

Energiapuun kuljetuskustannusten ja kuljetuskaluston vertailu –
case PUULOG

Pekka Erkkilä

Kaupan ja kulttuurin toimialan opinnäytetyö
Liiketalouden koulutusohjelma
Tradenomi

KEMI 2013

TIIVISTELMÄ

KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU

Koulutusohjelma:	Liiketalouden koulutusohjelma
Opinnäytetyön tekijä(t):	Pekka Erkkilä
Opinnäytetyön nimi:	Energiapuun kuljetuskustannukset ja kuljetuskaluston vertailu – case PUULOG
Sivuja (joista liitesivuja):	62 (16)
Päiväys:	2.12.2013
Opinnäytetyön ohjaaja(t):	Kirsti Ketola
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää energiapuun kuljetuskustannuksia ja vertailla sen kuljettamiseen käytettävää kuljetuskalustoa. Lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin hankintalogistiikan vaikutuksia kuljetuskustannuksiin. Työ tehdään Teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskuksen (TEKES) rahoittamalle PUULOG – Bioenergian hankintalogistiikka Pohjois-Suomessa -hankkeelle, joka toteutetaan yhteistyössä Oulun yliopiston, Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun ja eri yritysten kanssa.</p> <p>Käytin opinnäytetyössäni laadullista eli kvalitatiivista tutkimusmenetelmää. Tutkimuksessani keskityn selvittämään tutkimusongelmaa teorian ja haastatteluiden kautta. Teoreettinen tutkimusaineisto koostui aikaisemmista tutkimuksista ja selvityksistä, kirjallisuudesta ja lehtiartikkeleista. Hankkeen yhteistyöyrityksiä haastattelin teemahaastatteluilla. Teoreettinen viitekehys koostuu viidestä eri käsitteestä: logistiikka, energiapuu, hankinta, kustannustehokkuus ja kuljetus.</p> <p>Tutkimukseni osoitti, että energiapuun olomuoto vaikuttaa kuljetuskustannuksien syntyyn. Eri energiapuulajit vaikuttavat eri tavoilla kuljetuskustannuksiin, kuten myös se, mitä hankintaketjua käytetään. Hankintaketju määräytyy usein energiapuulajin mukaan ja kuljetusmatkan mukaan eli, kuinka kaukana tuotteen loppukäyttäjä sijaitsee. Hankintaketju ja energiapuulaji määrittävät, mitä kuljetuskalustoa ja/tai kuljetusketjuja voidaan käyttää kustannustehokkaasti.</p>	
Asiasanat: logistiikka, energiapuu, hankinta, kustannustehokkuus, kuljetus	

ABSTRACT

KEMI-TORNIO UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree programme:	Business Administration
Author(s):	Pekka Erkkilä
Thesis title:	Transportation costs of energy wood and comparison of transport equipment – case PUULOG
Pages (of which appendixes):	62 (16)
Date:	2.12.2013
Thesis instructor(s):	Kirsti Ketola
<p>The aim of this thesis was to find out transportation costs of energy wood and compare used transport equipments on energy wood's transportation. In addition there is observing effects of procurement logistics to transportation costs in the research. The research is made to Finnish Funding Agency for Technology and Innovation's (TEKES) financed PUULOG – Bioenergy Procurement Logistics in Northern Finland -project which is executed in collaboration with University of Oulu, Kemi-Tornio University of Applied Sciences and with different enterprises.</p> <p>I used qualitative research method in my thesis. In my thesis I focus to work out my research problem by theory and interviews. Theoretical research material consisted of earlier researches and reports, literature and articles. I interviewed the collaboration enterprises with theme interview. The theoretical framework consists of five different concepts: logistics, energy wood, procurement, cost efficiency and transportation.</p> <p>My research pointed out that the form of energy wood has an effect to build up of transportation costs. Different types of energy wood affects differently to transportation costs as does it what type of procurement chain is used. Procurement chain is determined often by energy wood type and by transportation distance or how far the end user is located. Procurement chain and energy wood type defined what kind of transport equipment and/or transport chain can be used cost efficiently.</p>	
Keywords: logistics, energy wood, procurement, cost efficiency, transportation	

Sisältö

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
1 JOHDANTO	6
1.1 Tutkimuksen tausta	6
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus	7
1.3 Keskeiset käsitteet	8
1.4 Tutkimusmenetelmät	9
1.5 Aikaisemmat tutkimukset	11
1.5.1 Leimikosta loppukäyttäjälle – Energiapuun toimitusketjun kehittäminen	11
1.5.2 Selvitys Keski-Suomen biomassakuljetusten logistiikasta	12
1.5.3 Puupolttoaineiden ja polttoturpeen kuljetuskalusto 2010	13
2 ENERGIAPUULOGISTIIKKA	15
2.1 Puutavaralogistiikka tehokkaammaksi	15
2.2 Metsähakkeen hankintaketju	16
2.2.1 Pienpuuhakkeen hankintaketjut	17
2.2.2 Hakkuutähdehakkeen hankintaketjut	18
2.2.3 Kantomurskeen hankintaketjut	18
2.3 Korjuupotentiaali	18
3 ENERGIAPUUN KULJETUS JA KULJETUSKALUSTO	20
3.1 Maantiekuljetukset	20
3.1.1 Hake- ja irtobiomassa-ajoneuvoyhdistelmätyypit	21
3.1.2 Puutavara-autot	23
3.2 Rautatiekuljetukset	24
4 KUSTANNUSTEN MUODOSTUMINEN JA KUSTANNUSVERTAILU	26
4.1 Kuljetuskustannuselementit	26
4.2 Metsähakkeen laatutekijöiden vaikutus	27
4.3 Hankintaketjujen ja energiapuulajien vaikutus kustannuksiin	30

4.4 Kuljetusmatka ja volyyymi	33
4.5 Kustannustehokkuuden parantaminen	34
4.5.1 Tiivistäminen ja kuormatilan kasvattaminen	35
4.5.2 Hyötykuormakoon kasvattaminen uusilla mitoilla ja massoilla	36
4.5.3 Komposiittikontit	37
5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	39
LÄHTEET	42
LIITELUETTELO	46

1 JOHDANTO

Vuonna 2008 valtioneuvosto hyväksyi uuden ilmasto- ja energiastrategian vuoteen 2020 ja sen päälinjauksin aina vuoteen 2050 asti. Strategian tavoitteena on kasvattaa uusiutuvan energian osuuden 38 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä EU:n komission Suomelle esittämän velvoitteen mukaisesti. Jotta saataisiin uusiutuvan energian lisäkäyttöä, on puuperäisen energian käyttöä lisättävä voimakkaasti. Nykytasosta tätä puuperäisen energian käyttöä pitää nostaa 2–3-kertaiseksi. (Hallitus tähtää energian kulutuksen vähentämiseen 2008, hakupäivä 22.2.2013.)

