matkalla runsaat kaksi viikkoa. Vertailuna on autokuljetus, jolla vastaavan määrän kuljettaminen vaatii kaksivuoroajona yli 30 puutavara-autoyhdistelmää ja vastaavasti rautatiekuljetuksina 5-10 syöttöautoa ja kaksi päivittäistä kokojunaa. (Purhonen 2007, 2-10.)



Kuvio 19. Kuljetusmatkoja (Purhonen 2007, 4)

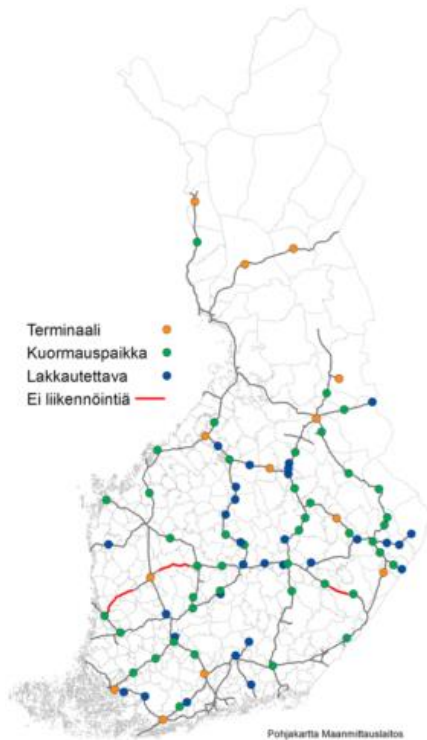
#### 8.2.2.2 Aluskuljetus

Merkittäviä määriä aluskuljetuksilla kuljetetaan Suomessa vain Vuoksen vesistöissä. Aluskuljetuksia varten Suomessa on useita yksityisiä ja yleisiä lastauspaikkoja ja puutavaran vastaanottavat usein voimalaitokset omissa satamissaan. Aluskuljetusten osuus kaikista puutavaran kaukokuljetuksista säilyy todennäköisesti samana, sillä kuljetusreittien lisääminen on käytännössä mahdotonta. (Kuljetusten infrastruktuuri-verkko 2016.)

UPM:n lehdessä Metsänomistajille on kerrottu aluskuljetusratkaisusta. Yksi UPM:n yrittäjistä, Kone-Yijälä, rakensi oman aluksensa saaripuun kuljetusta varten. Rakennettuun kansilastiproomuun mahtuu viisi rekallista puuta ja etuna uittoon nähden on kuljetuksen nopeus. Proomussa kuljetetaan useita puutavaralajeja, joista kuusikuitu päätyy Kaipolaan tehtaalle, kuusitukit kuljetetaan Seikun sahalle, koivutukit menevät Säynätsaloon vaneritehtaalle, mäntytukit Korkeakosken sahalle ja koivukuitu kuljetetaan Kymin paperitehtaalle. Kuljetuksessa puut säilyvät kuivina ja materiaali saadaan tuoreena loppukäyttäjälleen. Päijänteen alueella uitosta on luovuttu ja vesikuljetukset suoritetaan aluksilla. Aluskuljetuksen ansioista kuljetus saaresta tehtaalle on nopeutunut. Aluskuljetuksen suorittamiseen vaaditaan omanlaista ammattitaitoa, jota ei ole saatavilla ainakaan niin helposti, kuin esimerkiksi perinteisellä autokuljetuksella kuljetettaessa. Lisäksi kuljetusmuodon valinta vaatii tietysti tutkimusta kuljetusnopeudesta ja matkoista, eli kannattaako aluskuljetusta harkita ja saadaanko sillä hyötyjä toiminnan kannalta. Tässä esimerkissä saaripuun kuljetuksessa hyötyä saatiin välittömällä innovatiivinen aluskuljetus. (Metsänhenki 3/2011, 22-25.)

### 8.2.3 Rautatiekuljetus

Vesikuljetusten ja rautatiekuljetusten alkukuljetukset hoidetaan samalla tavalla, eli autokuljetuksilla. Lastauspaikoilla puutavara siirretään rautatiekuljetuksen kyytiin puutavara-autojen omilla kuormaimilla. Kokonaisuudessaan Suomen rataverkko koostuu yleisistä rautateistä sekä yksityisistä radoista (ks. kuvio 20). Yksityisiä ratoja ovat esimerkiksi tehtaiden omat rataverkot. Rataverkkojen hyödyntämisessä on huomioitava eri ratojen sähköistykset, akselipainorajoitukset, nopeusrajoitukset ja junien maksimipituudet. (Kuljetusten infrastruktuuriverkko 2016.)



Kuvio 20. Suomen rataverkko, puutavaran terminaaleja ja kuormauspaikkoja (Kuljetusten infrastruktuuriverkko 2016)

Autokuljetuksesta rautatiekuljetukseen vaihdettaessa on huomioitava junakuljetuksen suorittajan ohjeistus. Erityisesti ohjeistuksia on usein kuormaustapahtumaan liittyen. Puutavara kuljetetaan tienvarsivarastosta joko suoraan junaan, tai puu kuljetetaan terminaaliin, josta se kuormataan junaan. Junan vaunujen kuormista laaditaan kuljettajan toimesta ns. nippukaavio, joka lähetetään kuljetuksenantajan eli esimerkiksi tehtaan tietojärjestelmään. Erät kuormataan junaan siten, että erät voidaan mitata erikseen tai mittauksessa voidaan vaihtoehtoisesti hyödyntää puutavara-auton kuormainvään teknologiaa. (Autokuljetus junaan 2016; Nippukaavio 2016.)

Suomessa rautatiekuljetuksien potentiaalia ei kyetä täysin hyödyntämään puutteellisen verkoston vuoksi. Verkostoa on kuitenkin lähdetty kehittämään ja sen päätavoitteena ovat suuremmat terminaalit ja suuremmat junapituudet. Verkoston kehittämällä myös parannetaan vaunukaluston kiertonopeuksia, tehostetaan toimintaa ja alennetaan kuljetuskustannuksia. Erityisesti kasvua ennustetaan pidemmillä puutavaran rautatiekuljetuksilla, jotka kuljettavat puuta suuren volyymin loppukäyttäjille. Pit-

kän kuljetusmatkan määritelmä on puutavaran kaukokuljetuksissa 150 kilometriä ylittävä kuljetusmatka. Terminaalitoimintojen tehostaminen liittyy läheisesti hankkeeseen ja tavoitteena onkin automaation ja uuden teknologian hyödyntäminen puutavaran käsittelyssä terminaaleissa. (Kohti tehokkaampaa puuhoitoa 2012.)

## 8.3 Ympäristöön liittyvät tiedot

### 8.3.1 Renkaiden paineen hallintajärjestelmä

Järjestelmästä käytetään myös nimeä TPC eli Tyre Pressure Control System tai CTI eli Central Tyre Inflation. Yleisesti Kanadassa käytössä oleva renkaiden paineen hallintajärjestelmä (CTI-järjestelmä) TireBoss on Siekkisen ja Korpilahden mukaan luultavasti ainoa täysin puutavara-autoihin suunniteltu järjestelmä. Suomessa CTI-järjestelmien käyttöönotolla tähdätään kuljetusten toimivuuden ylläpitoon ja liikennesäätöjen vähentämiseen. Kuljettaja voi valita rengaspaineet ajonopeuden, tien ja kuorman perusteella näyttöpäätteestä (ks. kuvio 21). Järjestelmä on jatkuvasti paineistettuna ja rengaspaineet ovat akseliryhmittäin: eturenkaat, vetävät renkaat ja perävaunu. Järjestelmä välittää siis tietoa näyttöpäätteeseen kuljettajalle ja esimerkiksi rengasrikko selviää kuljettajalle välittömästi. Kyseinen tekniikka tarjoaa merkittävää etua esimerkiksi metsäteillä ajettaessa, jossa suurena ongelmana on teiden urautuminen ja siitä seurauksena tien käyttökelvottomuus. CTI-järjestelmällä on todettu olevan todella merkittävä vaikutus tien käyttökelpoisena pitämiseen useidenkin ajokertojen jälkeen. Muita huomattuja hyötyjä ajettaessa aina oikeilla rengaspaineilla ovat muun muassa ajonaikaisen värinän pieneminen, luiston vähentäminen, renkaiden käyttöiän pidentäminen ja liikenneturvallisuuden parantuminen. Lisäksi järjestelmän yhteydessä voidaan käyttää monitorointijärjestelmää, jolla voidaan seurata käyttäkö kuljettaja CTI-järjestelmää oikein. Monitoroinnilla tallennetaan tietoa yhdistämällä rengaspainetiedot ja paikkatiedot. (Siekinen & Korpilahti 2015.)



Kuvio 21. Kanadalaisen TireBoss-järjestelmän näyttöpäite (Siekkinen & Korpilahti 2015, 5)

### 8.3.2 Olosuhteet

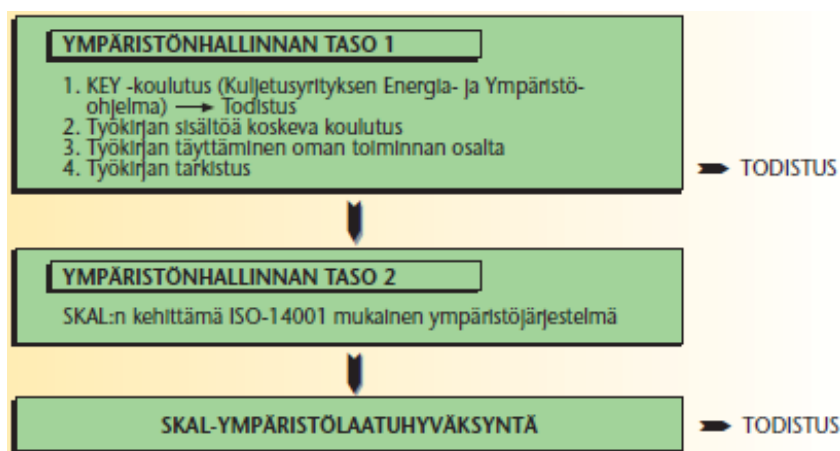
Kaukokuljetuksen onnistumiseksi on olennaista, että varastolle johtavat metsätiet ovat hyvässä kunnossa. Ongelmia tuottaa erityisesti teiden pehmeys, jolloin kiinnijäämisen riski on olemassa. Rengaspaineiden säätöjärjestelmillä voidaan vaikuttaa urautumiseen ja ajon helpottamiseen pehmeillä pinnoilla. Teiden kunnan lisäksi käänköpaikkojen tulisi olla asianmukaiset, joka helpottaa kuljettajien työtä olennaisesti. Raskaan yhdistelmän kääntäminen kapeilla metsäteillä on ongelmallista ilman kunnollista käänköpaikkaa. Tietoa tarvitaan myös tilasta, jossa joudutaan varastolla työskentelemään. Teiden kunnosta kertovien tietojärjestelmien käyttö kaukokuljetusten ohjauksessa sekä helpottaa kuljettajien työskentelyä, että tehostaa logistiikkaa. Tietojärjestelmiä voidaan hyödyntää esimerkiksi vaihtoehtoisen reittien valinnassa tiestön kunnan perusteella.

Kelirikon aikana kaukokuljetusten saapuminen tienvarsivarastolle voidaan ajoittaa aamupakkasille, jolloin tien pintakerros on vielä kovimmillaan. Tiheiden ajokertojen

välttämisen ja toiminnan keskeytys hetkellisesti antavat myös tien pintakerrokselle mahdollisuuden kovettua. Talviaikaan myös rakennetaan puutavara-autoille jääteitä, joista tiedot ovat saatavissa tiekunnilta. Jätteiden käytössä täytyy huomioida jään maksimikantavuus. (Tiestön kantavuus, ajorajoitukset ja talvikunnossapito 2016.)

### 8.3.3 Kulutus ja päästöt

Tieliikenteestä aiheutuvat pakokaasupäästöt ovat merkittävä ympäristöhaitta, jota pyritään hallitsemaan erilaisin keinoin. Käytössä olevia keinoja puutavara-autojen päästöjen pienentämiseksi ovat muun muassa suodattimet, katalysaattorit, oikeat huoltosykli, moottorin säädöt, puhtaammat polttoaineet ja kuljettajien koulutukset. Erityisesti kuljettajien koulutuksella tähdätään taloudellisen ajotavan kouluttamiseen, mutta myös erilaisten muiden ongelmien hallintaan, kuten jätteiden käsittelyyn ja öljyvuootojen torjuntaan. Lisäksi kuljetuksia ohjaavilla järjestelmillä pyritään minimoimaan ajokilometrejä ja oikeanlaisilla ajoneuvoyhdistelmillä kulutuksia puutavara-tonnia kohden saadaan pienennettyä. Yrityksillä on käytössä myös erilaisia laatujärjestelmiä ja ympäristöjärjestelmiä. Niitä on kuvattu ympäristöasioiden hallintaan käytetyiksi työkaluiksi ja niiden tavoitteena on saada kilpailuetua ja parantaa työntekoa sekä asiakassuhteita. Ympäristönhallintajärjestelmiä on eri tasoisia eri kokoisille yritystoiminnoille. Kuviossa 22 on esitetty tason 1 ympäristönhallintajärjestelmä, joka soveltuu pienen kokoluokan yritykselle. (Puutavaran autokuljetus 1997, 28-31.)



Kuvio 22. Esimerkki tason 1 ympäristönhallintajärjestelmästä (Puutavaran autokuljetus 1997, 31)



## 8.4 Materiaaliin liittyvät tiedot

### 8.4.1 Kuorma

Kuormattavan puutavaran massa mitataan puutavara-autosta joko kuormaus- tai purkuvaiheessa kuormaimen asennetulla vaa'alla, tai rakenteisiin asennetulla vaa'alla kuormauksen jälkeen. Käytännössä ajoneuvon kuormaimesta välittyy tieto tietojärjestelmään kuljettajan suorittamasta kokonaiskuormauksesta, eli kuorman massasta. Toinen vaihtoehto on ajoneuvoon asennetut vaa'at, jolloin ajoneuvon tietojärjestelmä kertoo kuorman massan ja akselimassat. Tuoretiheyslukujen avulla kuorman paino muutetaan tilavuudeksi, tuoretiheydelle on olemassa omat taulukonsa ja esimerkiksi aiemmin mainitun EPPU-laskurin avulla saadaan halutut arvot (ks. kuvio 23). (Puutavaranmittauksen neuvottelukunta 2014.)

### EPPU 1.82 - energiapuun mittauslaskuri

Sovellus tuottaa energiapuun painon ja tilavuuden välisissä muunnoissa käytettävät tuoretiheysluvut. Tuoretiheysluvun määrittäminen noudattaa Metsäntutkimuslaitoksen määräystä (2/2013).

Mittauslaskuri otetaan käyttöön 1.1.2014 ja se korvaa aiemmat käytössä olleet versiot. Laskurin ulkoasua ja viittauksia tuoretiheystaulukoihin on muutettu Metsäntutkimuslaitoksen määräyksen mukaisiksi. Version 1.82 laskennallinen sisältö on sama kuin versiossa 1.81.

Käyttäjä vastaa sovelluksella tehtyjen määrittäysten oikeellisuudesta. Toiminta on testattu Excel2007- ja Excel2010-versioissa.

**KÄYNNISTÄ LASKURI**

Metsäntutkimuslaitoksen määräykset puutavaran mittaukseen liittyvistä yleisistä muuntoluvuista ovat ladattavissa osoitteesta:

<http://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/404001/>

Tietoa puutavaran mittauksesta Metsäntutkimuslaitoksen MetINFO-palvelussa:

<http://www.metsa.fi/metinfo/tietopaketti/mittaus/>

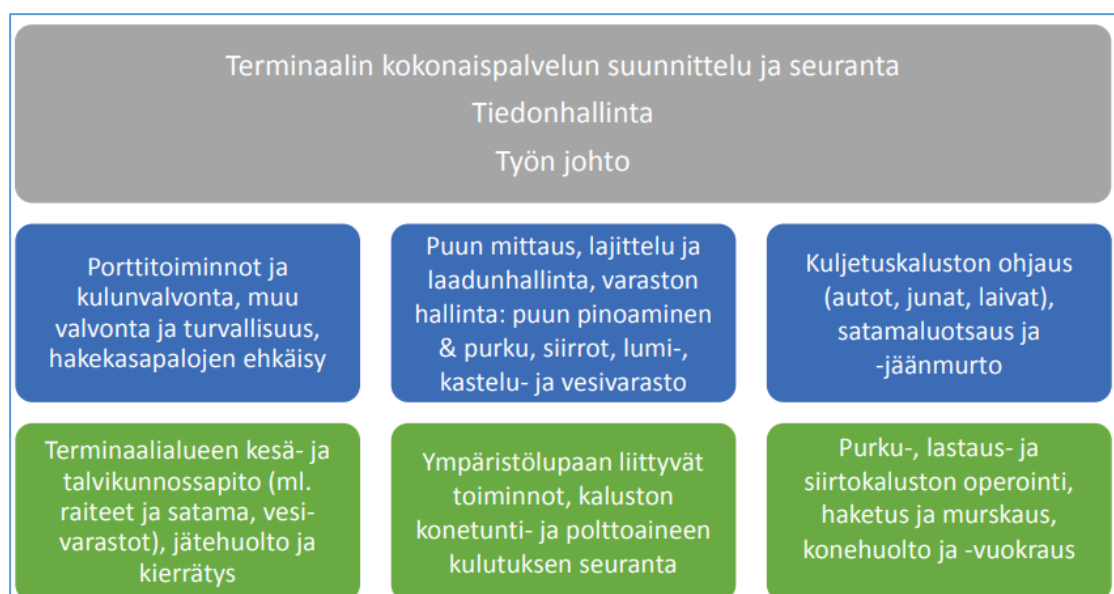
© Metsäntutkimuslaitos 2013

Kuvio 23. EPPU-mittauslaskurin näkymä Excel-taulukkolaskentaohjelmassa

### 8.4.2 Välivarastointi terminaalissa

Kaukokuljetus kuljettaa puutavaran tienvarsivarastolta terminaaliin tai loppukäyttöön. Terminaaliin saapuessa puutavaralle tehdään tarvittavat mittaukset ja materiaali siirretään joko varastoon, jalostukseen tai lastataan seuraavaan kuljetukseen. Terminaalissa varastointia käytetään myös laadunhallinnan keinona, sillä terminaaliolosuhteet ovat paremmin kontrolloitavissa. Terminaalien merkitys on huomattava, sillä Suomen olosuhteet erityisesti kelirikkokausilla eivät salli ajoa kaikilla metsäteillä, jolloin puutavara on kuljetettava terminaaliin etukäteen.

Terminaalia voisi oikeastaan kuvata varmuusvarastoksi ja valmistuspaikaksi Virkkusen mukaan. Tavoitteena on muun muassa jalostaa puutavara paremman kuljetustehokkuuden saavuttamiseksi, vaikuttaa palakokoon, parantaa toimitusvarmuutta ja tasoittaa kysyntäpiikkejä. Säästöpotentiaali on suurissa terminaaleissa ja haketus/murskaus aiheuttavat suurimmat kustannukset, joten tarve on korkealle käyttöasteelle. (Virkkunen 2014, 4-15.) Toiminta terminaalissa tuottaa huomattavan määrän tietoa ja tiedonhallinta onkin suuressa roolissa (ks. kuvio 24). Keskeisimmät tiedot puutavaran kannalta liittyvät jalostukseen ja varastointiin terminaalitoiminnoissa.



Kuvio 24. Terminaalitoimintojen kuvaus (Venäläinen & Ovaskainen 2016, 20.)

## 8.5 Tietotarpeiden analysointi

Toiminnan kannalta olennaiset tiedot ovat ajankäyttöön liittyvät tiedot, kuljetusmatkat, kuljetettavat määrät ja kuljetusmuotojen tarjolla olevat vaihtoehdot. Muutenkin kaukokuljetuksien tietotarpeet painottuvat toimintaan- ja ympäristöön liittyviin tietotarpeisiin. Kaukokuljetusten tietotarpeet on esitetty taulukossa 5. Aikaleimatiedot ovat tietoja, joita mahdollisesti seurataan, mutta enemmänkin ne ovat potentiaalisia tietotarpeita. Aikaleimatiedoilla on kuitenkin mahdollista määrittää eri työvaiheiden kesto, ja sitä kautta suunnitella työn suorittamista uudelleen. Tietoja voi myös analysoida ja puuttua nimenomaan liikaa aikaa vaativien työvaiheiden tehostamiseen. Esimerkiksi keräilyajossa erilaiset puutavara-auton valmisteluun liittyvät työvaiheet vievät yllättävän paljon aikaa, eikä niihin välttämättä tule kiinnitettyä tarpeeksi huomiota. Kaukokuljetuksen pituus on olennainen tekijä kuljetusmuodon valinnassa. Puutavarasta riippuen kaukokuljetuksissa kuljetusmatkan tulisi olla suhteellisen lyhyt toiminnan kannattavuuden kannalta. Reittitietojen pohjalta voidaan suunnitella koko toimitusketjussa käytettävä(t) kuljetusmuodot. Punnituksessa kuormainvaakoja hyödynnetään tiedonkeräysvälineenä, joka osaltaan helpottaa tarvittavien tietojen keräämistä. Kaukokuljetuksissa puutavara-autoissa on nykyään kartta- ja paikannusohjelmistot ja lisäksi useita muita sovelluksia toiminnan tueksi.