Puun käytön kasvamisen ja monipuolistumisen vuoksi raakapuun käytön uskotaan kasvavan nykyisestä 60 miljoonasta kuutiosta 65–70 miljoonaan kuution vuoteen 2020 mennessä. Ilmasto- ja energiastrategian ja uusien biojalostamohankkeiden vuoksi puuhakkeen käyttö kasvaa 13,5 miljoonaan kuutiometriin vuoteen 2020 mennessä. (Kohti tehokkaampaa puuhuoltoa 2012, hakupäivä 15.10.2013.)

1.1 Tutkimuksen tausta

PUULOG bioenergian hankintalogistiikka Pohjois-Suomessa -hankkeen tarkoituksena on kehittää, tutkia, analysoida ja kehittää puuperäisen energian, kuten puuhakkeen, hankintaketjun liiketaloudellisia ja logistisia toimintamalleja. Hanke tutkii myös näiden vaikutuksia suurille käyttöpaikoille toimitetun hakkeen toimitusvarmuuteen ja hankintalogistiikan kustannusten muodostumiseen Pohjois-Suomessa. (PUULOG -hanke, hakupäivä 22.2.2013.)

Logistiset ratkaisut hankintaketjussa määrittelevät pitkälti, kuinka oikea määrä oikeanlaista biopolttoainetta pystytään tehokkaasti toimittamaan asiakkaille. Logistinen tehokkuus vaikuttaa hankintaketjun kokonaiskustannuksiin ja energiataseeseen. Ympäristövaikutusten logistisessa ketjussa täytyvät olla pienemmät kuin uusiutuvan energian hyödyt. Sen takia hankintalogistiikkaa pitää tarkastella kokonaisvaltaisesti aina raaka-ainelähteiltä loppuasiakkaalle. Aikaisemmissa hankkeissa ei ole tarkasteltu systemaattisesti kaikkia ketjun eri toimijoiden näkökulmia, eikä myöskään toiminnallisia lähtökohtia ja tavoitteita. Niiden hahmottaminen ja analysointi luovat pohjan nykyisten ja uusien toimintamallien kehittämiseksi, ja sen kautta pystytään vahvistamaan bioenergian toimitusverkkoja. (PUULOG-hankesuunnitelma 2011, 1.)

PUULOG-hanke on Oulun yliopiston ja Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun yhteistyö, jossa on mukana myös useita yhteistyöyrityksiä. PUULOG-hankkeen yhteistyökumppaneita ovat Tornion Voima Oy, Kemin Energia Oy, Pohjaset Oy, Metsä- Kantola Oy ja Keminmaan Energia Oy. Hankkeen on rahoittanut TEKES/EAKR (Teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskus/Euroopan aluekehitysrahasto). PUULOG-hankesuunnitelma löytyy liitteenä (Liite 1).

Aihe on ajankohtainen ja tärkeä Pohjois-Suomessa. Täällä toimii useita bioenergiaa käyttäviä lämpölaitoksia, joista suurimpia ovat Oulun Toppilan alueen voimalat. Ne käyttävät pääpolttoaineena turvetta, mutta niidenkin puunkäyttö lisääntyy jatkuvasti. Kemin Ajokseen on haettu EU-komissiolta rahoitusta biodiesellaitoksen perustamiseen, jonka olisi tarkoitus aloittaa tuotanto vuosina 2015–2016. (PUULOG-hankesuunnitelma 2011, 1–2.)

Biopolttoaineiden kysyntä ja käyttö lisääntyy jatkuvasti Suomessa. Kun ulkomaisten fossiilisten polttoaineiden käyttöä koetetaan vähentää, niin biopolttoaineiden rooli kasvaa jatkuvasti. (Klemetti 2012, 7.)

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus

Tutkimuksessa keskitytään tarkastelemaan energiapuun rautateillä tapahtuvia pitkien välimatkojen kustannuksia, niihin liittyviä kalustoratkaisuja ja toisaalta maanteillä tapahtuvan kuljetuksen kustannuksia ja kalustoratkaisuja. Numeraaliset kustannukset ovat tutkimuksessa tärkeä lähtökohta, ja niiden vertailun kautta löydetään kustannustehokkaimmat ratkaisut. Tutkimuksen toinen painotus on vertailla kalustoja, jotta löydetään paras ratkaisu puuperäisenergian kuljettamiseen. Tehtävä kuuluu liitteessä 1 mainittuun WP 2 työpakettiin.

Tutkimuksessa ei kiinnitetä huomiota metsässä tapahtuviin tuotannollisiin kustannuksiin ja metsäkuljetuksiin, vaan ainoastaan kustannusten muodostumiseen, kun energiapuu kuljetetaan sieltä sen käyttökohteisiin. Kalustoratkaisuissa kiinnitetään ainoastaan huomiota tienvarresta lähtevien kuljetuksien kalustoratkaisuihin.

1.3 Keskeiset käsitteet

Tutkimuksen teoreettinen viitekehys liittyy energiapuun hankintalogistiikkaan, joten sen tärkeimmät käsitteet ovat hankintaketju ja -logistiikka, puuenergia ja energiapuu.

Hankintaketju ja -logistiikka koostuvat tavaran toimittajista tai hankkijoista, valmistajista, jakelijoista, jotka toimittavat raaka-aineen tai valmiin tuotteen asiakkaalle tai loppukäyttäjälle. Hankintaketju koostuu kolmesta erilaisesta virrasta – materiaali-, informaatio- ja rahavirrasta. Materiaali virtaa hankkijoilta ja valmistajilta jakelijoille ja jälleenmyyjille ja lopuksi asiakkaille. Tutkimuksessani keskitytään hankintaketjussa kahteen virtaan – materiaali- ja rahavirtaan. Materiaali- ja rahavirrat ovat yhteydessä toisiinsa. Rahavirtaan liittyy materiaalivirran kustannukset. (Pundoor & Herrmann 2004, hakupäivä 5.11.2013.)

Hankintaketjun hallinta on hankalaa, sillä siihen vaikuttavat kaikki siinä olevat tekijät, hankkijat ja niin edelleen. Ketjua pitääkin tarkastella ennemmin kokonaisena kuin sen yksittäisinä tekijöinä. (Pundoor & Herrmann 2004, hakupäivä 5.11.2013.)

Puuenergia on uusiutuvaa bioenergiaa ja sitä saadaan metsästä saatavasta puubiomassasta. Puunjalostusteollisuuden sivuvirtoja (kuorta, sahanpurua jne.) hyödyntämällä saadaan valtaosa puuenergiasta. Puuenergian osuus uusiutuvan energian tuotannosta oli vuonna 2008 76 prosenttia. Viides osa kaikesta Suomessa käytettävästä energiasta tuotetaan puuenergialla. (Puuenergia 2012, hakupäivä 20.9.2013.)

Energiapuuksi (toiselta nimeltään metsäenergia) voidaan päätehakkuissa korjata hakkuutähteitä ja kantoja tai nuorten metsien harvennusten yhteydessä rankoja tai kokopuuta, pienpuuta. Yleisimmin hakkuutähteeksi kuusikoissa kerätään puiden latvukset. (Energiapuu 2013, hakupäivä 2.10.2013.)