Ympäristön tietotarpeet keskittyvät kaukokuljetuksissa maastoon ja sen ominaisuuksiin. Kelirikkkokaudet tuottavat ongelmia kuljetuksissa erityisesti metsäteillä, jolloin osa teistä on kokonaan suljettuina ja osa teistä on ajokelvottomia. Metsissä maaston puolesta suurimpia ongelmia aiheuttavat maaston kantavuuden heikkous ja teiden pehmeys, jolloin kiinnijäämisen riski on olemassa. Rengaspaineiden säätöjärjestelmillä voidaan asiaan vaikuttaa, ja saatetaan saada esimerkiksi poikkeuslupa kuljetuksen suorittamiseksi. Maaston ominaisuuksista saatavat tiedot mahdollistavat yhdessä reittitietojen kanssa onnistuneen kuljetuksen. Maastosta ja olosuhteista saatavat tiedot kerätään ainakin metsäkoneiden toimesta työn ohella, erilaisista tietojärjestelmistä ja ennakkotiedoista. Puutavara-autojen päästöjen ja jätteiden hallinta on yksi ympäristönhallinnan osa-alue. Yrityksillä on käytössä erilaisia laadun- ja ympäristönhallintajärjestelmiä, joilla päästöjä pyritään hallitsemaan.

Kaukokuljetuksen suorittamiseksi materiaalista tarvitaan tietoja. Tärkeitä tietoja ovat kuljetettavan tavaran määrä ja puutavaran laji. Volyymitietojen perusteella voidaan suunnitella tarvittava kalustomäärä ja kuljetustarve. Puutavaralajin perusteella taas suunnitellaan mahdollisten apuvälineiden, kuten peitteiden käyttö energiapuun kuljetuksessa. Materiaalitietoja kerääntyy kuormainvaa’an avulla kuormausvaiheessa ajoneuvon tietojärjestelmään ja kuljetustilaus sisältää tiedot kuljetettavasta puutavarasta.

Taulukko 5. Kaukokuljetuksen tietotarpeet

TOIMINTA	YMPÄRISTÖ	MATERIAALI
Aikaleimatiedot	Olosuhteet	Laatutiedot
- Keräilyajo	- Teiden kunto	Kuorman koko ja kokonaisvolyymi
- Tyhjänä- ja kuormattuna-ajo	- Kelirikot	Tuoretiheysluvut
- Siirtymisajot ja varastoajo	- Urautuneisuus ja pehmeys	Tilavuustiedot
- Normaaliajo	- Kääntöpaikat	Kuljetettavat puutavaralajit ja muodot
- Kuormaus	- Tilatiedot metsässä	
- Eri työvaiheet	- Kuljetusverkot yleensä	
Ajonopeudet ja -etäisyydet	Kulutustiedot	
- Kuljetusmuotovaihtoehdot ja kalustovaihtoehdot	Säätiedot ja vuodenajat sekä mahdolliset jäätiet	
- Kuljetusmuotojen erityistarpeet	Päästöt	
- Reittitiedot		
- Paikkatiedot		
Punnitus ja akselimassat		
Kuljetettava määrä ja puutavaran lajit		
Mahdollisten lisävarusteiden tarve		
Kuljetuksen kesto ja saapumisaika-arviot		
Varastojen sijainnit, kääntöpaikat, jättöpaikat (kuormain ja perävaunu)		
Kuljetussuunnitelma		
- Reititys, tiestön ja siltojen kantavuudet		

- Ajorajoitukset		
- Mahdollinen auraus		
- Mahdolliset paluukuljetukset		
- Kuljetusvälineiden tunnistaminen		

## 9 Loppukäyttö

Kun puutavara saapuu loppukäyttöön esimerkiksi voimalaitokselle, suoritetaan materiaalille vielä ns. sisääntulotarkastuksia. Puutavaran ollessa haketta, otetaan siitä yleensä kuljettajan toimesta kosteusnäytteet ja ajoneuvo punnitaan siltavaa’alla tai kuormainvaa’alla kuorman massan varmistamiseksi. Käytännössä toimenpiteet ovat samat kuin terminaalissa, puutavaran kulkiessa terminaalin kautta. Lisäksi voimalaitoksilla suoritetaan vielä online-mittauksia puutavarasta, esimerkiksi kosteuden online-mittauksia. Mittauksissa on joitain eroavaisuuksia riippuen puutavarasta.

### 9.1 Toimintaan liittyvät tiedot

#### 9.1.1 Vastaanotto

Puutavaran vastaanotossa tehtaalla suoritetaan mittaukset ja purku. Tärkeimpänä tietotarpeena on siis saatavan puutavaran määrä. Punnitsemisessa käytetään siltavaakaa tai puutavara-auton kuormainta. Punnitus suoritetaan silloin, kun kuormasta maksetaan painon perusteella. Kuormasta määritetään myös kiintokuutiomäärä esimerkiksi tuoretiheyden avulla. Toinen vaihtoehto on tilavuuden määrittäminen, joka voidaan hoitaa laserskannerilla. Tämän lisäksi muita mittausvaiheita ei tarvita. Sahatukit mitataan tukkimittareilla dimensiolajittelussa. (Vastaanotto tehtaalla 2016.)

Tunnettuja muita mittausmenetelmiä tehdasolosuhteissa ovat muut mahdolliset otantaan perustuvat mittausmenetelmät, kehyskuvamittaus, laatuositemittaus, kuitupuun pinomittaus ja automaattiset laadutusasemat. (Mittaus ja laatu 2013.)

### 9.1.2 Puutavaran lajittelu ja käyttötarkoituksia

Haketta käytetään lämmöntuotantoon tai lämmön ja sähkön yhteistuotantoon (Hakkila 2004, 23). Mäntysahatavaraa käytetään pintamateriaalina ja vähäoksaisuus sekä tiheälustoinen sydänpuu kielivät hyvästä sahatavaran laadusta. Männylle läpimitta ja pituus ovat tärkeitä tekijöitä. Kuusisahatavaraa taas käytetään erityisesti rakenteisiin, eli lujuus on ratkaisevampi tekijä kuin ulkonäkö. Tärkeitä laatuominaisuuksia ovat muun muassa terveoksaisuus, hidaskasvuisuus, pienoksaisuus, suoruus ja muoto. Lustonleveystiedot ovat keskeisessä osassa lujuuden määrittämisessä kuusisahatukille. Koivuvanerilla valmistusvaiheessa viilun laatu on tärkeä tekijä. Erityisesti vanerin pintaan tulisi saada hyvälaatuisia viilua. Havuvaneriin taas käytetään järeitä kuusitukkeja ja pinnassa käytettävän viilun tulisi olla terveoksaista kuusta. Sellun valmistuksessa taas havusellua käytetään hienopaperin raaka-aineena ja rakenteen muodostamiseen. Tärkeää on, että raaka-aineessa on mahdollisimman pitkäkuituista puuta. Koivusellua taas käytetään paperilla parantamaan pintaominaisuuksia ja painatusominaisuuksia. (Korpilahti, Imponen, Mäkelä, Pennanen & Poikela 2005, 11-13.)

Sahalla tukkien lajittelussa käytetään kuoretonta latvaläpimittaa, pituutta ja laatutekijöitä. Jokaisen sahauserän tukit tulisi olla kuorettomana samanlaisia. Sisäistä laatua voidaan mitata esimerkiksi röntgenillä, jolla voidaan määrittää muun muassa sisäistä oksaisuutta ja muita ominaisuuksia. Toinen mahdollinen menetelmä on digitaalikuvaus tekniikka. Koivuvanerin kohdalla valmistuksessa halutaan mahdollisimman hyvälaatuisia viilua ja vaneritukeista pystytäänkin määrittämään melko hyvin viilun laatu. Laadunhallinnassa olennaisimmat virheet tehdään varastoinnissa. Kuusivaneritukeilla lajittelun osalta tärkeimmät lajittelut suoritetaan jo hakkuuvaiheessa. Selluntuotannossa tärkein tavoite on tasainen laatu asiakkaan toiveiden mukaan. Tehtailla raaka-aineita yhdistellään laatuvaatimusten mukaan ja samalla varmistetaan vakaa tuotantoprosessi. Raaka-aineena on yleensä varastoitava hake. Hake lajitellaan omiin kassoihinsa pääsääntöisesti kuidun pituuden ja puulajin mukaan. Erilaatuisia lopputuotetta saadaan yhdistelemällä erilaatuisia raaka-aineita. Teknologioita yleisesti lajittelussa ja laadunmäärittämisessä ovat muun muassa konekäsittely, kuva-analyysi, röntgenlaitteet sekä muut laitteistot ja ohjelmistot. Lisää erilaisista tekniikoista on kerrottu kappaleessa 9.3. (Korpilahti ym. 2005, 14-22.)

## 9.2 Ympäristöön liittyvät tiedot

### 9.2.1 Ekologisuus

Nykyään toimintaa ohjaavina tekijöinä ovat vahvasti nousseet kestävä kehitys ja ekologiset tekijät. Esimerkiksi tehtaiden hiilijalanjälkiä ja päästöjä on mitattu jo pitkään ja jätteiden määrää pyritään jatkuvasti minimoimaan. Kestävän kehityksen käsite on vahvasti esillä politiikassa ja yritysten toiminnalle annetaan tavoitteita toiminnasta syntyvien päästöjen pienentämiseksi. Suomi on osana EU:n päästökauppajärjestelmää ja päästökauppaviranomaisena Suomessa toimii Energiavirasto, joka valvoo kustannustehokasta kasvihuonepäästöjen vähentämistä (Päästökauppa 2017). Loppukäyttäjän näkökulmasta päästöjä on seurattava, koska sillä voi olla vaikutusta toimintaan. Tätä kautta esimerkiksi tuotantoprosessin tehostamisella päästään pienempään jäte- ja päästökertymään.

### 9.2.2 Alueelliset tiedot

Loppukäytön ympäristöä voidaan kuvata hyvin samankaltaiseksi kuin terminaaliolosuhteiden ympäristöä, jolloin myös tietotarpeet keskittyvät samoihin teemoihin. Aikaisemmin kappaleessa 8.4.2 on esitetty terminaaliolosuhteissa kerättäviä ja hallittavia tietoja. Niistä loppukäyttäjän ympäristöön liittyvät läheisesti kesä- ja talvikunnossapito sekä valvonta ja turvallisuus. Kesä- ja talvikunnossapitoon liittyy mahdollisten loppukäyttäjän junaraiteiden ja satama-alueiden hallinta, vesivarastot sekä jätehuolto ja kierrätys. Myös loppukäyttäjät varastoivat tavaraa alueellaan, jolloin valvonta ja turvallisuus on huomioitava. Erityisesti riskejä tulisi ehkäistä porttitoiminnoilla, kulunvalvonnalla ja muulla valvonnalla, kuten hakekasapalojen ehkäisyllä. Pöly ja kaasu tuovat myös räjähdysvaaraan käsittelyssä ja varastoinnissa, kun käsitellään biomassaa (Alakangas ym. 2016, 81).

## 9.3 Materiaaliin liittyvät tiedot

Loppukäytössä tehtailla ja voimalaitoksilla puutavaran on oltava halutuissa raja-arvoissa. Esimerkiksi energiateollisuudessa prosessin kannalta on olennaista, että hakkeen kosteus ja palakoko ovat optimaaliset. Saha- ja vaneriteollisuudessa taas puolestaan tukkien tulee olla läpimitaltaan ja ulkoisilta ominaisuuksiltaan optimaalisia.

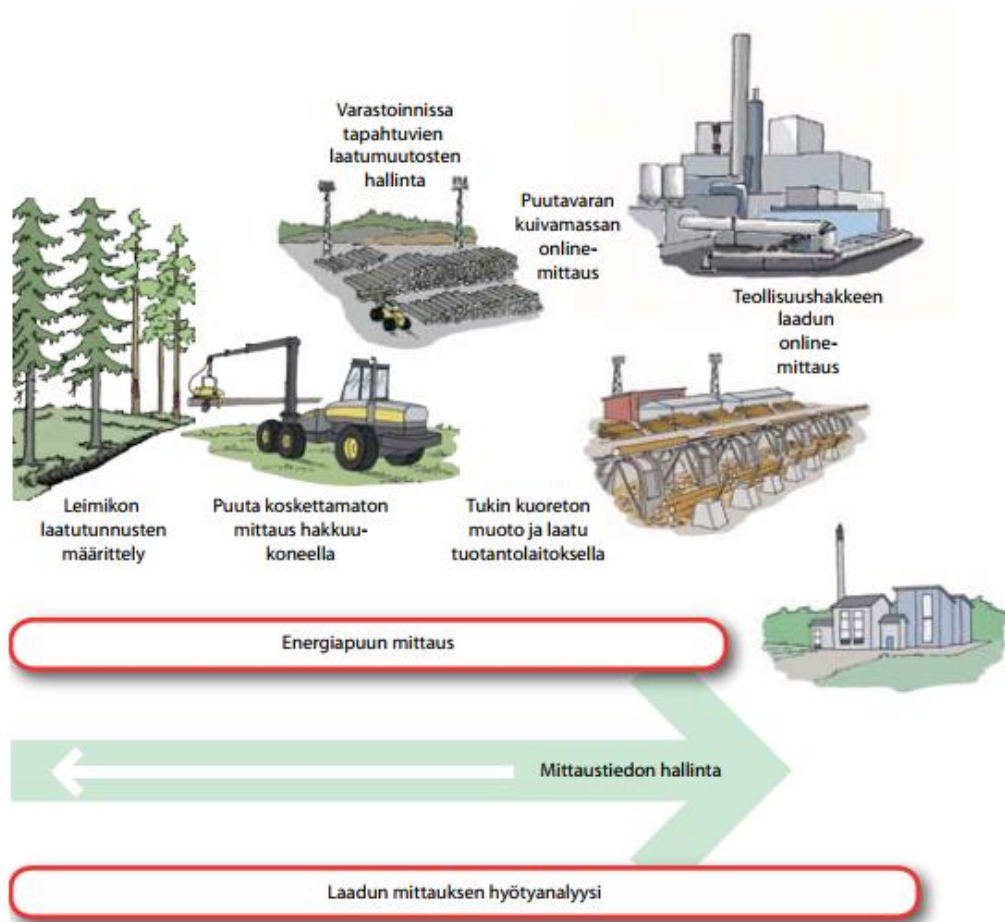
Puutavaran laadunhallinta on koko toimitusketjun vastuulla ja laadun varmistamiseksi on tehtävä erinäisiä toimenpiteitä, jotta materiaalin laatuvaatimukset täytetään loppukäyttäjän näkökulmasta.

### 9.3.1 Laatu

Puutavaran laatuun tulee huomattavia määriä muutoksia toimitusketjun aikana. Ensimmäiset laatumuutokset aiheutuvat kaadossa, katkonnassa ja karsinnassa. Sen jälkeen vikoja ja muutoksia syntyy varastoinnin aikana ympäristön ja käsittelyn vaikutuksista. Myös kuljetuksen aikana syntyy muutoksia puutavaraan ja viimeisenä muutoksena aiheuttajana ovat loppukäyttäjät. Esimerkiksi sahatukeilla lajittelu, kuorinta ja kuivaus aiheuttavat vaurioita. Tukeilla päihin tulee usein halkeamia ja kuorinnassa syntyy pyöristymiä. Vähintäänkin pieniä vaurioita siis syntyy läpi toimitusketjun haku tapahtumasta loppukäyttöön. Mittausmenetelmiä kehitetään ja tutkitaan jatkuvasti, jotta puutavarasta saadaan kerättyä paremmin tietoa ja laadunhallintaa saadaan tehostettua (ks. kuvio 25). Kehityskohteissa on päästy jo eteenpäin, ja 2010-luvulla tiedonhankinnan alueita on kehitetty. (Mäkelä 1998, 3.)

Laadunhallinnassa käytetään yleisesti puun kostuttamisen menetelmää, jolla hallitaan puun tuoreutta. Kostuttamista voidaan ohjata päivittäisillä haihdunnan mitta-arvoilla. Tällä tavalla puutavaran kuivumista ja kosteutta voidaan hallita tietyissä varastokentän olosuhteissa. (Järvinen ym. 2007, 58.)





Kuvio 25. Mittauksien tutkimusten ja kehittämisen alueita (Metsätehon katsaus 2006)

### 9.3.2 Mittaustekniikat

Hakkeen palakokoa voidaan mitata mekaanisilla lokerojakajilla ja pyörivillä jakolaitteilla (Alakangas, Hurskainen, Laatikainen-Luntama & Korhonen 2016, 51). Palakoko on toinen tärkeä hakkeen ominaisuus kosteuden lisäksi. Tukkimittauksessa ainakin sahoilla käytetään menetelmää, jossa läpimitta tukista mitataan varjokuvasta. Tätä menetelmää kutsutaan valorampiksi. Menetelmässä käytetään valonlähteitä ja niitä vastaavia antureita. Käytännössä tarkkuus perustuu siihen, kuinka tiheässä valonlähde-anturi -pareja on. Menetelmässä käytetään myös pyöriviä prismoja ja peilejä mittatarkkuuden parantamiseksi jopa yhden millimetrin tarkkuuteen. Toinen ainakin sahoilla käytössä oleva optinen mittaustekniikka on lasermittaus. Tukin mittaus perustuu lasersäteen kulku aikaan valon lähteestä puuhun ja takaisin, tai kolmiomittauk-

seen. Laservalon lisäksi mittauksessa hyödynnetään usein kamerakuvausta ja anturitekniikkaa. Mittaustekniikka on tarkka ja hyvin automatisoitavissa. Lasermittausta voidaan käyttää myös muissa toimitusketjun vaiheissa, kuten autokuljetuksissa tilavuuden mittauksessa ja hakkuukoneissa. (ks. Hämäläinen ym. 2006, liite 3.)

Mittaustekniikoita pyritään jatkuvasti kehittämään ja erityisesti tavoitteena on automatisoida mittaukset osaksi jatkuvaa toimintaa. Mittaustekniikoita voidaan ryhmitellä neljään kategoriaan: mekaaniset tekniikat, sähkömagneettiseen säteilyyn perustuvat tekniikat, sähköön johtavuuteen perustuvat tekniikat ja akustiset menetelmät. Mekaaniset mittaustekniikat ovat kaikista perinteisimpiä menetelmiä, kohdetta koskettavia menetelmiä. (Metsätehon katsaus 2006.)

### 9.3.3 Kosteuden määrittäminen ja menetelmät

Kuljettaja ottaa yleensä kuorman purkamisen yhteydessä kuormasta kosteusnäytteet puutavaran kosteuden määrittämistä varten, joka tapahtuu yleensä lämpökaapissa. Teollisuudessa on paljon käytössä myös erilaisia pikamenetelmiä, joilla voidaan soveltaa muun muassa lyhyempää uunikuivausmenetelmää. Yleisimmille puupolttoaineille on olemassa kosteustaulukoita kuten esimerkiksi liitteessä 3 on esitetty. Kosteusmittauksen merkitys on energiapuun toimitusketjussa merkittävä, sillä energiapuun hinnoittelu voimalaitoksilla tapahtuu energiasisällön mukaan, ja teollisuushakkeen kauppa perustuu kuiva-aineen määrään. Kosteustieto on se tekijä, jolla kerätyn materiaalin energiasisältö ja kuiva-ainemäärä voidaan laskea. Esimerkiksi käytössä on ollut jo aiemmin mainittu uunikuivaus -menetelmä, jossa kuorman purkamisen yhteydessä materiaalista otetaan näytteitä kosteuden määrittämistä varten uunissa. Menetelmään liittyy joitain epävarmuustekijöitä ja tuloksen saaminen voi kestää jopa vuorokauden. Lisää ongelmia kosteuden totuudenmukaiseen mittaamiseen tuottaa erityisesti talviajan jäinen olomuoto ja lämpötilan muutokset. Tarve nopeammalle ja tarkemmalle kosteuden määrittämiselle on suuri. Tietoa on saatavilla huomattavia määriä erilaisista kosteudenmittaamisen menetelmistä, joten kaikkien olemassa olevien menetelmien läpikäyminen vaatisi kokonaan oman tutkielmansa. Periaatteessa kaikki menetelmät lukuun ottamatta lämpökaappimenetelmää on mahdollista automatisoida reaaliaikaisiksi tai jatkuviksi mittaamenetelmiksi. On kuitenkin huomioitava

erilaiset tilanteet kosteuden määrittämisessä, kuten mittaaminen erittäin kosteasta tai jäisestä puusta. Tällöin erityisesti IR-tekniikan käyttö vaikuttaisi olevan huonoin vaihtoehto. Lisäksi puutavaran lajilla on vaikutusta kosteusmittausmenetelmän valinnassa, jolloin menetelmää valittaessa tulisi suorittaa tutkimusta parhaan menetelmän valitsemiseksi. NMR-menetelmä on ainakin menetelmistä kaikkein kallein ja se vaatii vielä kehittämistä. Esimerkki NMR-mittarista on käsitelty luvussa 7.2.

Kosteuden mittaamiseen biomassasta on olemassa erilaisia menetelmiä, kuten vastuksen mittaamiseen perustuva menetelmä, dielektrisyysvakion suuruuteen perustuva menetelmä, impedanssispektroskopia, infrapunaan perustuva mittaustekniikka ja mikroaallot, sekä monia muita menetelmiä. Online-menetelmät ovat tuotantolaitoksissa jatkuvasti käytettäviä menetelmiä. (Kosteuden online-mittaus metsätähdehakkeesta 2010.) Melko kuivan materiaalin kosteuden arviointi onnistuu paremmin kuin kostean massan. Puolestaan sensoreita, jotka mittaavat ilmankosteutta on tarjolla laajasti. Kosteuden mittaaminen erityisesti kosteasta biomassasta vaikuttaisi olevan hyvin hankalaa, varsinkin kun metsähakkeen kosteusprosentti on yli 30%. Kehitteillä on myös RFID-teknologiaa hyödyntävä kosteusanturi, mutta RFID-teknologian hyödyntämistä on tutkittu käytettäväksi myös muissa mittauksen ja tunnistuksen tarkoituksissa. (Langattomat lämpötila- ja kosteusanturit metsähakkeen laadun seurannassa 2016.)

Neutronimenetelmän käyttämistä kosteuden mittauksessa on tutkittu Päiviön, Kalvaksen, Riikilän ja Virtasen tutkimuksessa. Tarkemmin menetelmästä käytetään nimitystä neutroniaktivaatiomenetelmä, jossa kosteuden määrittäminen perustuu vedyn määrän muuttumiseen kosteuden funktiona ja hiilen määrä on vakio. Tutkimuksen mukaan mittaaminen pienestä määrästä ainetta ei onnistu, vaan vaaditaan suurempi määrä materiaalia. Tuloksena esiteltiin, että neutroniaktivaatiomenetelmällä on mahdollista saada tietoa puun kosteudesta sekä muista ominaisuuksista. Puutavaran online-mittauksessa tutkimuksen välineillä ei voida kosteutta määrittää, vaan vaaditaan huomattavasti tehokkaampia uuden teknologian neutronigeneraattoreita. (Päiviö, Kalvas, Riikilä & Virtanen 2009, 4.)



toimintaan liittyvät tietotarpeet ovat jokseenkin päällekkäiset, sillä materiaalin ominaisuudet vaikuttavat suoraan toimintaan ja toisaalta toiminnan jatkuvuuden varmistamiseksi materiaalin on täytettävä tietyt tarpeet.

Materiaaliin liittyvät tietotarpeet poikkeavat toisistaan hieman, kun verrataan suori-tealoja. Kuitenkin puutavarasta riippumatta materiaalille suoritetaan mittauksia vastaanotossa ja tuotantoprosessin aikana. Vastaanotossa tietotarpeena on vastaanotettavan puutavaran määrä. Hakkeelle tärkeät tietotarpeet ovat kosteus ja palakoko. Kosteutta mitataan heti hakkeen saapuessa käyttöpaikalle, mahdollisista varastoalueen hakekasoista sekä jatkuvasti tuotannon aikana online-mittauksena. Kosteus vaikuttaa olennaisesti tuotantoprosessiin. Myös palakoolla on suuri merkitys muun muassa laitteistojen toimintaan ja painehäviöön. Tukkipuun kohdalla tietotarpeet kohdistuvat lujuus- ja ulkonäköominaisuuksiin. Automaattisten reaaliaikaisten mittausmenetelmien käytöllä säästetään aikaa, mutta osa menetelmistä on vielä kehitysasteella eikä tulosten luotettavuudesta ole takeita. Potentiaalinen tietotarve on ainakin kosteuden jatkuvalle online-mittaukselle, jolla saadaan täysin luotettavia arvoja.

Nykytilanteessa ympäristöön liittyviin asioihin kiinnitetään paljon huomiota, ja erityisesti jätteiden ja päästöjen vähentäminen on tavoitteena. Teollisuudesta syntyy ympäristöön suuri osa koko maapallon päästöistä ja päästöistä suurennuslasin alla on erityisesti hiilidioksidipäästöt. Päästöjä ja jätekertymää pyritään pienentämään kaikin mahdollisin keinoin ja päästötavoitteiden saavuttamiseksi tuotantoprosessien vaiheita saatetaan joutua suunnittelemaan uudelleen. Loppukäyttäjän ympäristössä myös varastoidaan tavaraa puskurivarastoon, jotta tuotannon jatkuvuus voidaan varmistaa. Esimerkiksi haketta varastoidaan hakekasoina. Hakkeen käsittelyyn liittyy läheisesti räjähdysvaara, joten turvallisuusasioihin on kiinnitettävä huomiota. Vallitsevat sääolot vaikuttavat muun muassa kosteusarvoihin ja kuivumiseen sekä mahdollisten raiteiden ja satamien toimintaan.

Taulukko 6. Loppukäytön tietotarpeet

TOIMINTA	YMPÄRISTÖ	MATERIAALI
Käyttötarkoitus, laatuvaatimukset täytettävä	Päästöt ja ekologisuus, hiilidioksidi, hiilijalanjälki ja jätekeretyvät	Mittaustiedot ja ominaisuustiedot riippuen puutavarasta
- Energiateollisuus	Aluetiedot	- Palakoko hakkeella
- Sahateollisuus	- Kunnossapidon tarve, Satamat ja raiteet	- Kosteus
- Sellun tuotanto	- Varastoalueet	- Kokotiedot: läpimitta, pituus
Vastaanottomittauksen tiedot	- Porttitoiminnan tiedot ja kulunvalvontatiedot	- Lujuus, suoruus ja muoto
- Massa, kosteus, ulkoiset ominaisuudet, lujuus jne.	- Turvallisuus	- Vähä- ja terveoksaisuus, tiheälustoinen sydänpuu,
- Kiintokuutiomäärä ja tuoretiheys, painotiedot, tilavuus	- Vesivarastotiedot	- Hidaskasvuisuus, pienoksaisuus ja sisäinen oksaisuus
Mittaukset tuotantoprosessin aikana, online-mittauksen tiedot	Sääolosuhteet	- Viilun laatu, puun pitkäkuituisuus
Puskurivaraston tilanne ja sijainnit	- Vaikutus varastoon	- Kuoreton latvaläpimitta ja kuoreton samankaltaisuus
Materiaalin ajoitus kaukokuljetuksilta	- Kunnossapidon tarpeen muutos	Volyymi ja puutavaralajit
Kuljetusvälineiden vastaanotto (tilat, toimenpiteet, portit)	- Haihdunta ja sadanta sekä kuivuminen	

## 10 Ohjausjärjestelmät tiedon käsittelyssä

Ohjausjärjestelmien tavoitteena on avustaa tiedon keräyksessä sekä valvoa ja ohjata toimintaa läpi toimitusketjun. Ohjausjärjestelmiä voisi kuvata yhdisteiksi, jotka koostuvat erilaisista palasista toimitusketjun eri osa-alueista. Toiminnanohjausjärjestelmiä on yleensä toimitusketjussa useita, ja niiden yhdistäminen eri toimijoiden kesken takaa merkittäviä hyötyjä toiminnan ajoituksissa ja suunnittelussa. Lisäksi ohjausjärjestelmien tukena hyödynnetään erilaisia informaatiolähteitä, kuten ennustemalleja, julkisia tietojärjestelmiä ja säätietoja. Ohjausjärjestelmien tehokkaalla käytöllä parannetaan myös työn tehokkuutta ja tuottavuutta koko toimitusketjussa puunkorjuun

alkuvaiheista loppukäyttöön. Eri tietoaaineistojen tehokkaampi hyödyntäminen toiminnanohjauksen tukena on yksi tavoite ja muun muassa Big Data –hankkeiden myötä tiedonkäsittelyssä päästään kohti tavoitetta digitalisaation yleistyessä. Erilaisen automaatio- ja robotiikkaratkaisujen hyödyntäminen toiminnassa on myös yleistyessä. Puun ja sen ominaisuuksien mittausten menetelmiä on tutkittu laajasti eri tutkimuksissa ja mittausten automatisoinnille on esitetty tarvetta. Digitalisaation yleistyessä ja teknologian kehittyessä mittausten automatisoinnille luodaan uusia mahdollisuuksia ja erityisesti puutavaran laadunhallinnassa tämä tarkoittaa huomattavia etuja.

Ohjausjärjestelmiä käytetään toimitusketjun kaikissa vaiheissa. Metsäkoneiden hallinnassa käytetään tietojärjestelmiä, kaukokuljetuksissa kuljetuksia valvotaan ja ohjataan kuljetusten ohjausjärjestelmien avulla sekä loppukäyttäjät hallinnoivat omia tuotannonohjausjärjestelmiään. Ideaalitulanteessa kaikkien toimijoiden tietojärjestelmät toimisivat yhdessä, jolloin tiedonvälitys olisi reaaliaikaista ja mahdollisiin muutoksiin voitaisiin vastata nopeasti.

## 10.1 Kuljetusten ohjausjärjestelmät

Kuljetusyrietykset suunnittelevat kuljetuksensa yleensä itse, sillä paluukuljetusten organisointi on tällöin helpompaa. Meno-paluu -kuljetusten optimaalinen järjestely on suuri osa kuljetusten tehokkuutta. Kuljetuksia ohjataan, suunnitellaan ja valvotaan ohjausjärjestelmien avulla. Kuljettajan ajoneuvon näyttöpäätteessä on käyttöliittymä, jolta kuljettaja voi syöttää ja tarkastella tietoja kuljetuksen aikana. Ajotietokoneessa on asennettuna paikannusjärjestelmä ja karttajärjestelmä, joita käytetään reititysten suunnittelussa. Nykyään ajoneuvojen tietokoneet sisältävät kaikki kuljetustoimintaan liittyvät tiedonsiirron alueet ja tiedot, joita käytetään vastaanotettaessa puutavaraa. (Ajoneuvokohtainen kuljetussuunnittelu ja reititys 2016.)

Kuljetusten ohjauksessa käytettäviä järjestelmiä on tarjolla markkinoilla runsaasti, mutta esittelen tässä niistä yhden. Oululainen PiiMega Oy tarjoaa ohjelmistoratkaisuja asiakkailleen, mukaan lukien kuljetusten ohjausjärjestelmiä. PiiMegan puutavara-autojen sovellus on nimeltään LogPro, jota käyttävät hakkuukoneet ja ajokoneet

puutavara-autojen lisäksi (ks. kuvio 26). Järjestelmä yhdistää hakkuutoiminnot, varastojen tilanteen ja kuljetukset yhteen sovellukseen, joka helpottaa kuljetusten ohjaimista toimitusketjussa. Käytössä on jatkuva langaton kaksisuuntainen tiedonsiirto, jolla toimintaa voidaan seurata reaaliajassa. Ohjelman avulla kuljetusten optimointi parantuu muun muassa siten, että ohjelma voidaan yhdistää loppukäyttäjälle, jolloin puutavaran saapuminen voidaan aikatauluttaa. (PiiMega® LogPro 2017.)



Kuvio 26. LogPron reaaliaikaliittymä (PiiMega® LogPro 2017)

## 10.2 Informaatiolähteitä

Maanmittauslaitos tarjoaa julkisena tietona korkeusmallin, jonka odotetaan olevan valtakunnallisesti kattava vuoteen 2020 mennessä. Kyseinen uusi korkeusmallin tuotanto perustuu maanpinnasta saatavaan laserkeilausdataan. Korkeustarkkuudeksi on ilmoitettu 0,3 metriä. Laserkeilausdatan korkeusmallista lasketaan keinotekoisen valonlähteen avulla vinovalovarjokuva. Soveltamalla mallista voidaan päätellä esimerkiksi kantavat kohdat suoalueilla ja mallia voidaan käyttää puunhankinnan apuna



työn suunnittelussa ja toteutuksessa. Yhdessä paikkatietojärjestelmän kanssa mallia voidaan hyödyntää merkittävästi hakkuukoneiden työn ja metsäkuljetusten suunnittelussa muun muassa tuottavuuden ja työturvallisuuden osalta. Lisäksi mallia voidaan hyödyntää maaperän kosteuden vaihtelun arviointiin eri korkeuksissa. Maaperän eri korkeuksien kosteuteen vaikuttavat maalaji, topografia ja kasvillisuus. Korkeusmallin lisäksi tarjolla on maaperäkartta, joka nimensä mukaisesti tarjoaa alueellisesti tietoa maalajeista. Maaperäkartta on yleistävä tietolähde, joten soveltavuus on lähinnä alueellisella tasolla. Maaperän ominaisuuksista antaa tietoja myös GTK:n valtakunnallinen lentogeofysikaalinen kartoitusohjelma. Kyseinen tutkimus uusista tietolähteistä on kuvattu mielenkiintoiseksi ulottuvuudeksi kohtuullisen tarkan suunnittelun perustana. Laserkeilauksen esitetään olevan tärkein hyödynnettävä paikkatietoaineisto. Myös kosteusindeksin laskenta vaikuttaisi hyvin mielenkiintoiselta ulottuvuudelta suunniteltaessa toimintaa. Monilähdeinformaatiota on kuvattu kuviossa 27, josta voidaan nähdä eri suunnittelun ulottuvuuksia. (Räsänen, Hämäläinen, Lamminen, Lindeman, Salmi & Väättäinen 2013.)

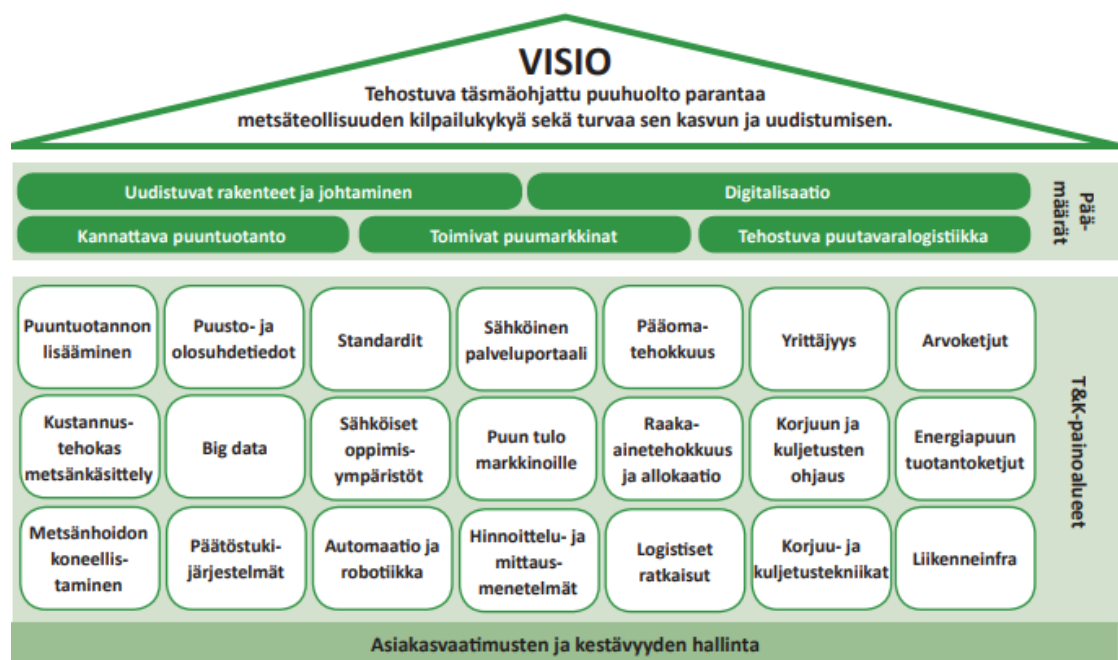


Kuvio 27. Monilähdeinformaation kuvaaja (Pajuoja & Hämäläinen 2012, 16)

### 10.3 Teollinen internet ja toiminnanohjaus

Uusia mahdollisuuksia toiminnan ohjaamiseen tarjoaa Teollinen Internet (Internet Of Things). Metsätehon julkaisemassa artikkelissa ”Tehokas puuhuolto 2025” käsitellään

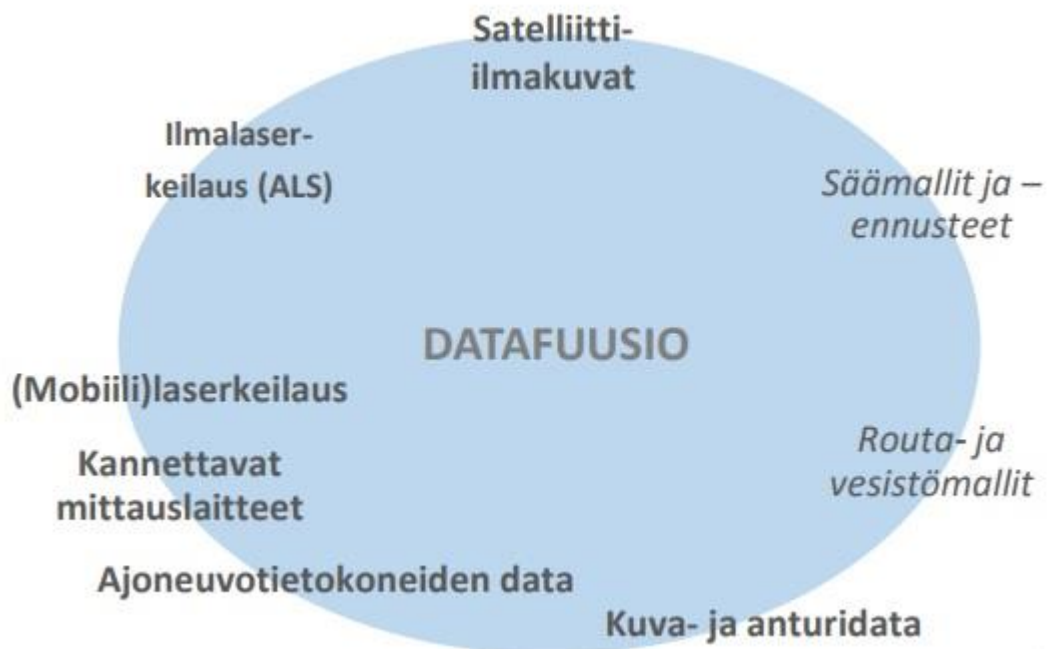
muun muassa Teollisen Internetin tarjoamia mahdollisuuksia puuhuollon kehittämiseksi. Teollinen Internet puuhuollossa on kuvattu dynaamiseksi toiminnan ohjausta ja päätöksentekoa tukevaksi järjestelmien kokonaisuudeksi, jossa hyödynnetään tietovarantoja, automaattista tiedonkeruuta ja kehittyneitä sovelluksia. Tietovarastoja ovat esimerkiksi metsävaratiedot, ennustemallit ja toimitusketjussa syntyvät tietokokonaisuudet. Keskeisenä mahdollisuutena on metsäkoneiden, puutavara-autojen ja muiden laitteiden automaattinen tiedonkeruu ja kommunikointi keskenään laajan ohjausjärjestelmän välityksellä. Lisäksi automaation ja robotiikan käyttäminen puutavaran toimitusketjussa vaikuttaisi mielenkiintoiselta kehityssuunnalta tiedonkeruun ja analysoinnin osalta. Väistämättä toimintaa johdetaan entistä enemmän ohjaustietoihin perustuen. Mahdollisuutena nähdään myös Big Datan käsittely toiminnanohjauksessa ja päätöksentekoa tukevana tietolähteenä. Tiedon tuottamiseen tarvitaan kuitenkin vielä paljon kehitystyötä, jotta tietoa saadaan tuotettua kattavasti läpi toimitusketjun (ks. kuvio 28). (Tehokas puuhuolto 2025.)