Pienpuuksi voidaan laskea rungot, joiden rinnankorkeus läpimitta on 4–9 senttimetriä. Sitä isommat puut lasketaan ainespuuksi. (Asikainen, Korhonen, Laitila, Nuutinen & Sikanen 2004, 7.)

Energiapuusta tehdyn hakkeen käyttö on kasvanut valtavasti viimeisen kymmenen vuoden aikana (Puuenergia 2012, hakupäivä 20.9.2013). Pienpuun osuus puuenergiasta oli vuonna 2012 noin 40 prosenttia (Yhä isompi osa energiapuusta pienpuuta 2012, hakupäivä 1.10.2013).

Tutkimuksessa käytettävät lyhenteet ja yksiköt

MWh – megawattitunti, energiayksikkö

i-m³ – irtokuutiometri (puuaines ei ole tiivistä vaan irtonaista, 1 i-m³ on 0,4 m³)

m³ – kuutiometri (tiivis puuaines, 1 m³ on 2,5 i-m³)

m³km – puutavaran kuljetussuorite (kuljetettava määrä x kuljetettava matka)

Puuaineen energiamäärät:

1 i-m³ on 0,8 MWh

1 m³ on 2 MWh (0,8 MWh x 2,5)

(Energiayksikköjä ja muuntokertoimia 2013, hakupäivä 7.11.2013.)

1.4 Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyössä käytetään laadullista eli kvalitatiivista tutkimusta. Kanasen (2010, 36) mukaan kvalitatiivinen tutkimus alkaa tutkimusongelmasta ja sen määrittelemisestä. Näitä kahta asiaa seuraa tutkimuskysymykset, joiden vastaus haetaan aineiston avulla.

Laadullisessa tutkimuksessa ilmiö on tutkimuksen keskipisteenä. Tämän tutkimusmenetelmän avulla määritellään ja hahmotetaan ilmiö, mitä tutkitaan. Kun ilmiötä ei tiedetä, niin silloin käytetään laadullista tutkimusta. (Kananen 2010, 37.)

Laadullisen tutkimuksen pääasiallinen instrumentti on tutkija. Hän kerää tietoa ja analysoi sitä, joista syntyy tutkimustulos (Kananen 2008, 25). Näillä perusteilla valitsin tutkimusmenetelmäksi laadullisen menetelmän, koska määrällisellä tutkimuksella ei löydy vastauksia tutkimusongelmaani.

Tutkimusstrategianani käytän tapaus- eli case-tutkimusta, sillä siinä tutkitaan yhtä tai useampia tapauksia. Tutkimusaineistona tässä toimii dokumentit, arkistot, aiemmat tutkimukset, haastattelut, omat havainnot ja niin edelleen. Lähteitä on lukuisia, mistä valita. Tutkimuksen tarkoituksena ei ole suoranaisesti kehittää tapauksen toimintaa vaan enemmänkin havainnoida sitä. (Kananen 2008, 84.)

Haastattelumenetelmänä käytin puolistrukturoitua haastattelua eli teemahaastattelua. Haastatteluaihealueet ja osittaiset kysymykset lähetettiin haastateltaville etukäteen. Haastattelurunko (liite 2) vaihteli hieman haastateltavien välillä. Aihealueet valittiin haastateltavien tietämys- ja osaamisalueen mukaisesti.

Teemahaastattelu on joustava ja osittain järjestelty haastattelutapa, mutta valitut teemat ohjaavat keskustelua. Puolistrukturoitu haastattelu sopii tilanteeseen, jossa on päätetty haluttavan tietoa tietyistä asioista, ja tämän vuoksi haastateltaville ei ole tarpeellista antaa kovin suuria vapauksia haastattelutilanteessa. (Puusniekka & Saaranen-Kauppinen, hakupäivä 24.10.2013.)

Haastattelut tapahtuivat syksyllä 2013. Ne toteutettiin ennalta sovittuina aikoina haastateltavien omissa tiloissa. Kaikki haastattelut nauhoitettiin ja litteroitiin, ja litteroinnit lähetettiin haastateltaville tarkistettavaksi, ettei ollut syntynyt väärinkäsityksiä.

Kemin kaupungin tekniseen lautakuntaan kuuluvaa maankäytön- ja mittaustoimen kaupungingeodeettia Tapani Onkaloa haastateltiin 19.9.2013 Kemin kaupungintalolla. Haastattelutilanteessa oli itseni lisäksi mukana PUULOG-hankkeeseen opinnäytetöitään tekevät Joonas Heiskari ja Miska Viholainen Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun liiketalouden koulutusohjelmasta. Haastattelu nauhoitettiin haastateltavan luvalla. Nauhoitus litteroitiin ja lähetettiin haastateltavalle tarkistettavaksi.

Kemin Energia Oy:n lämpöosaston päällikön Jani Peurasaaren haastattelu tapahtui 22.10.2013 Kemin energian toimitiloissa. Paikalla oli edellä mainittujen haastattelijoiden lisäksi PUULOG-hankkeeseen opinnäytetyötä tekevä Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun liiketalouden koulutusohjelman opiskelija Timo Kukkonen, sekä aman koulun ja PUULOG-hankkeen jäsenet, ohjaavat opettajat, Marita Wahlroos ja Kirsti Ketola. Kuljetus- ja logistiikka-alan Pohjaset Oy:n toimitusjohtajan Raimo Pohjasen haastattelu toteutettiin 28.10.2013 yrityksen toimitiloissa. Paikalla olivat kaikki edellä mainitut.

1.5 Aikaisemmat tutkimukset

Tutkimukseni aiheeseen liittyy jo aikaisemmin tehtyjä tutkimuksia. Tässä luvussa kerron kolmesta tärkeimmästä aiemmasta tutkimuksesta. Eero Klemetin vuonna 2012 julkaistu PUULOG Bioenergian hankintalogistiikka Pohjois-Suomessa 2012 -hankkeeseen tehty tutkimus, Leimikosta loppukäyttäjälle – Energiapuun toimitusketjun kehittäminen, antoi minulle lähtökohdan omaan tutkimukseeni. Hannu Lähdevaaran, Markku Paanasen, Varpu Savolaisen ja Antti Vanhalan tutkimuksen Mailta ja mannuilta, soilta ja saloilta – selvitys Keski-Suomen biomassakuljetuksen logistiikasta (2010) avulla, lähinnä sen Metsähakkeen logistiikka luvun kautta, tarkastelin hankintaketjuja ja kalustoratkaisuja. Tutkimus kuuluu Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja -sarjaan. Jarno Föhrin, Kalle Karttusen, Antti Korpilahden, Kari Palojärven ja Tapio Rannan Metsätehon tulostulosarjassa 2/2012 Puupolttoaineiden ja polttoturpeen kuljetuskalusto 2010 on kartoitettu kuljetuskalustoa. Kalustokartoitus tehtiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston hankkeessa ”Bioenergialogistiikan kehittäminen hyödyntäen ontelokomposiittirakenteisia siirtokontteja”. Sen kautta tarkastelin energiapuun kuljetuskalustoa maatiekuljetuksissa.