Kuvio 28. Tehokkaan puuhuollon tutkimuskohteet ja päämäärät 2025 (Tehokas puuhuolto 2025)

## 10.4 Big Data ja tietojärjestelmät puunhuollossa

Tutkimuksen ja kehittämisen yhtenä painoalueena metsätaloudessa on niin kutsuttu Forest Big Data. Hämäläinen on esittänyt tuloskalvosarjassaan Forest Big Data –hankkeen päätuloksia. Visiona Big Datan hyödyntämisessä on Hämäläisen mukaan se, että saataisiin käyttöön laaja metsävaratietojärjestelmä, joka olisi kaikkien toimijoiden saatavilla. Järjestelmästä löytyisi tarkat ja monipuoliset tiedot puustosta, maastosta ja tiestöstä. Tästä seurauksena olisi muun muassa korkeampi metsävarojen hyödyntämisaste ja kustannustehokas logistiikka. Uuden teknologian hyödyntäminen toimitusketjussa lisää mahdollisuuksia johtamiseen suunnittelu- ja ohjausjärjestelmien avulla (ks. kuvio 29). Lisäksi Hämäläisen mukaan hankkeessa kuvattiin Forest Big Data –platform, joka yhdistäisi eri tietolähteet ja välittäisi ne käyttöön. Tavoitteena on helpottaa tietoaaineistojen hyödyntämistä toiminnassa ja tietojen yhdistämisellä esimerkiksi leimikon ja loppukäyttäjän välillä päästään parempaan laadunhallintaan. (Hämäläinen 2016, 2-32.)



Kuvio 29. Teknologia tukena tiedonhallinnassa (Hämäläinen 2016, 19)

## 10.5 Ponsen Opti-tietojärjestelmät

Ponsella on tarjolla kahdenlaisia tietojärjestelmiä toiminnanohjaukseen. Järjestelmät on jaettu metsäkonejärjestelmiin ja puunkorjuun ohjaus- ja seurantajärjestelmiin. Metsäkonejärjestelmät on edelleen jaettu harvesterijärjestelmiin, kuormatraktorijärjestelmiin ja tela-alustaisten metsäkoneiden tietojärjestelmiin. Puunkorjuun ohjaus- ja seurantajärjestelmät on taas jaettu karttoihin, apteeraukseen, raportointiin ja puunkorjuun ohjaukseen. (Opti tietojärjestelmät n.d.) Apteerauksella tarkoitetaan puun rungon katkaisukohtien määrittelyä huomioiden puutavaralle asetettuja mitta- ja laatuvaatimukset (Apteeraus 2012).

Ponsen harvesterijärjestelmä on nimeltään Opti4G ja se on kuljettajan käyttöliittymä koneen ohjausjärjestelmään. Järjestelmä on hyvin monikäyttöinen ja se tuottaa jatkuvasti tietoa korjuutyöstä. Tuotettuja tietoja ovat muun muassa käytetty työaika, tuotos, koneen käyttötiedot ja polttoaineen kulutus. Lisäksi ohjelmalla voidaan hallinnoida apteerausta, koneen kalibrointia, raportointia ja tiedonsiirtoa. Opti4G -järjestelmän tueksi on myös mahdollista asentaa PONSSE OptiMap2 -karttaohjelma. Kuljettajan kirjautuessa sisään järjestelmään, alkaa järjestelmä kerätä tietoa muun muassa tuottavuudesta ja kuljettajan toiminnasta. (Harvesterijärjestelmät n.d.)

Kuormatraktoreissa käytettävä järjestelmä on nimeltään OptiControl, ja Ponsen koneissa on elektronisesti ohjattu dieselmoottori. Metsäkoneelle on myös saatavissa PONSSE EcoDrive -sovellus, joka tiedottaa jatkuvasti koneen säätöjen tehokkuudesta ja kuljettajan työskentelytavoista. Kuormatraktorit on myös mahdollista varustaa Opti-PC-järjestelmällä, joka voidaan yhdistää puunhankinnan hallintajärjestelmään. Kuljetuksia voidaan näin suunnitella ja toteuttaa tehokkaammin. Tällä yhdistelmällä voidaan seurata esimerkiksi tienvarsivarastojen tilannetta reaaliajassa. Lisäksi järjestelmään voidaan liittää kartta- ja tiedonsiirtosovellus. (Kuormatraktorijärjestelmät n.d.)

Kaiken kaikkiaan tietoa saadaan Ponsen järjestelmillä tuotettua ja hallittua kiitettävästi. Opti -tietojärjestelmät voivat sisältää vielä koneen järjestelmien lisäksi puunkorjuun ohjaus- ja seurantajärjestelmiä, joita Ponsse tarjoaa neljä erilaista. Kartat, apteeraus, raportointi ja puunkorjuun ohjaus ovat tarjolla olevat seurantajärjestelmät. (ks. Kuormatraktorijärjestelmät n.d.)

## 11 Tutkimustulokset

Tässä luvussa on koottu kaikkien toimitusketjun osa-alueiden raportissa esitellyt teknologiat, joita käytetään tai suunnitellaan käytettäväksi puutavaralogistiikan toimitusketjussa. Teknologioiden tarkoituksena on mahdollistaa tiedon tuottaminen tietotarpeisiin, jotka on esitetty taulukoissa jokaisen toimitusketjun osa-alueen lopussa. Lisäksi tarkoituksena on mahdollistaa tiedon siirtoa, tiedon käsittelyä ja automatisointia. Teknologian lisäksi puutavaran toimitusketjussa suuressa roolissa tiedonhallinnassa ovat työntekijän oma kokemustieto ja arviointikyky, joita ei varsinaisesti voida listata teknologiaksi. Teknologioiden soveltaminen ja käyttöönotto puutavaran toimitusketjussa on monissa tapauksissa vielä kehitysasteella. Teknologioita käytetään päivittäisten toimintojen lisäksi ilmiöiden tutkimiseen ja soveltaviin tutkimuksiin. Tutkimusraportista on esitetty myös lyhytversio liitteessä 4, josta käy ilmi tutkimuksen pääkohdat.

### 11.1 Teknologiat lähikuljetuksessa

Taulukossa 7 on esitetty kootusti tekstissä esiintyviä lähikuljetuksen teknologioita. Taulukossa harmaalla merkityt teknologiat ovat vielä kehitysasteella, eikä niiden käyttö ole ainakaan vielä yleistä. Yleisin käytössä oleva teknologia on kuormatraktorin kuormain, jolla saadaan suuri osa tarvittavasta tiedosta ainakin materiaalin osalta. Kuormaimen lisäksi tärkeitä tiedonhallinnan välineitä ovat metsäkoneen oma tietojärjestelmä, toimintaan liittyvät ohjausjärjestelmät ja paikkatietojärjestelmät. Tähän asti tehdyissä tutkimuksissa on huomattavan paljon erilaisia tekniikoita ja teknologioita, joita ei hyödynnetä lähikuljetuksessa kovinkaan laajasti ainakaan vielä. Potentiaalia uudessa tekniikassa on huimasti ja kasvavan digitalisaation myötä muun muassa esineiden internetin sekä Big Datan hyödyntäminen tulevat myös lähikuljetuksissa kysymykseen. Myös mittaustekniikoiden automatisointi osaksi tietojärjestelmien kokonaisuutta on tärkeä kehitysalue, josta onnistuneena esimerkkinä on kuormain.

Lähitulevaisuuden potentiaalisina teknologioina lähikuljetuksissa ovat ehdottomasti opastavat tietojärjestelmät, hakkurin ja kuormatraktorin kommunikointijärjestelmät

sekä muut mahdolliset tietojärjestelmät. Hakkurilla olisi mahdollista kerätä tietoa muun muassa maaston ominaisuuksista, ja välittää tietoa kuormatraktorille. Koulutuksessa simulaattorien käyttö on hyvä tapa totuttaa kuljettajia esimerkiksi täysin uuden tietojärjestelmän käyttämiseen normaalin työn ohella. Esimerkki soveltavasta tutkimuksesta on esitetty raportissa tärinään liittyvässä luvussa. Soveltavien tutkimusten tavoitteena on usein tutkia jotain tiettyä ongelmaa tai ilmiötä, johon vaaditaan tietyt teknologiat. Erilaiset tiedonsiirtotekniikat on esitetty taulukossa harmaalla, sillä tiedonsiirrossa on vielä laajasti kehitysmahdollisuuksia. Datan siirrossa kuormatraktorin tietojärjestelmästä ulkoiseen järjestelmään on käytössä jo ainakin USB-muistin hyödyntäminen ja verkon kautta tapahtuva langaton tiedonsiirto.

Taulukko 7. Lähikuljetukseen liittyvät teknologiat

<b>TEKNOLOGIAT JA TEKNIIKAT</b> <b>Lähikuljetus</b>
Kuormain ja siihen liittyvä tiedonsiirto
Ajanmittaus ja -seuranta, aikaleimaus
Paikkatietojärjestelmät
Opastavat tietojärjestelmät
Soveltavat tutkimukset, useita eri teknologioita eri valintojen mukaan
Hakkurin ja kuormatraktorin välinen kommunikointi
Ennakkotiedot ja työmaakohtaiset ohjeet
Valmiit taulukot ja yleiset tietojärjestelmät
Ohjausjärjestelmät
Erilaiset tiedonsiirtotekniikat
Värikoodit puiden merkinnässä
Laatuohjeet
Simulaattorit ja koulutus

## 11.2 Teknologiat tienvarsivarastoinnissa

Tienvarsivarastoinnin teknologioita ja tekniikoita on kerätty taulukkoon 8. Taulukossa harmaalla on merkittynä potentiaaliset tekniikat. Näiden tekniikoiden käyttöön-otossa vaaditaan vielä kehittämistä, eikä käyttöönoton hyödyistä tai tietojen tarkkuudesta ole takuita. Laatumuutosten hallinta varastoinnin aikana on yksi tutkimuksen ja kehityksen kohteista. Laadunhallinnan työkaluksi on esitetty erilaisia laskentamalleja ja funktioita, joilla voitaisiin ennustaa esimerkiksi lahon aiheuttamia ongelmia ja kosteuden kehitystä. Lisäksi tarkemmin sijoitelluilla sääasemilla saadaan täsmällisempiä olosuhdetietoja varastopisteistä. Varastointiin liittyen maaston ominaisuuksien mittaaminen ei tutkimusten mukaan ole kovinkaan yleistä, joka johtuu mahdollisesti automaation puutteesta. Jos maaston ominaisuustietoja saataisiin automaattisesti samalla, kun puutavaraa tuodaan varastolle, olisi maaston kartoitus helppoa eikä se aiheuttaisi ylimääräistä ajankäyttöä. Varastopaikkojen maaston tietojen keräämisellä viitataan samaan teknologiaan, jota käytetään palstalla hakkurin toimesta kuorma-tractorin työn helpottamiseksi. Taulukkoon on merkitty harmaalla myös analyysit, joita voidaan käyttää kosteuden määrittämisessä. Tekstissä on viitattu regressioanalyysien käyttöön kosteuden määrittämisessä.

Tärkeimmät teknologiat varastoinnissa liittyvät seurantatietoihin ja läheisesti laadunhallintaan. Laadunhallinnassa käytetään yleisesti erilaisia varastointimenetelmiä, kuten kylmävarastointia ja vesivarastointia. Erilaisilla varastointimenetelmillä pyritään vaikuttamaan puutavaran säilyvyyteen ja laatumuutosten hallintaan. Kosteusmittauksessa käytetään ainakin käsikäyttöisiä mittareita ja uunikuivausta. Kosteuden seurannasta on tehty paljon tutkimuksia, ja tarve on esitetty ainakin nopeammalle ja tarkemmalle mittaustavalle. Toiminnanohjausjärjestelmät tukevat toimintaa varastoinnissakin ja yhdistäminen esimerkiksi loppukäyttäjien tietojärjestelmiin helpottaa toiminnan suunnittelua.

Taulukko 8. Tienvarsivarastointiin liittyvät teknologiat

<b>TEKNOLOGIAT JA TEKNIIKAT</b> <b>Tienvarsivarastointi</b>
Ympäristön seurantateknologiat
Siirrettävät sääasemat
Puutavaran ominaisuuksien seuranta, mittaukset
Laatumuutosten seuranta, mittaukset
Kosteudenhallinta ja mittauslaitteet
Varastointimallit ja menetelmät
Laskentafunktiot
Informaatiojärjestelmät
Mittarit ja ennustemallit
Maaston ominaisuuksien mittaus
Pitkän aikavälin seurantatiedot
Analyysit kosteuden määrittämisessä
Puun mittaukset, esim. pinomittaus, kiintotilavuusmääritys, yksikkötilavuudet
Ohjauksjärjestelmät

### 11.3 Teknologiat haketuksessa ja murskauksessa

Haketuksen ja murskauksen teknologiat on esitetty taulukossa 9. Taulukossa harmaa väri kuvastaa kehitysasteella olevan tekniikan ja potentiaalisen tekniikan. Aikaleimatietojen keräämisellä on siinä mielessä merkitystä, että niillä voidaan määrittellä toiminnasta ylimääräistä aikaa vievät työvaiheet ja tehostuskohteet. Metsäkoneiden tietojärjestelmiin yhdistettävät tiedonkeräysmenetelmät on tuotu esille jo lähikuljetuksissa ja varastoinnissa. Maaston ominaisuuksien mittaus haketuspaikoillakin toisi varmuutta maaston kantavuudesta ja automaattinen mittaus ei aiheuttaisi lisätyötä. Maaston ominaisuustiedoilla varmistettaisiin toiminnan jatkuminen, eikä yllätyksiä heikoista kohdista tulisi.

Haketuskaluston käyttämiseen liittyy paljon ammatillisia erityispiirteitä, mutta merkittävin teknologia puutavaran ominaisuuksien kannalta on hakkurin säädöt. Tarkemmin sanottuna säädöillä viitataan seula-aukon kokoon, jolla on tutkimusten mukaan



materiaalin ominaisuuksien lisäksi merkitystä muun muassa kustannuksiin. Seula-aukon koolla voidaan määritellä haluttu palakoko. Tekniikka mahdollistaa myös erilaisen hakkurikalustojen käytön. Kaikkia kalustovaihtoehtoja ei voida käyttää kaikissa tilanteissa ja erityisesti kaluston järeys on vaikuttava tekijä. Käytössä oleva toimintamalli määrittelee pitkälti käytettävän kaluston. Esimerkiksi halutaan, että samalla kalustolla voidaan sekä hakettaa, että kuljettaa valmis hake seuraavaan pisteeseen. Tässä kohtaa tulee kysymykseen tietenkin myös hakettavan puutavaran volyymi. Murskauksen käyttöä on perusteltu tekstissä tarkemmin, mutta pääsääntöisesti haketus on murskausta käytetympi menetelmä. Kokemustietoja ei voida varsinaisesti pitää teknologiana, mutta niiden käyttöä toiminnan suunnittelussa voidaan pitää tietynlaisena tekniikkana. Kokemustietoa voidaan hyödyntää muun muassa nopeassa toiminnan suunnittelussa ja säästetään aikaa verrattuna tapahtuman selventämiseen teknologian avulla. Taulukossa epäsuorilla menetelmillä viitataan erityisesti kosteuden määrittämiseen. Luonnonvarakeskuksen EPPU-laskuria käytetään tuoretiheyslukujen määrittämisessä ja se on hyvä esimerkki yleisten tietojärjestelmien hyödyntämisestä. Ohjausjärjestelmät ovat läsnä jokaisessa toimitusketjun vaiheessa, niin myös haketus- tai murskausvaiheessa. Sääolojen seuranta toistuu myös kosteuden tavoin jokaisessa toimitusketjun pisteessä. Sääoloilla on merkitystä erityisesti, kun toimitaan kenttäolosuhteissa. Vallitsevalla säätilalla voi olla vaikutusta esimerkiksi maaston ominaisuuksiin ja erityisesti talviset olosuhteet voivat vaikuttaa hakkurissa käytettävään teknologiaan. Lumen on huomattu aiheuttavan hakkurikalustolle ongelmia. Viimeisimpänä taulukossa on esitetty henkilöstön suojavarustus. Suojauksesta on raportissa oma kappaleensa, ja haketuksen turvallisuuteen liittyy omat erityispiirteensä.

Taulukko 9. Haketukseen ja murskaukseen liittyvät teknologiat

<b>TEKNOLOGIAT JA TEKNIIKAT</b> <b>Haketus ja murskaus</b>
Hakkureiden säädöt
Palakoon määrittäminen
Kosteuden määrittäminen
Kalustovaihtoehdot

Ajanmittaus, aikaleimatiedot
Kokemustiedot ja epäsuorat menetelmät
EPPU-Energiapuulaskuri
Laatuohjeet
Laskentakaavat
Metsäkoneiden tietojärjestelmät
Muut ohjausjärjestelmät
Sääolojen seuranta
Henkilöstön suojarustus, esim. pölyltä suojaus- tuminen

#### 11.4 Teknologiat kaukokuljetuksissa

Taulukkoon 10 on kerätty kaukokuljetusten teknologioita sekä terminaaliin liittyviä tekniikoita. Kaukokuljetus ja terminaalitoiminta on yhdistetty omaksi kokonaisuudekseen, sillä kaikissa toimintamalleissa ei terminaalia käytetä. Muiden taulukoiden tavoin harmaalla merkityt kohdat kuvaavat taulukossa kehityskohteita tai soveltavia tutkimuksia. Kalustovaihtoehdoissa kehityskohteella viitataan erityisesti normaalia raskaampien ajoneuvoyhdistelmien käyttöön, joka on oma tutkimusalueensa. Aikaleimatietojen osalta raportissa on kerrottu soveltavasta tutkimuksesta, jossa tutkittiin keräilyajoa ja siitä aiheutuvaa lisäajanmenekkiä. Aikaleimatietojen keräyksellä voidaan todeta ylimääräistä ajankäyttöä ja mahdollisia suunnittelun kehityskohteita. Erilaisia laskentaohjelmia voidaan käyttää esimerkiksi kustannusten laskentaan ja tuorettiheyslukujen määrittämiseen. Soveltavat laskentaohjelmat, funktiot ja simuloinnit ovat potentiaalisia teknologioita, joilla voidaan helpottaa toimitusketjun suunnittelua. Simulointia voidaan käyttää esimerkiksi normaalia raskaampien ajoneuvoyhdistelmien ja nykyisen käytetyn kaluston vertailuun. Terminaaliratkaisuissa ja erityisesti automaatioissa on vielä paljon kehittämismahdollisuuksia teknologian osalta. Raportissa on mainittu esimerkiksi täyssähkö- ja hybridikäyttöiset terminaalilaitteet, joilla voidaan saada säästöjä ja tehostaa toimintaa.

Normaalia raskaampia ajoneuvoyhdistelmiä lukuun ottamatta kalustovaihtoehtoja on tarjolla laajasti. Kalustoille on saatavilla myös lukuisia lisälaitteita, joihin voidaan lukea esimerkiksi erilaiset peitteet. Raportissa on esitetty lisävarusteena myös ren-

kaiden paineen säätöjärjestelmä. Varsinaisen autokuljetuskaluston lisäksi kuljetusvaihtoehtoina ovat vesikuljetukset ja junakuljetukset. Vesikuljetuksiin liittyen raportissa on mainittu proomukuljetus, joka luotiin innovoinnin tuloksena. Autokuljetuksissa tärkeä teknologia on kuormain, jolla saadaan huomattava määrä tarvittavasta tiedosta toimitusketjussa. Ajoneuvojen tietojärjestelmät mahdollistavat muun muassa paikkatietojen hyödyntämisen ja yhdistämisen muihin tietojärjestelmiin sekä akselimassamittauksen. Käytössä on edelleen myös perinteisempiä tekniikoita, kuten vaakamitat ja pinomittaukset. Laadunhallinta kaukokuljetuksissa liittyy erityisesti vesikuljetuksiin. Raportissa on kerrottu myös ympäristönhallinta- ja laadunhallintajärjestelmistä, joita käytetään kilpailuedun saamisessa ja toiminnan parantamisessa. Olosuhdeseuranta tarvitaan erityisesti kelirikkokausilla, jolloin mahdollisesti joudutaan tekemään kompromisseja.

Taulukko 10. Kaukokuljetuksiin liittyvät teknologiat

<b>TEKNOLOGIAT JA TEKNIIKAT Kaukokuljetukset ja terminaalit</b>
Kalustovaihtoehdot ja HCT
Peitteet ja lisävarusteet esim. CTI
Eri kuljetusmuodot
Kuormaimet ja tiedonsiirto
Paikkatietojärjestelmät, GPS ja ohjausjärjestelmä
Ajotietokoneet
Akselimassamittaus
Aikaleimatiedot
Mittavälineet, esim. vaakamitta/pinomitta
Laskentaohjelmat , funktiot ja simuloinnit
Terminaaliratkaisut ja automaatio
Laadunhallinta (erityisesti vesikuljetus)
Ympäristönhallinta- ja laadunhallintajärjestelmät
EPPU-Laskuri
Olosuhdeseuranta ja sääolot

## 11.5 Teknologiat loppukäytössä

Loppukäyttäjien teknologioita on esitetty kootusti taulukossa 11. Taulukon harmaalla merkityissä kohdissa on esitetty teknologioita, joita jossain määrin jo käytetään, mutta osa on vielä kehitysasteella. Erityisesti online-mittaukset, automaatio ja tiedonsiirtotekniikat sisältävät paljon tutkimuskohteita. Online-mittauksista tärkein kehitystarve on kosteuden online-mittaukselle, jonka kanssa on ollut ongelmia. Automaatio on jatkuvasti yleistymässä, mutta se on osaltaan tietynlainen kehityskohde. Aiemmin jo mainitut esineiden internet ja Big Data ovat mielenkiintoisia tutkimusalueita, joista odotetaan merkittävää kehitystä loppukäytön lisäksi koko toimitusketjuun. Online-mittauksiin liittyy läheisesti tiedonsiirto, josta on kerrottu raportissa tarkemmin. Erilaisten tekniikoiden käyttöä tutkitaan edelleen.

Näin toimitusketjun loppupäätä tarkastellessa, on hyvä pohtia useasti raportissa toistuvaa kosteusmittausta. Kosteusmittauksia on mahdollista suorittaa missä tahansa toimitusketjun vaiheessa, mutta mittaaminen jokaisessa vaiheessa ei varmastikaan ole tarkoituksenmukaista. Kosteusmittauksen voisi suorittaa jossain sovitussa toimitusketjun pisteessä ja esimerkiksi hakkeen osalta loppukäyttäjän toimesta. Puutavaran kosteuden voisi määrittää ensimmäisen kerran esimerkiksi tienvarsivarastolla ennen haketusta tai tukkien siirtoa sahalle. Kosteusmittausta on tutkittu laajasti erilaisissa tutkimuksissa ja erilaisia menetelmiä on ehdotettu käytettäväksi. Sopivan menetelmän ja mittauspaikan valinnalla mittausprosessista saadaan luotua tehokas.

Loppukäyttäjillä ensimmäiset käytettävät teknologiat ilmaantuvat puutavaran vastaanotossa, jossa puutavaralle suoritetaan mittauksia. Puutavaran massan mittauksessa käytetään joko siltavaakaa tai ajoneuvon omaa kuormainta. Käytettävät mitaustekniikat vaihtelevat riippuen puutavaran muodosta ja lajista. Käytössä olevia tekniikoita ovat esimerkiksi röntgentekniikka, lasertekniikka ja valotekniikka. Loppukäyttäjillä on myös laadutusasemia, joissa mittauksia suoritetaan. Toimintaan liittyen teknologiaa on käytössä myös valvonnassa ja ylläpidossa, kuten porttitoiminnoissa, turvallisuuden valvonnassa ja kunnossapidossa. Lokerojakajat ja pyörivät jakolaitteet ovat palakoon määrityksessä käytettävää teknologiaa. Kaikkien käytettävien teknologioiden listaus on luultavasti mahdotonta, sillä tarjolla on laajasti erilaisia teknologioita. Digitalisaation ja automaation kehittyessä tarjonnan laajuus kasvaa entisestään,

ja toimintaa tehostavia ratkaisuja tuodaan markkinoille. Puutavaran online-mittauksissa hyödynnetään jo paljon erilaista teknologiaa, johon liittyy paljon automaatiota.

Taulukko 11. Loppukäyttöön liittyvät teknologiat

<b>TEKNOLOGIAT JA TEKNIIKAT</b> <b>Loppukäyttö</b>
Sisääntulotarkastukset (punnitus, muu mittaus, kosteusmittaus jne.)
Laadutasemat ja laadunmääritys
Tuoretiheysluvut
Laserskannerit, röntgen, digitaalikuva
Dimensiolajittelu
Online-mittaukset
Päästöjen seuranta
Porttitoiminnot, valvonta ja turvallisuus
Kunnossapito
Lokerojakajat, pyörivät jakolaitteet
Anturitekniikat (esim. valoramppi)
Automaatio
Tiedonsiirtotekniikat

## 12 Johtopäätökset

Tutkimusongelmana oli selvittää, miten tietoja kerätään, käsitellään tai automatisoidaan metsäbiomassan toimitusketjussa. Lisäksi tuli selvittää, mitä mittaustietoa on saatavissa ja keskittyä tuottavuuden sekä tehokkuuden mittareihin. Raportissa on esitetty sekä yleisesti käytössä olevia menetelmiä, että mahdollisia potentiaalisia menetelmiä.

Tietoja kerätään metsäbiomassan toimitusketjussa sekä automaattisesti, että tarkoituksenmukaisesti ohjattuna tietyistä kohteista. Vakiintuneina tiedonkeräysmuotoina ovat usein myös manuaalisesti tehtävät mittaukset. Automaattisesti tietoja kerätään

toiminnan kannalta kriittisistä kohteista, mutta kehitysasteella olevan teknologian vuoksi kaikkia tietotarpeita ei voida ainakaan vielä automaattisesti täyttää. Edelleen on laajasti käytössä perinteisiä tiedonhankinnan menetelmiä, jotka tuottavat tarvittavan tiedon. Perinteiset menetelmät ovat myös hyväksi todettuja, ja niiden täydellinen automatisointi ei välttämättä tule kysymykseen eikä se ole tarkoituksenmukaista. Tietojen keräämisessä tietyistä ilmiöistä ja toiminnoista tarvitaan soveltavia tutkimuksia, jotka keskittyvät vain kyseisen tietyn asian tutkimiseen. Soveltavat tutkimukset vaativat runsaasti ammattitaitoa teknologioiden hyödyntämiseen ja kyseisen tutkimuksen rakentamiseen. Lisäksi tietoja kerätään yleisesti käytettävissä olevista tietovarannoista ja järjestelmistä sekä erilaisten laskentamallien ja funktioiden avulla. Uuden tekniikan käyttöönotossa sovelletaan myös erilaisia ennuste- ja simulointimalleja, joiden avulla menetelmien eroja voidaan hahmotella. Esimerkiksi normaalia raskaampien ajoneuvoyhdistelmien käyttöä kuljetuksissa voidaan simuloida, jolloin voidaan verrata eroja aikaisempaan kalustoon. Ennustemalleilla voidaan matemaattisin keinoin määritellä tietyn ilmiön, kuten puutavaran kosteuden, kehittymistä.

Jokaisen toimitusketjun toiminnon tietotarpeet on taulukoitu tulosmuotoisesti pääluokujen lopussa. Taulukoista käy ilmi, että tietotarpeita on huomattavan paljon. Taulukoissa on esitetty myös potentiaaliset tietotarpeet. Taulukoissa ei ole lajiteltu tietotarpeiden välttämättömyyttä, vaan niihin on kerätty kaikki löydökset. Tarve tiedoille vaihtelee paljon, sillä toimitusketjun rakenne ei kaikilla toimijoilla ole sama. Kaikkien tietotarpeiden täyttäminen ei välttämättä ole asianmukaista, joten tulisikin pohtia, mitä tietoja toiminnasta oikeastaan tarvitaan. Tietotarpeiden taulukoissa tiedot on lajiteltu kolmeen eri kategoriaan, joka viestii pääsääntöisesti hyvin tietojen luonteesta. Kuitenkin joissain tapauksissa alakategoriat viestisivät tarkemmin tietotarpeiden lähteen ja tarpeen ymmärtäminen olisi helpompaa. Esimerkiksi toimintaan liittyvissä kaukokuljetuksen tiedoissa alakategorioita voisivat olla kuljetuksen suunnittelu ja työntekijätason tiedot.

Tietotarpeita sisältävissä taulukoissa on huomionarvoista myös se, että tietotarpeet vaihtelevat sen mukaan, mistä näkökulmasta asiaa katsotaan. Esimerkiksi kaukokuljetuksissa kuljetuksen suorittajan näkökulmasta reitti- ja paikkatiedot ovat olennaisia tietoja, mutta kuljetuksen vastaanottajan näkökulmasta nämä tiedot eivät ole oleelli-

sia. Toisaalta taas esimerkiksi kuljetettavan puutavaran määrätieto ja kuljetuksen reaaliaikainen sijainti ovat sellaista tietoa, joka kiinnostaa sekä kuljetuksen suorittajaa, että vastaanottajaa.

Tehty tutkimus osoittaa sen, että samoja tietoja kerätään toimitusketjussa useaan otteeseen. Tietojenhallinnassa tulisikin pohtia tietojen välttämättömyyttä, eli onko tarvetta kerätä tietoa moneen kertaan vai riittääkö tiedon kerääminen vain tietyssä pisteessä. Tutkimuksessa on esitetty Big Data -tietokanta, jonka tavoitteena on toimia kaikkien toimitusketjun tietojen keskipisteenä. Big Data -tietokantaan olisi pääsy kaikilla toimitusketjun toimijoilla, jolloin tietokannassa olevat tiedot olisivat jatkuvasti kaikkien saatavilla. Tällä menettelyllä voitaisiin ehkäistä turhan työpanoksen käyttäminen tiedonkeräyksessä, jos haluttu tieto on jo saatavilla. Big Data -tietokantaa voitaisiin laajasti hyödyntää myös toiminnanohjauksessa ja koko toimitusketjun tehokkuuden parantamisessa. Puutavaralogistiikan tehostamisessa myös automaatio, robotiikka, kehittyvä anturitekniikka ja tiedonsiirto voivat tuoda uudenlaisia ratkaisuja tiedonkeräykseen ja -hallintaan. Automaation ja robotiikan mahdollisuuksia on tuotu esille erityisesti terminaaliolosuhteiden yhteydessä, jossa luultavasti uudesta teknologiasta saataisiin suurimmat hyödyt. Myös Esineiden Internet on yleistymässä ja se liittyy läheisesti Big Dataan. Keskenään kommunikoivat teknologiat mahdollistaisivat yhä automaattisemman ja selkeämmän tiedonkeräyksen ja tiedonsiirron. Joissain tapauksissa tiedonkeräys ja -käsittely tuntuvat jokseenkin sekavalta. Sekavan niistä tekee sen, että tiedonkerääjää ja -käsittelijää ei ole tarkoin määritelty eikä täten saada selkeää kuvaa, kuinka tiedonkeräys käytännössä oikeasti tapahtuisi laajassa toimitusketjussa.

Tutkimuksessa on käsitelty tiedonhallinnan kannalta kahta erityyppistä tietoa. Osa tiedosta on jo olemassa olevaa tietoa, jota saadaan esimerkiksi yleisistä tietokannoista tai tieto on kerätty jo aikaisemmin. Olemassa olevaa tietoa käytetään selkeästi toiminnan ohjaamiseen, eli tietoa voidaan jakaa käyttäjilleen jo etukäteen. Tieto voidaan esimerkiksi välittää metsäkoneiden tietojärjestelmiin ennen varsinaisen työn aloittamista. Toinen käsiteltävä tieto on toiminnasta kerättävä tieto. Tätä tietoa ei ole saatavilla etukäteen, joten ei voida puhua ohjaustiedosta. Toiminnasta kerättävää tietoa voidaan kuitenkin hyödyntää toimitusketjun aikana toiminnan suunnitteluun ja

sitä voidaan käyttää eri toimitusketjun osien suoritustasojen määrittämiseen. Toiminnasta kerättävää tietoa voidaan myös käyttää tutkimusten tietoperustana ja hyödynittää esimerkiksi uusien teknologioiden tutkimisessa.

Tietoja käsitellään ja automatisoidaan erilaisten tietojärjestelmien avulla. Usein tilanne on se, että tietojärjestelmät ovat kytkeytyneenä toisiinsa, jolloin tiedonsiirto on tehokkaampaa eri toimijoiden välillä. Esimerkiksi kaukokuljetuksesta vastaavan toimijan ohjausjärjestelmä voi olla yhteydessä loppukäyttäjän tietojärjestelmään, jolloin esimerkiksi kuljetuksen ajoittaminen saadaan suoritettua halutulla tavalla. Erilaisia tietojärjestelmiä on käytössä laajasti, esimerkiksi kuljetuksille on olemassa omat tietojärjestelmänsä, metsäkoneille omansa ja tuotannolle omansa. Tässä yhteydessä puhutaan myös toiminnanohjausjärjestelmistä. Käytössä on myös automaattisia tiedonsiirtotekniikoita, jolloin tieto välittyy eteenpäin automaattisesti ilman toimenpiteitä. Automaattisen tiedonsiirron lisäksi tiedonsiirrossa hyödynnetään myös manuaalisia ja perinteisempiä tekniikoita. Lisäksi tiedonkäsittelyssä hyödynnetään tietenkin kokemustietoa ja alan asiantuntemusta. Tietojärjestelmien kokonaisuutta on tuotu laajasti esille erityisesti Big Datan yhteydessä. Big Datan yhdistämällä osaksi toimintaa voitaisiin päästä eroon useista eri tietojärjestelmistä. Tietojärjestelmä olisi laaja Big Data –tietokanta, johon jokaisella olisi oma käyttöliittymänsä. Ajatuksena tämä kuulostaa lupaavalta, mutta miten se käytännössä toteutetaan, onkin hyvä kysymys.

Mittaustietoa on saatavilla toimitusketjussa runsaasti. Raportissa metsänhakkuuta on käsitelty vain tiivistetysti, mutta hakkuutoiminto sisältää runsaasti erilaista tiedonhallintaa. Metsäkoneiden tietojärjestelmät tuottavat nykyään tuottavuus- ja tehokkuustietoa suoritetusta työstä, jolloin kuljettajat voivat tarkastella tunnuslukuja myös työskentelyn aikana. Tärkeänä mittarina pidetään esimerkiksi polttoaineen kulutusta, joka kasvaa merkittävästi epätehokkaasti tehdyn työn vaikutuksesta. Myös haketuksista ja murskauksesta, sekä kaukokuljetuksista saadaan tuottavuus- ja tehokkuustietoja. Tuottavuus- ja tehokkuustietojen tarkoituksena on antaa palautetta siitä, kuinka hyvin olemassa olevia resursseja käytetään ja kuinka optimaalisesti työvaiheita suoritetaan. Kilpailukyvyn säilyttämisen kannalta on olennaista tarkastella toiminnan tehokkuutta ja pyrkiä resurssitehokkuuteen. Mittaustietojen hallinnassa ongelmaksi



muodostuu se, että mitä oikeastaan halutaan mitata. Mahdollisuuksia mittauskohteille on lukematon määrä ja mittauskohteista tulisi tunnistaa toiminnalle olennaiset mittauskohteet, jotka antavat toiminnasta haluttua tietoa.

## 13 Pohdinta

Tutkimuksia ja selvityksiä aiheesta oli runsaasti saatavilla. Osa asioista on esitetty esimerkin avulla, jolla havainnollistetaan suurempaa ajatusta, kuin ainoastaan kyseistä yksittäistä suoritettua tutkimusta. Tärkeänä pohdinnan kohteena oli se, kuinka laajasti kutakin asiaa työssä käydään läpi. Isojen asiakokonaisuuksien tarkempi selvitys onnistuisi siten, että työssä keskityttäisiin yhteen toimitusketjun toimintoon koko toimitusketjun sijaan. Lisäksi täsmällisemmällä aiheen rajauksella teknologioihin voitaisiin keskittyä tarkemmin. Joissain kohdissa asioiden laajuus oli määritettävä aluksi väljästi ja annettava näin tilaa uusille löydöksille. Jotkin asiakohdat määräytyivät puhtaasti tarpeen mukaan. Tarkoituksena oli tuoda työssä esille sopivassa suhteessa sekä perinteisiä aihealueita, että innovatiivisia ja kehitysasteella olevia aihealueita. Saadut tutkimustulokset vastaavat esitettyihin tutkimuskysymyksiin hyvin. Tietotarpeita sisältävät taulukot kertovat monipuolisesti siitä, mitä tietoja toimitusketjussa tarvitaan. Varsinaiset tutkimustulokset eli teknologiat puolestaan kertovat millaisia menetelmiä tietotarpeiden täyttämiseksi käytetään. Teknologiat on esitetty suhteellisen yksinkertaisesti, mutta tutkimuksen tavoitteen kannalta riittävän laajasti. Teknologioiden täsmällisempi selvittäminen vaatisi kyseisten aihealueiden ammattilaisten haastattelemista ja tarkempaa selvitystyötä.

Lähteiden käytössä työssä käytettiin runsaasti lähdekritiikkiä ja niin sanotut pohdiskelevat lähteet jätettiin pääsääntöisesti tutkimuksesta pois, kun faktatietoja esitettiin. Tulokset perustuvat validiin dataan tai tutkimuksiin, joissa tekijöinä on ollut suhteellisen alan ammattihenkilöstöä. Työssä on tuotu tarkoituksella esille myös mielenkiintoisia kehitteillä ja tutkimuksen alaisena olevia teknologioita, joiden reliabiliteettia tai toimivuutta oikeassa ympäristössä ei voida puolestaan vielä tässä vaiheessa varmistaa. Lisäksi joissain tutkimuksissa on keskitytty hyvin suppeasti tietyn ongelman tai

ilmiön tutkimiseen, jolloin tutkimustieto ei ole yleistettävissä kovinkaan laajasti kyseisen aihealueen ulkopuolelle. Kokonaisuudessaan tulokset antavat laajasti luotettavaa informaatiota tämän hetkisestä teknologian tilanteesta, jossa suositetaan edelleen perinteisiä tekniikoita, mutta uusia tekniikoita halutaan tuoda toimintaan mukaan. Esimerkiksi laajasti raportissa käsiteltyä kosteusmittausta on pyritty kehittämään, jotta tarvittaessa mittaustuloksia saataisiin nopeallakin varoitusaajalla. Teknologiat on kerätty taulukoihin, joiden sisältö vastaa tutkimuksen alussa esitettyyn tutkimusongelmaan. Tuloksissa on esitetty tämän opinnäytetyön tutkimuksessa tehdyt löydökset, mutta luultavasti toisesta näkökulmasta tehtävällä tutkimuksella löydettäisiin lisää erilaisia teknologioita.

Tuloksia saatiin kasaan kattavasti ja niiden johdonmukaisuus tietotarpeisiin nähden on hyvä. Tuloksissa on esitelty monipuolisesti teknologioita ja tekniikoita eri näkökulmista ja esille on tuotu myös potentiaalisia kehityskohteita. Tuloksissa on eri toimitusketjun toimintojen kesken toistoa tarkoituksella joissain asioissa. Aihealue on todella laaja, joten joitain asioita on käsitelty suppeammin, joitain on korostettu ja joitain asioita on jätetty mainitsematta. Tausta-aineistoa kertyi paljon ja erilaisia lähteitä on hyödynnetty laajasti. Teknologiat on esitetty tuloksissa suhteellisen yksinkertaisella tasolla, sillä logistiikassa ei ole riittävästi teknologista osaamista tiedonkeräämiseen ja tiedonsiirtoon. Toimitusketjussa tarvitaankin runsaasti eri alojen tietämystä teknologioiden potentiaalın saavuttamiseksi ja teknologioiden implementoimiseen osaksi päivittäistä toimintaa.

Jatkotutkimuksissa mielenkiintoisena osa-alueena ovat ainakin Esineiden Internet, Big Data ja digitalisaatio yleensäkin. Kyseiset aihe-alueet ovat laajoja pinnalla olevia tekniikan T&K-painoalueita. Myös opastavat tietojärjestelmät ja automaattiset tiedonkeräystekniikat metsäkoneiden yhteydessä ovat selkeitä lähitulevaisuuden teknologioita. Kaukokuljetuksissa todennäköisesti tärkeimmät tutkimuskohteet tulevat lähitulevaisuudessa olemaan normaalia raskaammat ajoneuvoyhdistelmät sekä infrastruktuuriverkon kehitys. Infrastruktuuriin sisältyvät erityisesti kuljetusverkot, raiteet sekä terminaalit. Loppukäyttäjän näkökulmasta mielenkiintoisia tutkimuskohteita ovat puutavaran online-mittauksiin liittyvät aihealueet ja erilaiset tiedonsiirtotekniikat.