1.5.1 Leimikosta loppukäyttäjälle – Energiapuun toimitusketjun kehittäminen

Klemetin (2012) tutkimuksessa tarkastellaan terminaaliratkaisun toimintamallia laskennallisen simulointimallin avulla. Mallissa lähdetään siitä, että Pudasjärven alueelle tulee bioenergiaterminaali hakkeen loppukäyttöpaikan sijaitessa Oulussa. Tutkimuksen lopussa tarkastellaan myös tilannetta, jossa Kemin alueella olevan loppukäyttäjän myötä hakkeen kysyntä lisääntyisi. Mallissa tarkastellaan koko toimitusketjua aina hakkuualueilta loppukäyttäjälle saakka. Simuloinneissa keskeisiä toimituksiin ja kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä olivat muun muassa kuljetuskaluston koko ja hakkeen kosteus. Tutkimuksessa on loppukäyttäjäksi kuvattu energialaitosta, koska sen energiapuun kysyntä on tasaisempaa vuoden aikana kuin metsäteollisuuden.

Tutkimuksen mukaan hakkeen kosteuden alentamisella on suuri vaikutus ajoneuvoyhdistelmien kuljetuskykyyn ja kuljetettavan hakkeen määrään. Energiapuuterminaalin on oltava hyvällä sijaintipaikalla verrattuna energiapuun hankinta-alueeseen. Simulointien kautta tutkimuksessa todetaan, että kuljetuskalustot,

joiden tilavuus on $135 \text{ i-m}^3 - 150 \text{ i-m}^3$, ovat sopivan kokoisia 100 km kuljetuksiin. Kun kuljetettava määrä ja kysyntä kasvavat, silloin suuri lavatilavuus on selvästi tehokkaampi. Kuljetusmatkan kasvaminen vaikuttaa tutkimuksen mukaan autokohtaiseen käyttöasteeseen ja hyötysuhteeseen – 140 km – 180 km kuljetusetäisyys pienentää lavatilavuudeltaan suuren ajoneuvon hyötysuhdetta. Kuljetusten painorajoituksilla on ratkaiseva vaikutus. Hyötykuormaa saadaan nostettua, mutta toisaalta kaluston kokonaismassan nostaminen kasvattaa polttoaine- ja muita kustannuksia. (Klemetti 2012.)

Tutkimuksen mukaan kun kuljetusetäisyys on noin 100 km, 150 i-m^3 :n ja 175 i-m^3 :n kuormatilavuuksien välillä ei ole niin suurta merkitystä, että kannattaisi investoida suurempaan kalustoon. Metsähakkeen kysynnän kasvaessa asiaa voi harkita. Kun kuljetettava metsähake on kuivaa, saadaan säästöjä pitkillä kuljetusetäisyyksillä – mitä kuivempaa ja parempaa energia-arvoltaan se on, sitä kustannustehokkaampaa sitä on kuljettaa. (Klemetti 2012.)

1.5.2 Selvitys Keski-Suomen biomassakuljetusten logistiikasta

Lähdevaaran ym. (2010) tutkimuksessa selvitettiin bioenergian logistiikan kokonaiskuvaa eri materiaalien osalta (metsäbiomassat, turve, peltobiomassat). Tutkimuksessa tarkastellaan myös toimitusketjujen eroja ja kuljetusmuotoja ja -kalustoa. Metsäbiomassan käyttö sijoittuu Jyväskylän, Jämsänjokilaakson ja Äänekosken alueille. Metsäbiomassavarat eivät Jyväskylän ja sen lähialueella riitä, vaan sitä on tuotava kauempaa. Raakapuu ja hake ovat energiapuun olomuodot, joina sitä kuljetetaan käyttökohteisiin. Tutkimuksen mukaan hake valmistetaan pääosin tienvarsihaketuksena. Hake toimitetaan käyttökohteisiin erilaisten ketjujen kautta, ja niiden kokonaiskustannukset vaihtelevat.

Tutkimuksen mukaan hake valmistettiin pääosin autohakkurilla ja kuljetettiin käyttökohteisiin hakeautolla. Niin kutsuttua energiapuuautoa käytettiin raakapuun, eli kantojen, latvusmassan ja pienpuun kuljettamiseen. (Lähdevaara ym. 2010.)

Keski-Suomen alueelle on rakennettu ja edelleen rakennettiin tutkimuksen teon aikaan metsäbiomassaterminaaleja, jotka sijoituivat pääteiden ja rautateiden varsille. Terminaalin roolin odotettiin kasvavan hankintaketjussa, ja ne toimivat

toimitusvarmuuden parantajina metsäbiomassan käyttökohteille. Terminaalit olivat raaka-aineen käsittelypaikkoja, joissa luotiin isompia toimituseriä pienemmistä eristä, ja joissa raaka-ainetta murskattiin, haketettiin ja kuljetettiin eteenpäin. (Lähdevaara ym. 2010.)

Lähdevaaran ym. (2010) haasteena oli löytää ratkaisut raaka-aineiden saatavuuteen ja hallitsemaan niiden kysyntää. Kuljetusvälineitä oli saatavissa lyhyellä varoitusajallakin, jos kysyntä kasvoi. Vaihteleva kysyntä teki kalusto- ja terminaali-investoinnit mahdollisesti turhiksi. Kuljettajien saatavuus saattoi olla ongelma, jos kuljetusketjussa käytettiin ainoastaan maantiekuljetuksia. Hakkeen toimittajille haasteena oli, osattiinko valita eri toimitusketjujen toimitustapojen vaihtoehdoista paras. Hyvän energiapuun laadun saamiseksi oli tärkeää tutkimuksen mukaan, että asiakas ja toimittaja yhdessä ohjasivat toimituksia. Laadun ylläpito oli kaikkien toimijoiden etu. Haasteena tässä oli löytää kuljetuksen ja varastoinnin tasapaino.

1.5.3 Puupolttoaineiden ja polttoturpeen kuljetuskalusto 2010

Föhrin ym. (2012) kartoituksessa tavoitteena oli selvittää puupolttoaineiden ja turpeen kuljetuksessa käytettävien ajoneuvoyhdistelmien määrää ja niiden ominaisuuksia Suomessa. Tutkimuksessa biomassan suurimpien toimittajien kautta kyselyillä kartoitettiin kuljetusmäärät, ajoneuvoyhdistelmätyypit, kuormatilan koko, purkutapa ja tyhjäpaino.

Tutkimuksessa on eritelty suosituimmat ajoneuvoyhdistelmätyypit eri energiapuumuodoille, purkutavat ajoneuvoyhdistelmätyypeille, tilavuudet ja tyhjäpainot. Metsähakkeen tuotannon kalustotarpeeksi selvitettiin, että hakeajoneuvoja tarvittaisiin 100 kappaletta lisää vuonna 2020. Vuonna 2010 hakeautoja oli 150. Irtobiomassayhdistelmiä eli energiapuujoneuvoja tarvittaisiin 200 kappaletta lisää eli yhteensä 350 vuonna 2020. (Föhr ym. 2012.)