## Lähteet

Ajoneuvokohtainen kuljetussuunnittelu ja reititys. 2016. Autokuljetusopas, Metsätehon opas. Viitattu 28.9.2017.

<http://puuhuolto.fi/autokuljetusopas/kuljetusten-suoritus/ajoneuvokohtainen-kuljetussuunnittelu-ja-reititys/>

Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. & Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Viitattu 2.10.2017. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T258.pdf>

Apteeraus. 2012. Koneellinen puunkorjuu, Metsätehon opas. Viitattu 22.9.2017.

<http://puuhuolto.fi/koneellinen-puunkorjuu/glossary/apteeraus/>

Biotalous lyhyesti. N.d. Biotalous. Maa- ja metsätalousministeriö. Viitattu 8.9.2017.

<http://www.biotalous.fi/suomi-kehittaa/biotalous-lyhyesti/>

Ennakkotieto. 2012. Koneellinen puunkorjuu, Metsätehon opas. Viitattu 25.9.2017.

<http://puuhuolto.fi/koneellinen-puunkorjuu/puutavaran-lahikuljetus/kuormatraktorityon-suunnittelun-tyomalli/ennakkotieto/>

Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma. Tekes. Viitattu 2.10.2017.

[https://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/puuenergian\\_teknologiaohjelma.pdf](https://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/puuenergian_teknologiaohjelma.pdf)

Hakkuukoneen tietojärjestelmä tutkimustiedon lähteenä. 2010. Metsätehonraportti

212. Viitattu 7.9.2017. [http://www.metsateho.fi/wp-](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2010/01/Metsatehon_raportti_212_Hakkuukoneen_tietoj%C3%A4rjestelm%C3%A4_tutkimustiedon_aka.pdf)

[content/uploads/2010/01/Metsatehon\\_raportti\\_212\\_Hakkuukoneen\\_tietoj%C3%A4rjestelm%C3%A4\\_tutkimustiedon\\_aka.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2010/01/Metsatehon_raportti_212_Hakkuukoneen_tietoj%C3%A4rjestelm%C3%A4_tutkimustiedon_aka.pdf)

Harvesterijärjestelmät. N.d. PONSSE, A logger's best friend. Viitattu. 22.9.2017.

<http://www.ponsse.com/fi/tuotteet/opti-tietojarjestelmaet/metsaekonejarjestelmaet/harvesterit>

Heiskanen, V-P., Raitila, J. & Hillebrand, K. 2014. Varastokasassa olevan energiapuun

kosteuden muutoksen mallintaminen. Tutkimusraportti VTT-R-08637-13. Viitattu

18.9.2017. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2013/vtt-r-08637-13.pdf>

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara P. 2007. Tutki ja kirjoita. 13., osin uud. p. Helsinki: Tammi.

Hämäläinen, J., Hujo, S. & Korpilahti, A. 2006. Puutavaran mittauksen tutkimus- ja kehitysohjelma. Metsätehon raportti 191. Viitattu 14.9.2017.

[http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_raportti\\_191.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_191.pdf)

Hämäläinen, J. 2016. Kohti puuhuollon digitalisaatiota. Metsätehon tulostulosarja

11/2016. Viitattu 25.9.2017. [http://www.metsateho.fi/wp-](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tulostulosarja_2016_11_Kohti-puuhuollon-digitalisaatiota_FBD_jh.pdf)

[content/uploads/Tulostulosarja\\_2016\\_11\\_Kohti-puuhuollon-digitalisaatiota\\_FBD\\_jh.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tulostulosarja_2016_11_Kohti-puuhuollon-digitalisaatiota_FBD_jh.pdf)

Jahkonen, M., Lindblad, J., Sirkiä, S. & Laurén, A. 2012. Energiapuun kosteuden ennustaminen. Metsäntutkimuslaitos. Viitattu 18.9.2017.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp241.pdf>

- Johansson, H. 2012. Tuotantotalouden verstaas. Bisnes, liikeideat ja yrittäjyys. Viitattu 13.10.2017. <http://www.tuotantotalous.com/vinkkeja-tuottavuuden-parantamiseksi/>
- Jylhä, P. 2013. Autohakkurin seula-aukon koon vaikutus kokopuun haketuksen tuottavuuteen ja polttoaineen kulutukseen. Metsäntutkimuslaitos. Viitattu 14.9.2017. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp272.pdf>
- Järvinen, T., Malinen, J., Tiitta, M. & Teppola, P. 2007. State of art – selvitys puun kosteusmittauksesta. Tutkimusraportti Nro VTT-R-013325-07. Viitattu 13.9.2017. [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2008/01/State\\_of\\_art\\_selvitys\\_puun\\_kosteusmittauksesta\\_2007\\_VTT.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2008/01/State_of_art_selvitys_puun_kosteusmittauksesta_2007_VTT.pdf)
- Järvinen, T. 2013. Nopea ja tarkka biopolttoaineiden kosteuden määrittäminen käyttäen magneettisen resonanssin mittaukseen perustuvaa laitetta. VTT. Viitattu 14.9.2017. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2013/T90.pdf>
- Key Performance Indicators – Definition. 2017. Klipfolio. Viitattu 3.11.2017. <https://www.klipfolio.com/resources/articles/what-is-a-key-performance-indicator>
- Kohti tehokkaampaa puuhoitoa. 2012. Puutavaralogistiikka 2020 –kehittämissuunnitelma ja T&K-ohjelma. Metsäteollisuus Ry. Viitattu 29.9.2017. <https://www.metsateollisuus.fi/uploads/2017/03/30035227/462.pdf>
- Korpilahti, A., Imponen, V., Mäkelä, M., Pennanen, O. & Poikela, A. 2005. Puuraaka-aineiden lajitteluvaihtoehdot puun hakinta- ja käsittelyketjussa. Metsätehon raportti 186. Viitattu 27.9.2017. [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_raportti\\_186.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_186.pdf)
- Kosteuden online-mittaus metsätähdehakeesta. 2010. Metsätehon raportti 213. Viitattu 6.9.2017. [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2010/01/Metsatehon\\_raportti\\_213\\_Kosteuden\\_online-mittaus\\_metsatahdehakeesta\\_ak-tm.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2010/01/Metsatehon_raportti_213_Kosteuden_online-mittaus_metsatahdehakeesta_ak-tm.pdf)
- Kujansivu, P., Lönnqvist, A., Jääskeläinen, A. & Sillanpää, V. 2007. Liiketoiminnan aineettomat menestystekijät: mittaa, kehitä ja johda. Helsinki: Talentum.
- Kuljetusten infrastruktuuriverkko. 2016. Autokuljetusopas, Metsätehon opas. Metsäteho Oy. Viitattu 28.9.2017. <http://puuhoito.fi/autokuljetusopas/kaukokuljetus/kuljetusten-infrastruktuuriverkko/>
- Kuljetusmuodot. 2016. Autokuljetusopas, Metsätehon opas. Metsäteho Oy. Viitattu 18.9.2017. <http://puuhoito.fi/autokuljetusopas/kaukokuljetus/kuljetusmuodot/>
- Kuljetustilaus. 2016. Autokuljetusopas, Metsätehon opas. Metsäteho Oy. Viitattu 28.9.2017. <http://puuhoito.fi/autokuljetusopas/kuljetusten-suoritus/kuljetustilaus/>
- Kuorman rakenne. 2012. Koneellinen puunkorjuu, Metsätehon opas. Metsäteho Oy. Viitattu 25.9.2017. <http://puuhoito.fi/koneellinen-puunkorjuu/puutavaran-lahikuljetus/kuorman-keräämisen-tyomalli/kuorman-rakenne/>

Kuormatraktorijärjestelmät. N.d. PONSSE, A logger's best friend. Viitattu 22.9.2017.

<http://www.ponsse.com/fi/tuotteet/opti-tietojaerjestelmaet/metsaekonejaerjestelmaet/kuormatraktorit>

Kuormainvaaka. N.d. PONSSE, A logger's best friend. Viitattu 12.9.2017.

<http://www.ponsse.com/fi/tuotteet/bioenergy/kuormainvaaka>

Laitinen, S., Rytönen, E., Jumpponen, M. & Ojanen, K. 2014. Työympäristöriskien hallinta tienvarsihaketuksessa. Helsinki: Työterveyslaitos. Viitattu 29.9.2017.

<https://www.iulkari.fi/bitstream/handle/10024/134975/Ty%C3%B6ymp%C3%A4rist%C3%B6riskien%20hallinta%20tienvarsihaketuksessa.pdf?sequence=1>

Langattomat lämpötila- ja kosteusanturit metsähakkeen laadun seurannassa. 2016. Metsäteho. Metsätehon tulostalvosarja 6a/2016. Viitattu 6.9.2017.

[http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tulostalvosarja\\_2016\\_06a\\_Langattomat\\_lamputila\\_ja\\_kosteusanturit.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tulostalvosarja_2016_06a_Langattomat_lamputila_ja_kosteusanturit.pdf)

Melkas, T. 2010. Markkinoilla olevat kuormainvaat ja niiden ominaisuudet. Metsätehon tulostalvosarja 4/2010. Viitattu 21.9.2017.

[http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tulostalvosarja\\_2010\\_04\\_Markkinoilla\\_olevat\\_kuormainvaat\\_ja\\_niiden\\_ominaisuudet\\_tm.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tulostalvosarja_2010_04_Markkinoilla_olevat_kuormainvaat_ja_niiden_ominaisuudet_tm.pdf)

Melkas, T. 2009. Kuormainvaakamittaus uudistuu. Metsätehon tulostalvosarja 11/2009. Viitattu 21.9.2017.

[http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tulostalvosarja\\_2009\\_11\\_Kuormainvaakamittaus\\_uudistuu\\_tm.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tulostalvosarja_2009_11_Kuormainvaakamittaus_uudistuu_tm.pdf)

Metsänhenki. 2011. UPM:n lehti Metsänomistajille. UPM. Viitattu 28.9.2017.

[https://www.metsamaailma.fi/fi/ForestInformation/ForestLibrary/Documents/Mets%C3%A4n%20henki%203\\_2011.pdf](https://www.metsamaailma.fi/fi/ForestInformation/ForestLibrary/Documents/Mets%C3%A4n%20henki%203_2011.pdf)

Metsätehon katsaus. 2006. Metsäteho, kehityksen kärjessä. Metsäteho Oy. Viitattu 29.9.2017.

[http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Katsaus\\_21.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Katsaus_21.pdf)

Metsäteollisuus Suomessa. N.d. Maa- ja metsätalousministeriö. Viitattu 5.9.2017.

<http://mmm.fi/metsat/puun-kaytto/metsateollisuus-suomessa>

Mittaus ja laatu. N.d. Metsäteho Oy. Viitattu 29.9.2017.

<http://www.puuhuolto.info/mittaus/start.html>

Mäkelä, M. 1998. Tukkien korjuu- ja käsittelyvauriot. Metsätehon raportti 51

23.3.1998. Viitattu 27.9.2017. [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_raportti\\_051.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_051.pdf)

Mäkelä, M., Korhonen, K., Lipponen, K. & Öhman, H. 2000. Varastoinnin vaikutus kuitupuuhun ja sen merkitys sellun valmistuksessa. Metsätehon raportti 91 A

25.5.2000. Viitattu 27.9.2017. [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_raportti\\_091A.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_091A.pdf)

Mäkelä, M., Varhimo, A. & Pennanen, O. 2001. Talvikaatoisen kuusikuitupuun kylmävarastointi. Metsätehon raportti 107 18.5.2001 Viitattu 27.9.2017.

[http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_raportti\\_107.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_107.pdf)

Ohjelmistot ja laskurit. 2016. Luonnanvarakeskus. Luke. Viitattu 13.9.2017.  
<https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/ohjelmistot-ja-laskurit/>

Opti tietojärjestelmät. N.d. PONSSE, A logger's best friend. Viitattu 22.9.2017.  
<http://www.ponsse.com/fi/tuotteet/opti-tietojaerjestelmaet>

Pajuoja, H. & Hämäläinen, J. 2012. Kohti tehokkaampaa puuhuoltoa. Metsäteho Oy. Viitattu 20.9.2017. [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/03/Seminaari\\_2012\\_01\\_c\\_Pajuoja\\_Hamalainen\\_Kohti\\_tehokkaampaa\\_puuhuoltoa.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/03/Seminaari_2012_01_c_Pajuoja_Hamalainen_Kohti_tehokkaampaa_puuhuoltoa.pdf)

PiiMega® LogPro. 2017. PiiMega®. Viitattu 28.9.2017.  
<https://www.piimega.fi/tuotteet/metsa-ja-sahateollisuuden-toiminnanohjausjarjestelma/piimega-logpro>

Puun kosteus. 2017. Bioenergian pikkujättiläinen. Bioenergianeuvoja. Viitattu 14.9.2017. <http://www.bioenergianeuvoja.fi/faktaa/puun-kosteus/>

Puun laadun säilyttäminen -opas. 2004. Helsinki: Metsäteho Oy. Viitattu 16.9.2017.  
[http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/03/Puun\\_laadun\\_sailyttaminen\\_opas\\_SUOMI.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/03/Puun_laadun_sailyttaminen_opas_SUOMI.pdf)

Puupolttoaineiden laatuohje. 2014. Helsinki: Bioenergia Ry, Energiateollisuus Ry, Metsäteollisuus Ry. Viitattu 14.9.2017.  
[http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2014/VTT-M-07608-13\\_2014\\_%20update.pdf](http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2014/VTT-M-07608-13_2014_%20update.pdf)

Puutavaran autokuljetus. 1997. Metsätehon opas. Metsäteho Oy. Viitattu 27.9.2017.  
[http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Puutavaran\\_autokuljetus\\_opas.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Puutavaran_autokuljetus_opas.pdf)

Puutavaran lastaus ja varastointi maanteillä. N.d. Elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskus. Viitattu 7.9.2017. <https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/58652/Puutavaran+lastaus+ja+varastointi+maanteill%C3%A4.pdf/acb9a824-fa6e-43f2-89dd-1f3470b4d444>

Puutavaran lähikuljetus. 2012. Koneellinen puunkorjuu, Metsätehon opas. Metsäteho Oy. Viitattu 7.9.2017. <http://puuhuolto.fi/koneellinen-puunkorjuu/puutavaran-lahikuljetus/>

Puutavaranmittauksen neuvottelukunta. 2014. Energiapuun mittaus. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, Metsätutkimuslaitos ja Työtehoseura Ry. Viitattu 14.9.2017. <http://www.metla.fi/metinfo/tietopakettit/mittaus/energiapuun-mittausopas-30062014.pdf>

Päiviö, S., Kalvas, T., Riikilä, T. & Virtanen, A. 2009. Perusteet puun ominaisuuksien mittaamiseksi neutronimenetelmällä. Metsätehon raportti 205. Viitattu 27.9.2017.  
[http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Raportti\\_205\\_AK\\_Perusteet\\_puun\\_ominaisuuksien\\_mittamiseksi\\_neutroni.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Raportti_205_AK_Perusteet_puun_ominaisuuksien_mittamiseksi_neutroni.pdf)

Päästökauppa. 2017. Energiavirasto. Viitattu 28.9.2017.  
<https://www.energiavirasto.fi/paastokauppa>

Rakennelmat ja laitteet sekä toimenpiderajoitukset tiealueen ulkopuolella 23.6.2005/503. Maantielaki. Viitattu 28.9.2017.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20050503>

Rytkönen, E & Vähänikkilä, A. 2010. Rengaspaineiden alentamisen vaikutus metsäkoneen tärinään. Metsätehon tulosalvosarja 14/2010. Viitattu 7.9.2017.

[http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tuloskalvosarja\\_2010\\_14\\_Rengaspaineiden\\_alentamisen\\_vaikutus\\_metsakoneen\\_tarinaan\\_er\\_av\\_kk.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tuloskalvosarja_2010_14_Rengaspaineiden_alentamisen_vaikutus_metsakoneen_tarinaan_er_av_kk.pdf)

Räsänen, T., Hämäläinen, J., Lamminen, S., Lindeman, H., Salmi, M. & Väätäinen, K. 2013. Uudet informaatiolähteet puunhankinnan tukena. Metsätehon raportti 226. Viitattu 19.9.2017.

[http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Raportti\\_226\\_Uudet\\_informaatiolähteet\\_puunhankinnan\\_tukena\\_tr\\_ym.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Raportti_226_Uudet_informaatiolähteet_puunhankinnan_tukena_tr_ym.pdf)

Siekinen A. & Korpilahti A. 2015. Rengaspaineiden säätö puutavara-ajoneuvoissa. Metsätehon tulosalvosarja 13/2015. Viitattu 20.9.2017.

[http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja\\_2015\\_13\\_Rengaspaineiden\\_saato\\_puutavara\\_ajoneuvoissa\\_ak.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja_2015_13_Rengaspaineiden_saato_puutavara_ajoneuvoissa_ak.pdf)

Sipiläinen, T. & Ryhänen, M. 2015. Tuotannon järjestämisen ja yhteistyön vaikutus tekniseen tehokkuuteen. Yhteistyöllä kilpailukykyä maidontuotantoon –hanke. Helsingin Yliopisto, Taloustieteen laitos. Viitattu 17.10.2017.

<http://www.helsinki.fi/taloustiede/Abs/Selv81.pdf>

Strandström, M. 2016. Puunkorjuu ja kaukokuljetus vuonna 2016. Metsätehon tulosalvosarja 1a/2017. Viitattu 28.9.2017. [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja\\_2017\\_01a\\_Puunkorjuu\\_ja\\_kaukokuljetus\\_vuonna\\_2016.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja_2017_01a_Puunkorjuu_ja_kaukokuljetus_vuonna_2016.pdf)

Suunnitteluprosessi. 2016. Autokuljetusopas, Metsätehon opas. Metsäteho Oy. Viitattu 9.9.2017. <http://puuhuolto.fi/autokuljetusopas/ohjaus-ja-suunnittelu/suunnitteluprosessi/>

Taakan tuonti pinoon ja pinon rakentaminen. 2012. Koneellinen puunkorjuu, Metsätehon opas. Metsäteho Oy. Viitattu 25.9.2017.

<http://puuhuolto.fi/koneellinen-puunkorjuu/puutavaran-lahikuljetus/kuorman-purkamisen-tyomalli/taakan-tuonti-pinoon-ja-pinon-rakentaminen/>

Tehokas puuhuolto 2025. 2015. Metsäteho Oy. Viitattu 21.9.2017.

[http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/03/Tehokas\\_puuhuolto\\_2025\\_web.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/03/Tehokas_puuhuolto_2025_web.pdf)

Tiestön kantavuus, ajorajoitukset ja talvikunnossapito. 2016. Autokuljetusopas, Metsätehon opas. Metsäteho Oy. Viitattu 29.9.2017.

<http://puuhuolto.fi/autokuljetusopas/kuljetusten-suoritus/tieston-kantavuus-ajorajoitukset-ja-talvikunnossapito/>

Tuomainen, V. 2011. Sales performance measurement and steering in a multinational company. Master's Thesis. Lahti: Lappeenranta University of Technology. Viitattu 12.10.2017.