Ajoneuvokaluston valmistuksen kartoituksessa selvitettiin, että hake- ja turveajoneuvoyhdistelmiä valmistettiin vuosina 2005–2010 keskimäärin 66 kappaletta vuodessa. Samojen vuosien välillä täysperävaunuja valmistettiin 40 kappaletta vuodessa, eli keskimäärin 61 prosenttia hake- ja turveajoneuvoyhdistelmistä. Niiden valmistusmäärät vaihtelivat keskimäärin viisi prosenttia vuosittain. Energiapuujoneuvojen

valmistusmäärät olivat pieniä vuosittain ja ne vaihtelivat 6–20 kpl/vuosi vuosina 2005 – 2010. Puutavara-autoja oli käytössä yli 1500 kpl. (Föhr ym. 2012.)

Tutkimuksessa selvitettiin, että metsähakkeen ajoneuvoyhdistelmien valmistusmääriä pitää lisätä 20 kpl/vuosi, jotta vuoden 2020 käyttötavoitteeseen päästäisiin. Energiapuuautojen valmistusmäärien taas pitäisi olla 30 kappaletta vuodessa enemmän, kuin mitä se oli ollut. Tutkimuksessa päättelyissä todettiin, että komposiittikontti tuo etuja biomassan kuljetuksissa, mutta niiden markkinapotentiaali on Suomessa rajallinen huolimatta biomassan kasvutavoitteista. (Föhr ym. 2012.)

2 ENERGIAPUULOGISTIIKKA

Puuhuollon toimivuuden kannalta toimivaa infrastruktuuria voidaan pitää perusedellytyksenä. Puuta hankitaan ja kuljetetaan koko maan alueella. Kuljetusmatkat ovat viime vuosina pidentyneet, sillä metsäteollisuus on keskittynyt tietyille alueille. Tämän vuoksi puutavaravirrat ovat muuttuneet. Toisaalta uusien pienempien bioenergiapuun toimituspaikkojen ansiosta kuljetusmatkoja saadaan lyhennettyä. Kummankin kehityspiirteen vuoksi kuljetusväylien ja muun infrastruktuurin merkitys on korostunut huomattavasti. (Kohti tehokkaampaa puuhuoltoa 2012, hakupäivä 15.10.2013.)

Metsäteollisuus Ry:n ja Metsäteho Oy:n Kohti tehokkaampaa puuhuoltoa puutavaralogistiikka 2020- kehittämisvision ja T&K- ohjelman (2012, hakupäivä 15.10.2013) mukaan puutavaralogistiikka voidaan ymmärtää puuraaka-aineen toimitusketjun ja siihen liittyvien informaatiovirtojen hallinnaksi.

Koko puutavaralogistiikka Suomessa on tällä hetkellä murrosvaiheessa. Puutavaravirroissa tapahtuu muutoksia, joita ovat alueelliset muutokset sekä eri puutavaralajien kysyntään liittyvät muutokset. Energiapuun käyttö lisääntyy, biojalostamoihin investoidaan ja tuontipuumäärien oletetaan kasvavan. Nämä tekijät vaikuttavat puukuljetusten suuntiin. (Kohti tehokkaampaa puuhuoltoa 2012, hakupäivä 15.10.2013.)

Biojalostamoiden vaikutus puutavaralogistiikkaan on riippuvainen siitä, että tapahtuuko bioenergian tuotanto suurissa laitoksissa vai isossa joukossa hieman pienemmissä laitoksissa eri puolella Suomea (Kohti tehokkaampaa puuhuoltoa 2012, hakupäivä 15.10.2013.)

2.1 Puutavaralogistiikka tehokkaammaksi

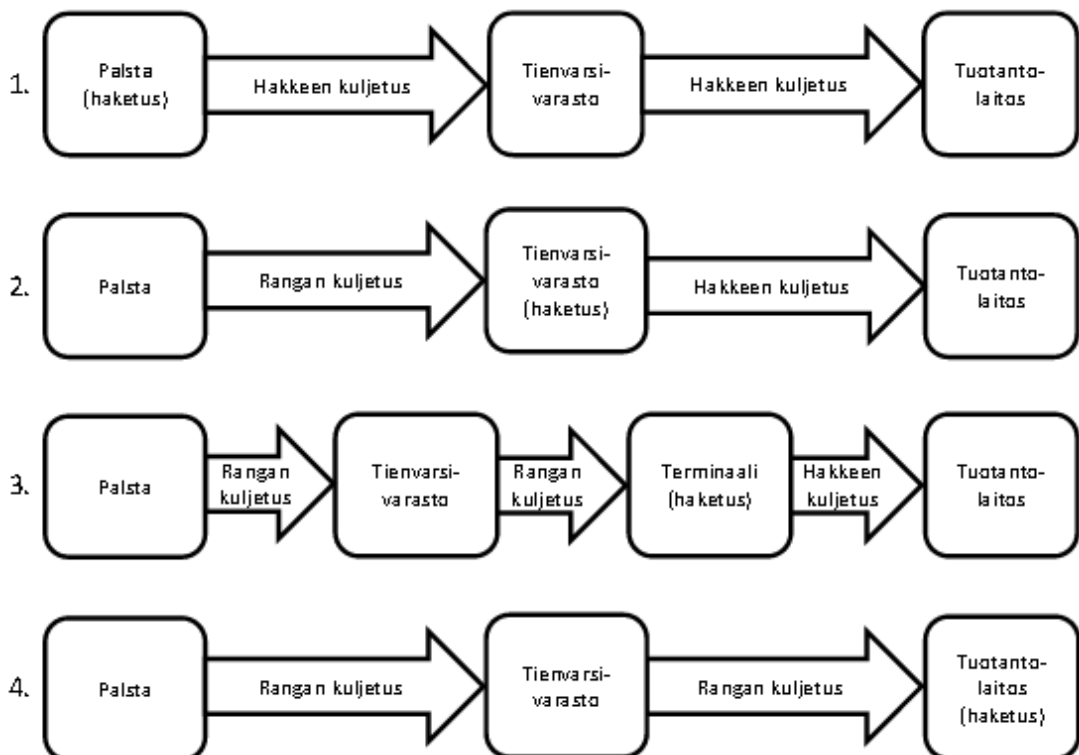
Vuonna 2012 puutavaralogistiikan kokonaiskustannukset olivat noin 1,2 miljardia vuodessa. Metsäteollisuus Ry:n ja Metsätehon Oy:n (Kohti tehokkaampaa puuhuoltoa 2012, hakupäivä 15.10.2013) mukaan logistiikan toimivuutta ja kustannuksia voidaan parantaa kehitystyöllä. Näin saadaan suomalaista metsäteollisuutta kilpailu-

kykyisemmäksi ja samalla ulkomaista tuontia vähennettyä. Sekä maantie- että rautatiekuljetusten osalta kustannuksia voidaan saada alas uusilla kalustoratkaisuilla.

Kummankin, aines- ja energiapuun, kuljetusten kustannus- ja energiatehokkuutta on mahdollista parantaa myös uusilla kuljetusratkaisuilla. Monissa käytännön organisaatioissa etsitään järkevää yhteistoiminnan konseptia yhdistetyn aines- ja energiapuun hankinnassa kuljetusmuotojen ja terminaalien välillä. (Anttila, Korpilahti & Väättäinen 2012, hakupäivä 15.10.2013.)