<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/69849/nbnfi-fe201106151770.pdf;sequence=3>

Tuottavuus ja kustannustehokkuus sisäisen tehokkuuden mittarina. N.d. Konsultointi Arvio Oy. Viitattu 13.10.2017. [http://www.arvio.fi/artikkelit\\_tuottavuus.html](http://www.arvio.fi/artikkelit_tuottavuus.html)

Uitto. N.d. Metsäteho. Viitattu 27.9.2017. [http://puuhuolto.info/Uitto\\_opas/start.html](http://puuhuolto.info/Uitto_opas/start.html)

Varastointi yleisen tien viereen. 1997. Puutavaran autokuljetus, Metsätehon opas. Viitattu 28.9.2017. [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Puutavaran\\_autokuljetus\\_opas.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Puutavaran_autokuljetus_opas.pdf)

Varastopaikka. 2012. Koneellinen puunkorjuu, Metsätehon opas. Metsäteho Oy. Viitattu 25.9.2017. <http://puuhuolto.fi/koneellinen-puunkorjuu/puutavaran-lahikuljetus/kuormatraktorityon-suunnittelun-tyomalli/varastopaikka/>

Vastaanotto tehtaalla. 2016. Autokuljetus opas, Metsätehon opas. Metsäteho Oy. Viitattu 29.9.2017. <http://puuhuolto.fi/autokuljetusopas/kuljetusten-suoritus/vastaanotto-tehtaalla/>

Venäläinen, P., Aalto, M., Heljanko, E., Hilmola, O-P., Korpinen O-J., Ovaskainen, H., Pesonen, M. & Poikela, A. 2017. Terminaalitoiminnot energiatehokkaassa puutavaralogistiikassa. Metsätehon raportti 242. Viitattu 20.9.2017. [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Raportti\\_242\\_Terminaalitoiminnot\\_energiatehokkaassa\\_puutavaralogistiikassa\\_T3.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Raportti_242_Terminaalitoiminnot_energiatehokkaassa_puutavaralogistiikassa_T3.pdf)

Venäläinen, P. & Ovaskainen, H. 2016. Terminaalitoiminnot energiatehokkaassa puutavaralogistiikassa. Metsätehon tulosalvosarja 5/2016. Viitattu 20.9.2017. [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tulosalvosarja\\_2016\\_05\\_Terminaalitoiminnot\\_energiatehokkaassa\\_puutavaralogistiikassa.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tulosalvosarja_2016_05_Terminaalitoiminnot_energiatehokkaassa_puutavaralogistiikassa.pdf)

Venäläinen, P. & Poikela, A. 2016. Energiapuun kuljetuskaluston ja menopaluukuljetusten skenaariot. Metsätehon tulosalvosarja 2a/2016. Viitattu 22.9.2017. [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tulosalvosarja\\_2016\\_02a\\_Energiapuun\\_kuljetuskaluston\\_ja\\_menopaluukuljetusten\\_skenaariot.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tulosalvosarja_2016_02a_Energiapuun_kuljetuskaluston_ja_menopaluukuljetusten_skenaariot.pdf)

Virkkunen, M. 2014. Kiinteiden biopolttoaineiden terminaaliratkaisut tulevaisuudessa. VTT. Viitattu 20.9.2017. [http://www.temtoimialapalvelu.fi/files/2273/Virkkunen.Kiinteiden\\_biopolttoaineiden\\_terminaaliratkaisut\\_tulevaisuudessa.pdf](http://www.temtoimialapalvelu.fi/files/2273/Virkkunen.Kiinteiden_biopolttoaineiden_terminaaliratkaisut_tulevaisuudessa.pdf)

Väkevä, J., Kariniemi, A., Lindroos, J., Poikela, A., Rajamäki, J. & Uusi-Pantti, K. 2003. Puutavaran metsäkuljetuksen ajanmenekki. Metsätehon raportti 123. Viitattu 10.9.2017. [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_raportti\\_123.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_123.pdf)

Väkevä, J., Lindroos, J., Rajamäki, J. & Uusi-Pantti, K. 2000. Puutavaran keräilyajon ajanmenekki. Metsätehon raportti 96. Viitattu 11.9.2017. [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon\\_raportti\\_096.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_096.pdf)



Väätäinen, K., Ikonen, T., Ala-Ilomäki, J., Sirén, M., Lamminen, S. & Asikainen, A. 2012. Kuljettajaa opastavat älykkäät järjestelmät ja niiden käyttö koneellisessa puunkorjuussa. Metlan työraportteja 223. Metsäntutkimuslaitos. Viitattu 19.9.2017. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp223.pdf>

YksTL 15.6.1962/358. Laki yksityisistä teistä. Viitattu 28.9.2017. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1962/19620358#L10>

## Liitteet

### Liite 1. Puutavaran kosteuden määrittäminen

#### Kosteusprosentin mittaaminen

Puun alkuperäinen kosteusprosentti voidaan laskea, kun suhteutetaan polttoaineen märkápaino sen kuivapainoon seuraavan laskutoimituksen mukaisesti: **(puun märkápaino-kuivapaino) / märkápaino x 100**

#### Kuivapainon määritteleminen

- Laita haketta, pieniä puutikkuja tai turvepaloja folioastiaan
- Punnitse lähtöpaino
- Laita uuniin kuivumaan +105 asteeseen

Astia punnitaan tasaisin väliajoin niin kauan, kunnes painon muutos lakkaa. Usein 16 tuntia riittää täydelliseen kuivamiseen, mikäli palakoko on alle 30 mm. Tällöin puun kosteus on 0%.

#### Esimerkkitapaus

Esimerkkitilanteessa puun märkápaino on 200 g, kuivapaino 150 g.

- Laskukaava:  $(200-150) \text{ g} / 200 \text{ g} \times 100 = 25$
- Tuloksena raaka-aineen alkuperäinen kosteusprosentti, 25 %

Käytännössä yli 55 % kosteaa puuta ei kannata polttaa, koska energiasisältö on keskimäärin vähäiset 2 kWh/kg, mikä vastaa lämmityskattilan lämpöhäviötä. Kuivassa puussa on hyötysuhde vastaavasti puolet suurempi, jopa 4-5 kWh/kg.



*Folioastioissa olevat hake- ja palaturvenäytteet ovat menossa punnitukseen ja uuniin kuivumaan.*

## Liite 2. Mittaustekniikoita puutavaralle kehittäviä ja tuottavia tahoja

<b>Tutkimus ja kehitys</b>	<b>Asiantuntemusalue</b>
Helsingin yliopisto, maatalous-metsätieteellinen tiedekunta	Puutiede, puutavaralogistiikka, kaukokartoitus ja paikkatietojärjestelmät
Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tdk	Puutiede, puutavaralogistiikka, kaukokartoitus ja paikkatietojärjestelmät
Joensuun yliopisto, fysiikan laitos	Kuva-analyysi, fotonikka (optiset mittausten menetelmät)
Kuopion yliopisto	Mittausfysiikka, akustiset ja sähkömagneettiset menetelmät
Lappeenrannan teknillinen yliopisto	Saha-automaatio ja mittaukset
Oulun yliopisto, fysiikan laitos	Konenäkötekniikka, mikroaaltotekniikka, mittaustekniikka
Oulun yliopisto, Kajaanin mittalaitelaboratorio	Mikroaalto- ja ultraäänitekniikka
Tampereen teknillinen yliopisto	Digitaalikuva-analyysi, mittaus- ja informaatiotekniikka, informaatiologiikka
TKK Fotogrammetrian ja kaukokart. lab.	Kaukokartoitus ja -mittaus, kamerakalibrointi
TKK Automaatiotekniikan laboratorio	Laserskannaus ja -mittaus, kamerakuvamittaus
VTT Metsä, kemia, ympäristö	Röntgen- ja muu mittaustekniikka, mallinnus, jalostusarvon laskenta
VTT Tieto- ja viestintätekniikka, elektroniikka	Anturitekniikka, mittaustekniikka
Metsäntutkimuslaitos, Joensuu	Puutavaran mittaus, puutieteelliset ja käyttökäytännölliset perusteet, arvonmuodostus ja puutavaralogistiikka
Metsäntutkimuslaitos, Vantaa	Fysikaaliset mittausten menetelmät, mallinnus, puutieteelliset perusteet
Metsäteho Oy	Puutavaran mittaus, puutavaralogistiikka
Mikkelin ammattikorkeakoulu	Mittaukset sahateollisuudessa
Satakunnan ammattikorkeakoulu	Konenäkötekniikka
Seinäjoen ammattikorkeakoulu	Puutuoteteollisuuden jatkojalostuksen konenäkötekniikka, robotiikka ja automaatio
<b>Kehitys ja valmistus</b>	<b>Asiantuntemusalue</b>
Codator Oy	Laser- ja kuvamittaus, sahatavaran laadutus
Genera Oy	Puutavaran mittaus- ja laadutusjärjestelmät
Intopii Oy	Kuva-analyysi
Mikropuu Oy	Tukkimitarit, sahatavaran laadutus, kameratekniikka
Savcor Forest Oy, Masser Oy	Puutavaralogistiikka, elektroniset mittavälineet
Visiometric Oy	Tukkimitarit, lajittelusysteemit, särmäyksen ohjaus
Bintec Oy	Tukkiröntgen
Plenware Oy	Tukkiröntgenin analyysiohjelmat
Vision Systems Oy	Konenäkötekniikka, laser- ja kameramittaus
FinScan Oy	Konenäkötekniikka saha- ja vaneriteollisuuteen
Lisker Oy	Konenäkötekniikka sahatavaran laadutukseen, tukkimittarit
Oy Ekspansio Engineering	Kuvamittaus, sahatavaran laadutus, särmäysohjaus
Vansco Electronics Oy	Hakkuukoneen mittausjärjestelmät, erilaiset anturit
Epec Oy	Hakkuukoneen mittausjärjestelmät. Kuormainvää'at
Ponsse Oy	Metsäkonevalmistus, mittausjärjestelmät
John Deere Forestry Oy	Metsäkonevalmistus, mittausjärjestelmät
Komatsu Forest Ab	Metsäkonevalmistus, mittausjärjestelmät
Andritz Oy Wood Processing	Kuorimon konenäkötekniikka, hakkeen analysointi
Metso Paper Oy	Kuorimon konenäkötekniikka, hakkeen analysointi
Teknosavo Oy	Kuorimon konenäkötekniikka, hakkeen analysointi
Euroelektro Oy	Saha- ja puutuoteteollisuuden konenäkötekniikka
Raute Oyj / Mecano Group Oy	Levy- ja sahateollisuuden konenäkösovellukset
Pinomatic Oy	Puutuoteteollisuuden konenäkösovellukset

## Liite 3. Yleisimpien puupolttoaineiden kosteuspitoisuuksia

Puupolttoainelaji	Kosteus, p-%
Halot ja pilkkeet, juuri hakatut	45
Halot ja pilkkeet, yhden kesän yli varastoidut	25
Halot ja pilkkeet, kahden kesän yli varastoidut	20
Rankahake, tuore	50
Rankahake, rasikuiva	40
Rankahake, ilmaikuiva, ylivuotinen	25–30
Metsätähdehake, mänty, tuore	60
Metsätähdehake, kuusi, tuore	50–57
Metsätähde, oksahake, tuore	50
Kantohake	35
Pajuhake	35–40
Hakkeen seufontajäte	50–55
Sahaustähde	5–10
Sahanpuru ja hake, kuivaamaton	50–55
Sahanpuru, kuivatusta sahatavarasta	5–15
Tasauspätkien hake	15
Hiomapöly	5–10
Hiomapöly, puusepän kuiva	15–20
Kutterinpuru, puusepän kuiva	5–10
Kutterinpuru, ilmaikuiva	15–20
Puusepänteollisuuden jäte	5–10
Puusepänteollisuuden jäte, ilmaikuiva	15–20
Vaneritähde	35–50
Vanerin tasausreunat	5–10
<b>KUITUPUUN KUORI</b>	
Havupuu, kuiva kuljetus	
• kuiva kuorinta	40–50
• märkä kuorinta, puristamaton	60–70
• märkäkuorinta, puristettu	55–62
Havupuun märkäkuljetus tai varastointi vedessä	
• puristamaton	70–85
• puristettu	55–62
Koivupuu	
• märkä kuorinta, puristamaton	65–70
• märkä kuorinta, puristettu	55–62
• kuiva kuorinta	40–50
TUKKIPUUN KUORI, havupuu, kuivakäsittely	40–50
märkäkäsittely	60–80
TUKKIPUUN KUORI, koivu	35–50

# Selvitys metsäbiomassan logistiikan tiedonkeruun ja käsittelyn mahdollisuuksista

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten tietoja kerätään, käsitellään tai automatisoidaan metsäbiomassan toimitusketjussa. Lisäksi tuli selvittää, mitä mittaustietoa on saatavissa ja keskittyä tuottavuuden sekä tehokkuuden mittareihin.

Varsinaisessa raportissa aluksi on kuvattu yleisesti metsäbiomassan toimitusketjua ja tuottavuus- sekä tehokkuusmittareita, jonka jälkeen pääluvut etenevät loogisessa järjestyksessä toimitusketjun mukaisesti. Jokaisessa pääluvussa on kuvattu aihealueen keskeisiä tietotarpeita lähdeaineiston pohjalta. Kunkin pääluvun lopussa tietotarpeet on esitetty taulukossa ja lopuksi tutkimustuloksissa on esitelty teknologioita. Tutkimusraportissa on käsitelty laajasti jo käytössä olevia tekniikoita ja menetelmiä, mutta sen lisäksi esille on tuotu myös potentiaalisia ja mielenkiintoisia kehityskohteita.

---

## *Tuottavuus ja tehokkuus lyhyesti*

---

Ennen toimintoihin syventymistä, on olennaista ymmärtää tuottavuuden ja tehokkuuden käsitteitä. Tuottavuuden määrittämisessä on olennaista ymmärtää toiminnon sisältämät eri työvaiheet. Käytännössä siis mistä pienemmistä osa-alueista koko toiminto koostuu.

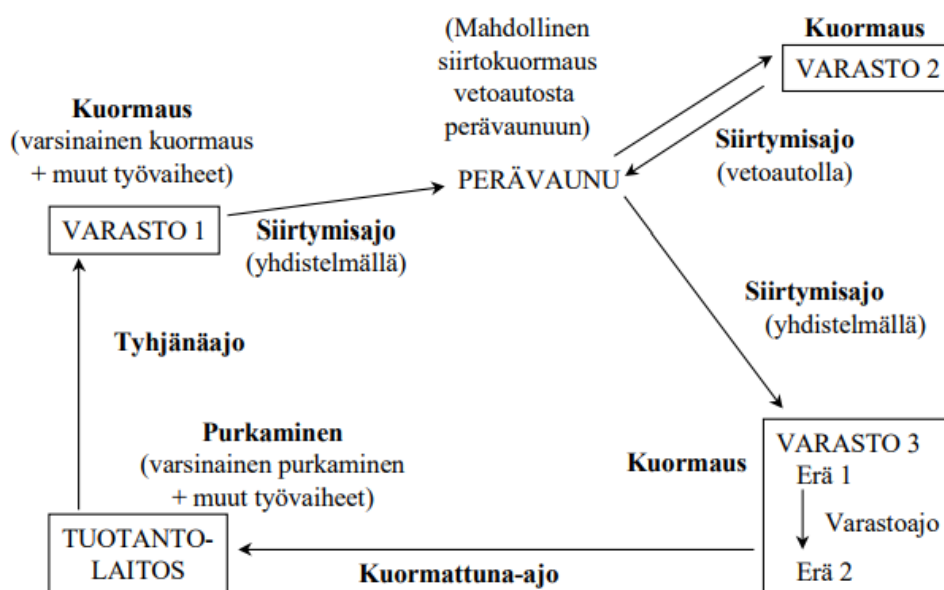
Tuottavuuden ja tehokkuuden käsitteet voidaan joskus sekoittaa keskenään ja käytännössä ne ovatkin päällekkäiset käsitteet. Usein tuottavuutta käytetään työpanoksen tehokkuuden mittaamiseen, jolloin tarkastellaan käytetyn työajan ja tuotoksen suhdetta (Johansson 2012). Tuottavuutta voidaan kuvata eräänlaiseksi mittariksi, jolla tarkastellaan käytettyjen resurssien ja saadun tuotoksen välistä suhdetta. Toisin sanoen kuinka tehokkaasti resursseja käytetään tuotteen tai palvelun tuottamiseksi. Esimerkiksi haketuksessa tai lähikuljetuksessa polttoaine on resurssi, jolloin mitä pienempi polttoaineenkulutus – sitä parempi tuottavuus, olettaen tuotoksen pysyvän samana. Tuottavuus paranee tuottamalla enemmän ja saman aikaisesti käyttämällä vähemmän tai yhtä paljon resursseja. Kokonaistuottavuuden mittaaminen koko puutavaran toimitusketjusta on hankalaa, mutta tuottavuutta voidaan mitata yksittäisistä työpisteistä tai työsuorituksista. (Tuottavuus ja kustannustehokkuus sisäisen tehokkuuden mittarina.)

Koko toimitusketjun tuottavuuden tai tehokkuuden määrittäminen ei siis periaatteessa ole mahdollista, joten tunnuslukuja on määritettävä pienemmistä kokonaisuuksista, kuten lähikuljetuksen tai hakkuun tuottavuuksista. Tällöin määrittäminen on mahdollista, eli voidaan tarkastella esimerkiksi lähikuljetuksissa kuljetetun puutavaran määrää aikayksikössä tai käytettävissä olevan kuljetuskapasiteetin hyödyntämistä. Samoin myös esimerkiksi kaukokuljetuksissa voidaan tarkastella käytettävän kapasiteetin maksimointia.

### Esimerkki 1.

Alla olevassa kuviossa on esitetty kaukokuljetukseen liittyvän keräilyajon työvaiheita. Kuvioista voidaan huomata, että usein toiminnon jakaminen työvaiheisiin antaa paljon tietoa siitä, kuinka eri tyyppisiä työvaiheita toiminto sisältää ja miksi. Vielä tässäkin kuviossa ei ole eritelty kaikkia työvaiheita, jotka on merkitty vain ”muut työvaiheet”.

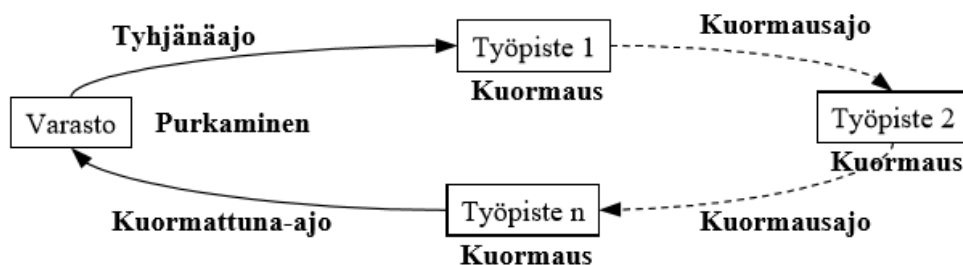
Kyseinen kuvio on esitetty raportissa ajanmenekkitietojen määrittämisen yhteydessä. Kun toiminto jaetaan työvaiheisiin, voidaan myös ajanmenekki ja tuottavuus tai tehokkuus määrittää työvaiheittain.



### Esimerkki 2.

Tässä esimerkkikuviossa on esitetty metsäkuljetuksen eri työvaiheet. Käytännön tasolla kaikkia ajoja metsässä voidaan puhekielessä nimittää vain ”ajoksi”, mutta laskeellisessa mielessä ajot poikkeavat toisistaan. Esimerkiksi tuottavuuden kannalta tyhjänä ajoa tulisi minimoida. Kaikki ylimääräinen ajo kuormatraktorilla ilman kuor-

maa on niin sanotusti turhaa ajoa ja se vähentää tuottavuutta. Käytännössä siis tuottavuus on parhaimmillaan silloin, kun työpisteet ovat mahdollisimman lähellä varastoa.




---

### *Lähikuljetus (metsäkuljetus)*

---

Tutkimuksessa toimitusketjun aloituspisteeksi katsotaan tilanne, jossa puutavara odottaa palstalla valmiina. Eli varsinainen metsänhakkuu ja hakkuutoiminnot eivät sisälly tutkimuksen aihealueisiin. Seuraavaksi alapuolella on esitetty eri toimintojen tietotarpeet ja teknologiat taulukkumuodossa. Tietotarpeet on jaettu kolmeen aihealueeseen. Aihealueet ovat toimintaan-, ympäristöön ja materiaaliin liittyvät tiedot. Teknologioita sisältävissä taulukoissa harmaa väri kuvastaa potentiaalisen teknologian. Potentiaalista teknologiaa tutkitaan, sitä käytetään joissain tilanteissa tai vähäisesti. Teknologiaa myös mahdollisesti käytetään soveltavissa tutkimuksissa tai teknologiaa odotetaan käytettäväksi lähitulevaisuudessa.

#### *Tietotarpeita lähikuljetuksessa*

TOIMINTA	YMPÄRISTÖ	MATERIAALI
Ajanmenekkitiedot	Maaston ominaisuudet	Tiedot kuormauksen aikana
- Kuormaus- ja purku-toiminnot	- Ajouraverkot	- Puutavaralaji
- Kuormausajo (matka, aika ja nopeus)	- Kantavuus ja heikot maastonkohdat	- Erätietoja
- Kuormattuna-ajo	- Työmaa-alueen rajat	- Osamassat ja kuljetustiedot
- Tyhjänä ajo	- Suojelualueet	Puutavaran laatutiedot
- Purkamisajo, ylimääräiset siirtymiset ja liikkeet	- Korjuukohteen rajat	Puutavaran määrä
Hakkuutyypin (pääte vs. harvennus)	- Voimalinjat ja muut esteet	Kuorman paino ja koko

Kuorman koko, etusermin pinta-ala ja pinotiiveys	- Jyrkänteet ja vesistöt	Varastojen tilanne
Puutavaran sijainnit ja määrät sekä kuljetusreitit	Ennakkotiedot ja työmaaohjeet	Puutavaran värikoodit ja merkinnät palstalla
Toimintamalli ja hakkuutapa	Maastoluokka ja leimikon koko	Puutavaran tilavuustiedot
Punnitus	Varastojen sijainnit	
Leimikon keskijäreys ja hehtaarikertymä	Sääolosuhteet	
Koneen tekniset ominaisuudet (esim. kuljetuskapasiteetti)	Puutavaran vaatima varastointitila	
Työpisteiden määrä ja koneen kulkema matka		
Polttoaineen kulutus		
Kuormaimen matka suhteessa runkoon		

### *Lähikuljetuksen teknologioita ja tekniikoita*

<b>TEKNOLOGIAT JA TEKNIIKAT</b> <b>Lähikuljetus</b>
Kuormain ja siihen liittyvä tiedonsiirto
Ajanmittaus ja -seuranta, aikaleimaus
Paikkatietojärjestelmät
Opastavat tietojärjestelmät
Soveltavat tutkimukset, useita eri teknologioita mielikuvituksen mukaan
Hakkurin ja kuormatraktorin välinen kommunikointi
Ennakkotiedot ja työmaakohtaiset ohjeet
Valmiit taulukot ja yleiset tietojärjestelmät
Ohjauksjärjestelmät
Erilaiset tiedonsiirtotekniikat
Värikoodit puiden merkinnässä
Laatuohjeet
Simulaattorit ja koulutus

---

### *Tienvarsivarastointi*

---

### *Tietotarpeita tienvarsivarastoinnissa*

TOIMINTA	YMPÄRISTÖ	MATERIAALI
Laatumuutokset	Laatumuutokset	Kosteus



Varastojen sijainnit ja kulkureitit	- Laho	Puulaji ja sen ominaisuudet sekä käyttötarkoitukset
Varastointiaika ja varastoivat määrät	- Kuivuminen	Kaadon ajankohta
- Tarvemäärät loppukäyttäjien näkökulmasta	- Halkeilu	Varastointiaika
- Kiertonopeus	- Tuholaiset ja sienet	Vallitsevat olosuhteet
- Kysyntä	- Väriviat	Vuodenajat
Kausittaiset hakkuu- ja käyttömäärien suhteet	Vallitsevat sääolosuhteet ja vuodenajat (lämpötila, sadanta, haihdunta, lumitilanne)	Erityyppiset mittaustiedot
Mahdolliset lupatiedot	Maaston ominaisuudet	- Kehystilavuus, keskijäreys, tiheystekijät ja muuntokerroin
Mahdollisten kuormausalueiden sijainnit yleisillä teillä	- Kantavuustiedot	- Kiintotilavuus, pinon pituus, korkeus ja leveys
Toimintojen ajoitus	- Kääntöpaikat	- Yksikkötilavuudet
- Varastolla työskentely	- Varaston sijainti	- Kuorellinen tilavuus
- Kaukokuljetuksen saapuminen	- Esteet, voimalinjat ja kasvava puusto	- Vaaleus

#### *Tienvarsivarastoinnin teknologioita ja tekniikoita*

<b>TEKNOLOGIAT JA TEKNIIKAT</b> <b>Tienvarsivarastointi</b>
Ympäristön seurantateknologiat
Siirrettävät sääasemat
Puutavaran ominaisuuksien seuranta, mittaukset
Laatumuutosten seuranta, mittaukset
Kosteudenhallinta ja mittauslaitteet
Varastointimallit ja menetelmät
Laskentafunktiot
Informaatiojärjestelmät
Mittarit ja ennustemallit
Maaston ominaisuuksien mittaus
Pitkän aikavälin seurantatiedot
Analyysit kosteuden määrittämisessä
Puun mittaukset, esim. pinomittaus, kiintotilavuusmäärittäminen, yksikkötilavuudet
Ohjausjärjestelmät

*Tietotarpeita haketuksessa ja murskauksessa*

TOIMINTA	YMPÄRISTÖ	MATERIAALI
Aikaleimatiedot	Haketuksen sijainti (palsta, terminaali jne.)	Kosteus
- Hakkurin siirto ja säädöt, terien ja seulaparien vaihdot	- Maasto ja kantavuus	- Lämpötilat
- Haketuksen kokonaiskesto	- Tilantarve	- Uuteaineet
- Odotusajat	- Työympäristö	- Jäisyys
- Taakan syöttö ja vienti	- Hakkurin varoetäisyydet (lisätilantarve)	Palakoko
Puukasojen sijainnit	Vuodenaika	Haketettavan puutavaran laji
Haketuksen paikka toimitusketjussa ja tuotantoketjumalli	- Lumisuus	Puutavaran volyyymi
Polttoaineen kulutus	Sääolosuhteet	
Haketus vs. murskaus	- Seurantatiedot	
Puutavaran muoto ja laji sekä järeys	- Ennustemallit	
Puutavaran volyyymi	Tärinä	
Palakoko ja seula-aukon koko	Haketuspöly	
Olosuhteet		
Mahdollinen kuljetuskapasiteetti		
Kaluston maastokelpoisuus		

*Haketuksen ja murskauksen teknologioita ja tekniikoita*

<b>TEKNOLOGIAT JA TEKNIIKAT</b> <b>Haketus ja murskaus</b>
Hakkureiden säädöt
Palakoon määräytyminen
Kosteuden määräytyminen
Kalustovaihtoehdot
Ajanmittaus, aikaleimatiedot
Kokemustiedot ja epäsuorat menetelmät
EPPU-Energiapuulaskuri
Laatuohjeet
Laskentakaavat
Metsäkoneiden tietojärjestelmät
Muut ohjausjärjestelmät
Sääolojen seuranta
Henkilöstön suojarustus, esim. pölyltä suojaaminen

---

*Kaukokuljetukset*


---

*Tietotarpeita kaukokuljetuksissa; tietotarpeet keskittyvät erityisesti toimintaan liittyviin tietoihin*

TOIMINTA	YMPÄRISTÖ	MATERIAALI
Aikaleimatiedot	Olosuhteet	Laatutiedot
- Keräilyajo	- Teiden kunto	Kuorman koko ja kokonaisvolyymi
- Tyhjänä- ja kuormattuna-ajo	- Kelirikot	Tuoretiheysluvut
- Siirtymisajot ja varastoajo	- Urautuneisuus ja pehmeys	Tilavuustiedot
- Normaaliajo	- Kääntöpaikat	Kuljetettavat puutavaralajit ja muodot
- Kuormaus	- Tilatiedot metsässä	
- Eri työvaiheet	- Kuljetusverkot yleensä	
Ajonopeudet ja -etäisyydet	Kulutustiedot	
- Kuljetusmuotovaihtoehdot ja kalustovaihtoehdot	Säätiedot ja vuodenajat sekä mahdolliset jäätiet	
- Kuljetusmuotojen erityistarpeet	Päästöt	
- Reittitiedot		
- Paikkatiedot		
Punnitus ja akselimassat		
Kuljetettava määrä ja puutavaran lajit		
Mahdollisten lisävarusteiden tarve		
Kuljetuksen kesto ja saapumisaika-arviot		
Varastojen sijainnit, kääntöpaikat, jättöpaikat (kuormain ja perävaunu)		
Kuljetussuunnitelma		
- Reititys, tiestön ja siltojen kantavuudet		
- Ajorajoitukset		
- Mahdollinen auraus		
- Mahdolliset paluukuljetukset		

*Kaukokuljetusten teknologioita ja tekniikoita*

**TEKNOLOGIAT JA TEKNIIKAT**  
**Kaukokuljetukset ja terminaalit**

Kalustovaihtoehdot ja HCT
Peitteet ja lisävarusteet esim. CTI
Eri kuljetusmuodot
Kuormaimet ja tiedonsiirto
Paikkatietojärjestelmät, GPS ja ohjausjärjestelmä
Ajotietokoneet
Akselimassamittaus
Aikaleimatiedot
Mittavälineet, esim. vaakamitta/pinomitta
Laskentaohjelmat , funktiot ja simuloinnit
Terminaaliratkaisut ja automaatio
Laadunhallinta (erityisesti vesikuljetus)
Ympäristönhallinta- ja laadunhallintajärjestelmät
EPPU-Laskuri
Olosuhdeseuranta ja sääolot

---

### Loppukäyttö

---

*Tietotarpeita loppukäyttäjillä; materiaaliin- ja toimintaan liittyvät tiedot ovat loppukäyttäjän näkökulmasta jokseenkin päällekkäiset*

TOIMINTA	YMPÄRISTÖ	MATERIAALI
Käyttötarkoitus, laatuvaatimukset täytettävä	Päästöt ja ekologisuus, hiilidioksidi, hiilijalanjälki ja jätekeritymät	Mittaustiedot ja ominaisuustiedot riippuen puutavarasta
- Energiateollisuus	Aluetiedot	- Palakoko hakkeella
- Sahateollisuus	- Kunnossapidon tarve, Satamat ja raiteet	- Kosteus
- Sellun tuotanto	- Varastoalueet	- Kokotiedot: läpimitta, pituus
Vastaanottomittauksen tiedot	- Porttitoiminnan tiedot ja kulunvalvontatiedot	- Lujuus, suoruus ja muoto
- Massa, kosteus, ulkoiset ominaisuudet, lujuus jne.	- Turvallisuus	- Vähä- ja terveeksaisuus, tiheälustoinen sydänpuu,
- Kiintokuutiomäärä ja tuoreiheys, painotiedot, tilavuus	- Vesivarastotiedot	- Hidaskasvuisuus, pienoksaisuus ja sisäinen oksaisuus
Mittaukset tuotantoprosessin aikana, online-mittauksen tiedot	Sääolosuhteet	- Viilun laatu, puun pitkäkuituisuus
Puskurivaraston tilanne ja sijainnit	- Vaikutus varastoon	- Kuoreton latvaläpimitta ja kuoreton samankaltaisuus
Materiaalin ajoitus kaukokuljetuksilta	- Kunnossapidon tarpeen muutos	Volyyymi ja puutavaralajit

	- Haihdunta ja sadanta sekä kuivuminen	
--	--	--

*Loppukäyttäjien teknologioita ja tekniikoita*

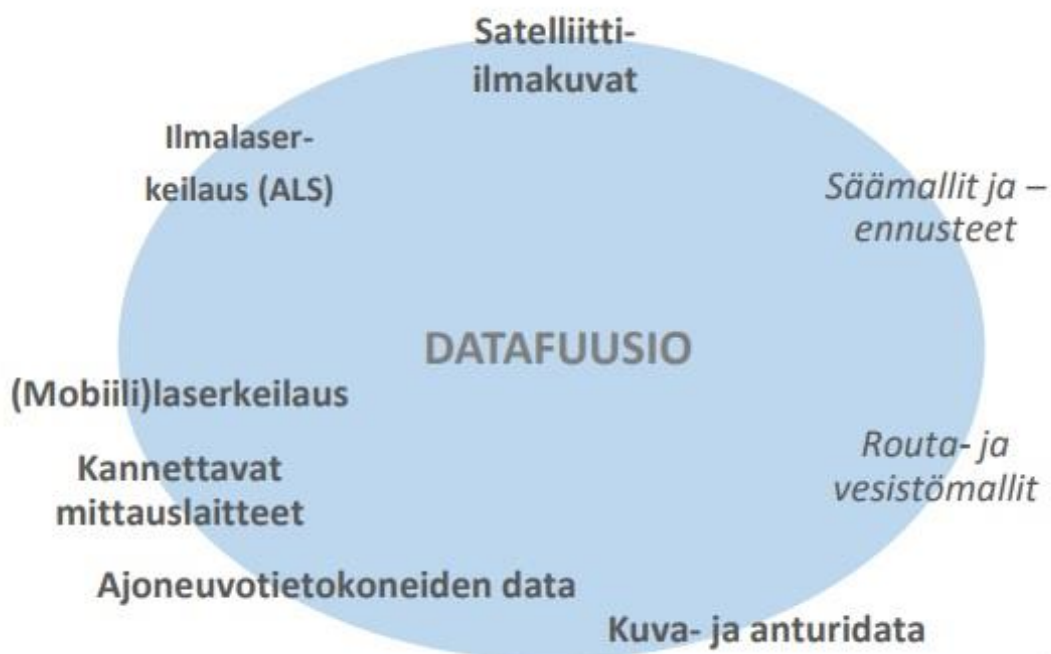
<b>TEKNOLOGIAT JA TEKNIIKAT</b> <b>Loppukäyttö</b>
Sisääntulotarkastukset (punnitus, muu mittaus, kosteusmittaus jne.)
Laadutusasemat ja laadunmääritys
Tuoretiheysluvut
Laserskannerit, röntgen, digitaalikuva
Dimensiolajittelu
Online-mittaukset
Päästöjen seuranta
Porttitoiminnot, valvonta ja turvallisuus
Kunnossapito
Lokerojakajat, pyörivät jakolaitteet
Anturitekniikat (esim. valoramppi)
Automaatio
Tiedonsiirtotekniikat

---

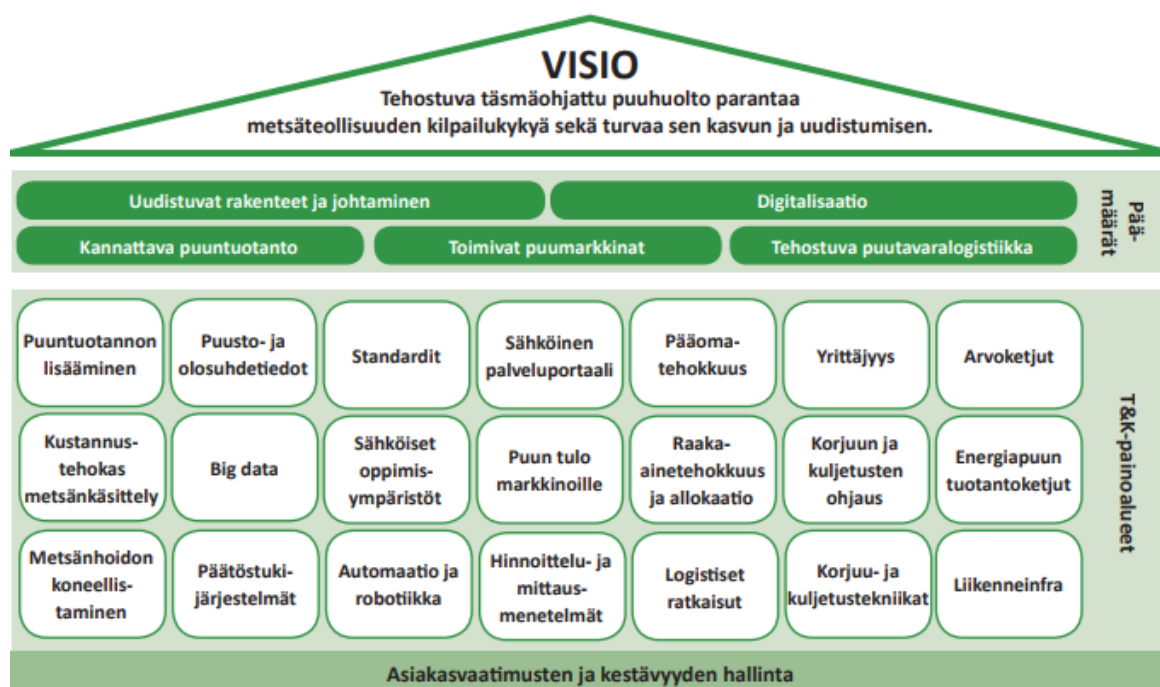
*Kehitykseen liittyviä aiheita*

---

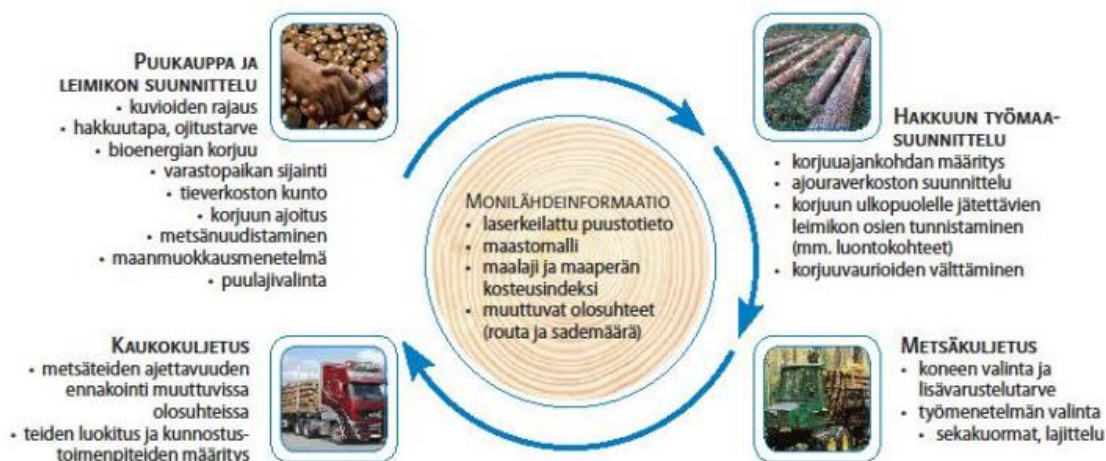
Puuhuollon päämääriä on kuvattu alla kolmella kuviolla. Datafuusion kuvaajalla kuvataan ohjausjärjestelmien avulla toteutettavaa tehokkaampaa toimintaa, jossa eri tietolähteiden tuottamat tiedot saatetaan yhteen. Tarkoituksena on helpottaa tiedonkäsittelyä ja tiedonhallintaa. Tietojen keskittäminen kuitenkin vielä vaatii tutkimustyötä ja tekniikkaan syventymistä.



Alla olevalla kuviolla kuvataan tärkeitä puuhuollon päämääriä lähitulevaisuudessa sekä tutkimuksen ja kehittämisen painoalueita. Digitalisaatio on suuressa roolissa lähitulevaisuuden kehityshaasteissa ja uusia teknologioita kaivataan suoritealalle.



Alla on esitetty monilähdeinformaation kuvaaja, jolla havainnollistetaan tietojen kokonaisuutta aiemmin esitetyn datafuusion tavoin. Tietoja tarvitaan kaikista puutavaran toimitusketjun toiminnoista. Monilähdeinformaatiolla tarkoitetaan useista eri lähteistä kerättyä dataa, jolla toiminnan ohjausta ja -suunnittelua voidaan parantaa.



### *Johtopäätöksiä ja pohdintaa*

Tietoja kerätään metsäbiomassan toimitusketjussa sekä automaattisesti, että tarkoituksenmukaisesti ohjattuna tietyistä kohteista. Vakiintuneina tiedonkeräysmuotoina ovat usein myös manuaalisesti tehtävät mittaukset. Automaattisesti tietoja kerätään toiminnan kannalta kriittisistä kohteista, mutta kehitysasteella olevan teknologian vuoksi kaikkia tietotarpeita ei voida vielä automaattisesti täyttää. Edelleen käytössä on laajasti perinteisiä tiedonhankinnan menetelmiä, jotka tuottavat tarvittavan tiedon. Perinteiset menetelmät ovat myös hyväksi todettuja, ja niiden täydellinen automatisointi ei välttämättä tule kysymykseen eikä se ole tarkoituksenmukaista. Tietojen keräämisessä tietyistä ilmiöistä ja toiminnoista tarvitaan soveltavia tutkimuksia, jotka keskittyvät vain kyseisen tietyn asian tutkimiseen. Lisäksi tietoja kerätään yleisesti käytettävissä olevista tietovarannoista ja järjestelmistä sekä erilaisten laskentamallien ja funktioiden avulla. Uuden tekniikan käyttöönotossa sovelletaan myös simuloimismalleja, joiden avulla menetelmien eroja voidaan hahmotella.

Jatkotutkimuksissa mielenkiintoisena osa-alueena ovat ainakin esineiden internet, Big Data ja digitalisaatio yleensäkin. Kyseiset aihe-alueet ovat laajoja pinnalla olevia tekniikan T&K-painoalueita. Myös opastavat tietojärjestelmät ja automaattiset tiedonkeräystekniikat metsäkoneiden yhteydessä ovat selkeitä lähitulevaisuuden teknologioita. Kaukokuljetuksissa todennäköisesti tärkeimmät tutkimuskohteet tulevat lähitulevaisuudessa olemaan normaalia raskaammat ajoneuvoyhdistelmät sekä infrastruktuuriverkon kehitys. Infrastruktuuriin sisältyvät erityisesti kuljetusverkot sisältäen raiteet sekä terminaalit. Loppukäyttäjän näkökulmasta mielenkiintoisia tutkimuskohteita ovat puutavaran online-mittauksiin liittyvät aihealueet ja erilaiset tiedonsiirtotekniikat.