2.2 Metsähakkeen hankintaketju

Metsähakkeen hankintaketjuja on neljä erilaista kuvion 1 mukaisesti. Hankintaketju määräytyy sen mukaan, missä vaiheessa ketjua metsähakeraaka-aine (pienpuu, hakkuutähde tai kannot) haketetaan. Haketus voi tapahtua palstalla, tienvarressa, terminaalissa tai loppukäyttöpaikalla. (Kärhä 2009, hakupäivä 26.10.2013.)



Kuvio 1. Metsähakkeen hankintaketjut (Hakonen 2013, 22)

Palstahaketuksessa haketus tapahtuu palstahakkurilla. Hake kuljetetaan palstalta hakeautolla käyttöpaikalle. Tienvarsihaketuksessa hake toimitetaan kaukokuljetuksena

käyttöpaikalle. Terminaalihaketuksessa metsähakeraaka-aine kuljetaan terminaaliin, missä se haketetaan tai murskataan. Tämän jälkeen hake toimitetaan sieltä käyttöpaikalle maanteitse tai/ja rautateitse. Viimeisessä vaihtoehdossa eli käyttöpaikkahaketuksessa metsähakeraaka-aine kuljetetaan sinne ja haketus tapahtuu siellä. (Sandström 2013a, hakupäivä 27.10.2013.)

Tienvarsihaketus on 50–60 prosentin osuudellaan merkittävin metsähakkeen hankintaketju. Terminaalihaketuksen rooli on vähitellen kasvanut, ja vuonna 2012 se olikin toiseksi tärkein hankintaketju 22 prosentin osuudellaan. Klemetti (2012, 71) on todennut, että raakapuun kuljetusetäisyys terminaaliin ei saa olla yli 50 kilometriä. Käyttöpaikkahaketuksen osuus on laskeva – sen osuus on puolittunut muutamassa vuodessa 18 prosenttiin. Palstahaketusta ei käytetä Suomessa laajamittakaavaisessa metsähakkeen tuotannossa enää. (Sandström 2013a, hakupäivä 27.10.2013.)

Jokaisella hankintaketjulla on omat vahvuutensa ja heikkoutensa. Sen, millä hankintaketjulla haketta hankitaan, määrittävät Sandströmin (2013a, hakupäivä 27.10.2013) mukaan monet tekijät, kuten:

- korjuuolot
- tienvarsivarastotilat
- kuljetusmatkat
- lämpö- ja voimalaitosten käyttömäärät ja varastotilat
- saatavissa oleva tuotantokalusto
- hankittava metsähakejae (pienpuuhake, hakkuutähdehake, kantomurske)
- hankintaketjun kustannukset.

2.2.1 Pienpuuhakkeen hankintaketjut

Vuonna 2012 tienvarsihaketus oli yleisin pienpuuhakkeen hankintaketjuista, vaikkakin sen osuus on ollut viime vuosina laskeva. Kuitenkin sen osuus oli 69 prosenttia vuonna 2012. Terminaalihaketuksen osuus on ollut vuosina 2004–2011 keskimäärin 12 prosenttia. Vuonna 2012 sen osuus nousi 22 prosenttiin. Käyttöpaikkahaketuksen osuus vuonna 2012 pienpuuhakkeen hankintaketjussa oli yhdeksän prosenttia. Pienpuu kuljetetaan irtonaisena rankana tai kokopuuna terminaaliin tai käyttöpaikalle. (Sandström 2013a, hakupäivä 27.10.2013.)

2.2.2 Hakkuutähdehakkeen hankintaketjut

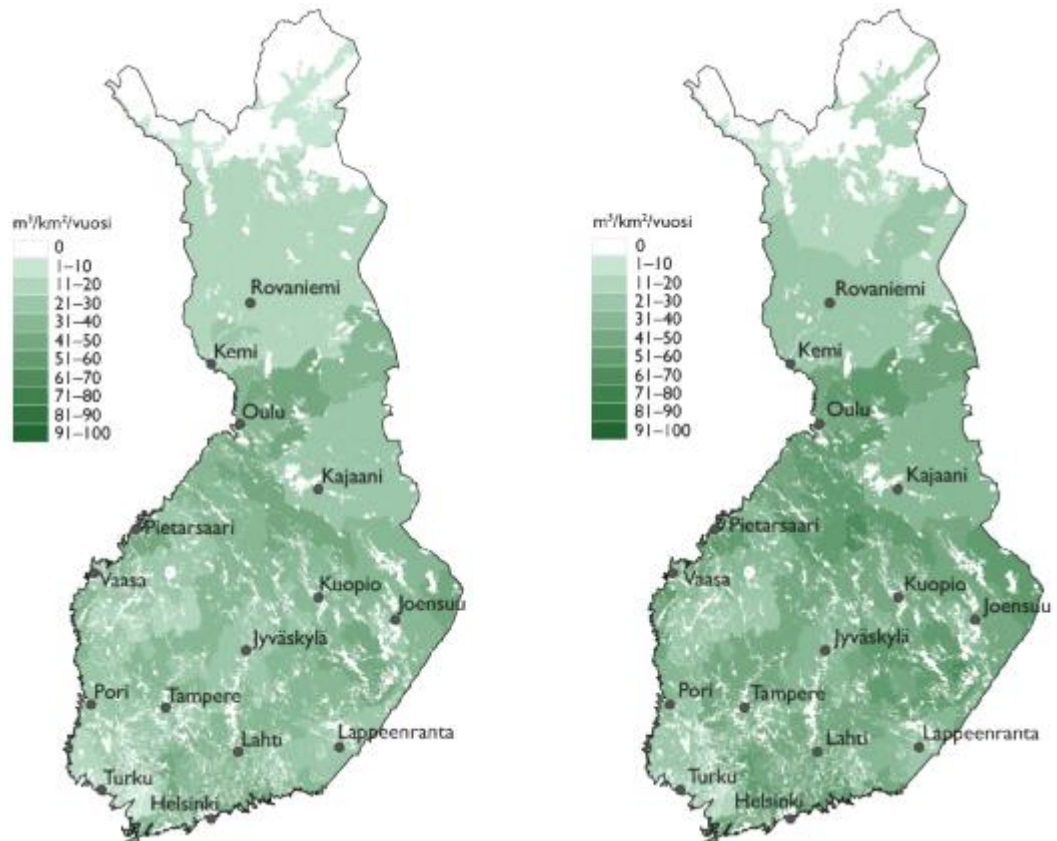
Kuten pienpuun haketuksessa, tienvarsihaketuksen rooli on hyvin suuri myös hakkuutähdehakkeen eli oksien, latvojen ja pienikokoisen raivauspuun hankinnassa. Vuonna 2012 75 prosenttia hakkuutähdehakkeesta hankittiin tienvarsihaketus-hankintaketjulla. Käyttöpaikkahaketuksen osuus on vuosina 2004–2011 vaihdellut noin kolmanneksesta kuudennekseen. Vuonna 2012 sen osuus oli 15 prosenttia. Noin kolme prosenttia hakkuutähdehakkeesta kuljetetaan paaleina käyttöpaikkahakemukseen. Terminaalihaketuksen osuus on ollut keskimäärin 11 prosenttia vuosina 2004–2011 ja vuonna 2012 sen osuus oli 10 prosenttia. Hakkuutähdehakkeen hankintaketjuissakaan ei käytetä palstahaketusta. Sitä on käytetty viimeksi vuonna 2004. (Sandström 2013a, hakupäivä 27.10.2013.)

2.2.3 Kantomurskeen hankintaketjut

Käyttöpaikkamurskauksen osuus on jatkanut laskua vuodesta 2005 lähtien. Vuonna 2012 se kuitenkin vielä säilytti asemansa suosituimpana kantomurskeen hankintaketjuna. Käyttöpaikkamurskauksen osuus vuonna 2012 oli 42 prosenttia. Terminaalimurskauksen osuus on kasvanut vuodesta 2005 vuoteen 2011, sen osuus kuitenkin laski seitsemän prosenttia vuodesta 2011 37 prosenttiin vuonna 2012. Tienvarsimurskaushankintaketju on kasvattanut osuuttaan vuodesta 2009 lähtien. Silloin sen osuus oli alle viisi prosenttia, mutta vuonna 2012 sen osuus oli jo 21 prosenttia. Osuus lähes kaksinkertaistui vuodesta 2011. (Sandström 2013a, hakupäivä 27.10.2013.)

2.3 Korjuupotentiaali

Kemi-Tornion seutukunnan alueella pienpuupotentiaali sekä rankana että kokopuuna on huono verrattuna Oulun seudun alueille. Kuvioista 2 nähdään, että pienpuuta joudutaan hankkimaan Kemi-Tornion alueen ulkopuolelta, sillä metsävarat alueella eivät riitä välttämättä useiden energiapuuta käyttävien lämpölaitoksien vuoksi. Kuviossa vasemmalla on pienpuupotentiaali, jos puun korjuu tapahtuisi rankana, ja oikealla pienpuupotentiaali, jos korjuu tapahtuisi kokopuuna. Kuvioista voidaan päätellä, että puunhankinta keskittyy Kemin eteläpuolelle.



Kuvio 2. Rangan ja kokopuun pienpuupotentiaali (Anttila, Nivala, Laitila & Korhonen 2013, hakupäivä 12.11.2013)

Kemin ajokseen mahdollisesti tuleva biodiesellaitos käyttäisi vuodessa 1,5 miljoonaa kuutiometriä puuraaka-ainetta (Myllylä 2012, hakupäivä 20.11.2013). Tämä saattaa aiheuttaa sen, että alueen nykyiset käyttäjät joutuvat hankkimaan puuta nykyistä kauempaa. Kemin Energian puuraaka-aineen hankintasäde on nykyään noin 80 km (Peurasaari 22.10.2013, haastattelu).

3 ENERGIAPUUN KULJETUS JA KULJETUSKALUSTO

Suomessa metsäenergiaa kuljetetaan lähinnä maanteitse ja rautateitse, pääosin kuitenkin autokuljetuksilla. Torvelaisen (2011, 207) mukaan 73 prosenttia kaikista energiapuun kaukokuljetuksista vuonna 2010 tehtiin autokuljetuksilla. Rautatiekuljetuksien osa kaukokuljetuksista oli 24 prosenttia. Loput kolme prosenttia tehtiin vesikuljetuksilla.

Kaikesta kuljetettavasta energiapuusta 73 prosenttia on suuri, sillä kaiken puutavaran kaukokuljetuksen tilastoitu suorite vuonna 2011 oli 7,1 miljardia m³km, josta maanteitse kuljetettiin 58 prosenttia. Rautatiekuljetussuorite oli 2,5 miljardia m³km eli 36 prosenttia. (Anttila ym. 2012, hakupäivä 15.10.2013.)

Raakapuu on Suomessa suurin yksittäinen rautateitse kuljetettava tavararyhmä. Sen osuus on kolmasosa kaikista rautateitse kuljetettavista tavararyhmistä. (Kohti tehokkaampaa puuhuoltoa 2012, hakupäivä 15.10.2013.)

Autokuljetus kuuluu olennaisesti molempien, rautatie- ja vesikuljetuksien, alku- ja loppukuljetuksiin. Näiden tekijöiden vuoksi autokuljetuksen kokonaismäärän osuus on todellisuudessa vieläkin suurempi (Hakonen 2013, 29). Rautatie- ja vesitiekuljetuksia lyhyemmistä kuljetusmatkoista johtuen myös Anttilan ym. (2012, hakupäivä 15.10.2013) mukaan maantiekuljetusten osuus kuljetetusta puumäärästä oli vielä suhteellisesti isompi kuin kuljetussuoritteen 73 prosenttia.

Rautatiekuljetusten varaan ei voida suunnitella vielä kattavia kuljetuspalveluja, koska sen infrastruktuuri ei ole valmis. Infrastruktuurin eli rataverkon rakentaminen tehdään pääosin julkisin varoin, ja rakennusjärjestys on suunniteltu tietyin tavoin. Kokonaisvaltainen kustannustarkastelu näyttää sen, että tälle kuljetusmuodolle siirtyy vähän metsäenergiaa/energiapuuta. (Lähdevaara, Paananen, Savolainen & Vanhala 2010, 72.)

3.1 Maantiekuljetukset

Suurimmat sallitut ajoneuvoyhdistelmät ovat 1.10.2013 lähtien painoltaan 76 000 kiloa, korkeudeltaan 4,40 metriä, leveydeltään 2,55 metriä (lämpöeristettynä 2,60 m) ja pituudeltaan 25,25 metriä. Aikaisemmin liikenteessä olleen ajoneuvoyhdistelmän

maksimipaino oli 60 000 kg ja maksimikorkeus 4,20 metriä. (Mitat ja massat muutoskatsastuksessa 2013, hakupäivä 17.10.2013.)

Käytännössä kuitenkin vanhojen ajoneuvoyhdistelmien painot kasvavat maksimissaan 64–68 tonniin, koska ajoneuvojen rekisteriin merkittyjä maksimipainoja ei saa ylittää. Rekoille on tehtävä erillinen muutoskatsaus ennen vanhojen rajojen ylitystä. (Luotola 2013, hakupäivä 17.10.2013.)

Ajoneuvoyhdistelmissä akselien määrä vaikuttaa kokonaispainoon. Niin sanotut 7-akseliset tukkirekat voivat nostaa yhdistelmän kokonaispainon 60 tonnista 64 tonniin. Tämä kasvattaa hyötykuorman määrää noin 10 prosenttia. 8-akselisen yhdistelmän maksimipaino on myös 64 tonnia, mutta paripyöräperävaunun kanssa se on 68 tonnia. 9-akselisen yhdistelmän maksimipaino on 69 tonnia ja paripyöräperävaunun kanssa 76 tonnia. Kaikkien näidenkin ajoneuvoyhdistelmien maksimipaino oli ennen 60 tonnia. Kuorma-autoille uudet enimmäismassat ovat 4-akseliselle 35 tonnia ja 5-akseliselle 42 tonnia. (Mitat ja massat muutoskatsastuksessa 2013, hakupäivä 17.10.2013.)

3.1.1 Hake- ja irtobiomassa-ajoneuvoyhdistelmätyypit

Suurin osa (66 %) hakeautoista on tilavuudeltaan 120–140 m³ ja tyhjäpainoltaan 20–25 tonnia (59 %). 60 tonnin painorajoituksessa etenkin kostean hakkeen kuljetuksissa ajoneuvoyhdistelmien painoraja täyttyi, jolloin pelkästään tilavuutta kasvattamalla ei saatu säästöjä kuljetuksessa. (Korpilahti 2012, hakupäivä 21.10.2013.)

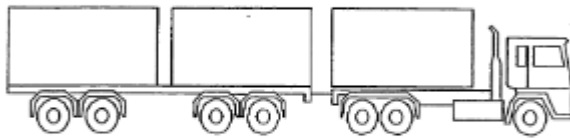
PUULOG -hankkeen yhteistyöyritys Pohjaset Oy käyttää hakkeen kuljetuksessa täysperävaunuyhdistelmiä, jotka on muutoskatsastettu 64 tonnin painorajoitukseen. Ne ovat pääsääntöisesti kahdeksan-akselisia, ja niiden tilavuudet ovat 130–155 i-m³. (Pohjanen 28.10.2013, haastattelu.)

Hakeajoneuvoyhdistelmiä on kolme eri tyyppiä. Selvästi suosituin näistä on täysperävaunuyhdistelmä, auton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmä, jonka käyttöosuus 89 on prosenttia. Yleisimmin ne ovat 7-akselisia autoja. Siirtokontin/vaihtolavan käyttöosuus on noin kahdeksan prosenttia ja puoliperävaunuyhdistelmän osuus kolme prosenttia. (Föhr, Karttunen, Korpilahti, Palojärvi & Ranta 2012, hakupäivä 21.10.2013.)

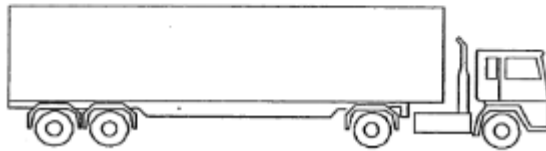
Hakeajoneuvoyhdistelmän yleisin purkutapa on peräpurku ketjupurkuna. Siinä kuormatila avataan perästä ja lattiassa olevien ketjujen avulla hake puretaan autosta. 65 prosenttia hakeajoneuvoyhdistelmän purusta suoritetaan näin. Sivukippi on vaihtoehtoinen purkutapa ja sitä käytetään 27 prosentissa puruista. Peräpurku kippaamalla on vähiten käytetty purkutapa, sen käyttö on kahdeksan prosenttia. (Föhr ym. 2012, hakupäivä 21.10.2013.)



Täysperävaunullinen hakeauto



Vaihtokonttihaakeauto



Puoliperävaunullinen hakeauto

Kuvio 3. Hakekuljetuksen ajoneuvoyhdistelmiä (Asikainen & Nuuja 1999, 484)

Täysperävaunuyhdistelmä (kuvio 3) on suosittu tilavuutensa ja monipuolisuutensa johdosta hakkeen ja irtopuun kuljetuksessa. Ne soveltuvat hyvin metsäteille ja pidempiin ajoihin. (Asunmaa 2011, 19.)

Uusien mittojen ja massojen kautta täysperävaunuyhdistelmien tilavuus kasvaa hieman. Yleinen ajoneuvoyhdistelmätyyppi on pituudeltaan 22–23 metriä, leveydeltään 2,55 metriä ja korkeudeltaan 4,2 metriä. Vetoauton tilavuus tällaisessa yhdistelmässä on 50 i-m³ ja perävaunun tilavuus taas 77 i-m³, joten tilavuus yhteensä on 127 i-m³. (Laakso 2012, hakupäivä 21.10.2013.)

Uusi korkeus on siis kasvanut 0,20 metrillä. Tämän myötä tilavuus esimerkin kaltaisessa täysperävaunuyhdistelmässä kasvaa noin kuudella irtokuutiometrillä 133 irtokuutiometriin.

Suurin osa irtobiomassayhdistelmistä, joissa kuljetetaan metsähakkuutähteitä, kuten oksia, on tilavuudeltaan yli 140 m³ (75 %) ja tyhjäpainoltaan yli 30 tonnia. Niissä hydrauliiikan avulla liikkuva kuormatila mahdollistaa suuren tilavuuden. Kuitenkin irtobiomassayhdistelmässä kuormatilan koko on rajoittavampi tekijä kuin kantavuus. Talvikausi lisää auton tyhjäpainoa 1000–1500 kg lumen ja jään vaikutuksesta. (Föhr ym. 2012, hakupäivä 21.10.2013.) Kuvassa 1 on irtobiomassayhdistelmä.



Kuva 1. Irtobiomassayhdistelmä (Föhr ym. 2012, hakupäivä 21.10.2013)

Irtobiomassayhdistelmissä ei käytetä puoliperävaunuja. Niissäkin täysperävaunua käytetään eniten (97 %). Kolme prosenttia on siirtokontti- tai vaihtolavayhdistelmiä. (Föhr ym. 2012, hakupäivä 21.10.2013.)

Irtobiomassayhdistelmissä käytetään kahta purkutapaa. Niissä purku tapahtuu pääosin ajoneuvon omalla kuormaimella (96 %). Peräpurkua kippaamalla käytetään todella harvoin. (Föhr ym. 2012, hakupäivä 21.10.2013.)

3.1.2 Puutavara-autot

Tyypillinen puutavara-auto on myös 7-akselinen täysperävaunuyhdistelmä, jossa autossa on kolme akselia ja perävaunussa neljä akselia. Tyypillinen puutavara-auton on kuvion 4 mukainen. Se on kokonaispituudeltaan noin 22,5 m (25,25 m sallittu), ja se on

suunniteltu kolmelle noin viiden metrin tavaraniipulle – auton kuormatilaan yksi nippu ja perävaunuun kaksi nippua. (Korpilahti, Kärhä, Peltola, Pennanen, Rieppo & Väkevä 2004, hakupäivä 22.10.2013.)



Kuvio 4. Puutavara-auto (Korpilahti ym. 2004, hakupäivä 22.10.2013)

Kun halutaan kuljettaa pitempiä matkoja, tulevat kahdeksan- ja yhdeksänakseliset autot kyseeseen. Tämä pätee myös hakkeen kuljetuksessa. Näillä voidaan kuljettaa raskaampia lasteja. Metsäenergian kuljetuksessa puutavara-autoja käytetään rankojen kuljettamisen lisäksi risutukkien ja kantojen kuljettamisessa.

Puutavara-auto voi olla umpilaidallinen tai avolaidallinen, kuten kuviossa 4, jolloin vaunun sivuissa on alumiinista tai teräksestä valmistettuja pankkoja. Pankoilla varustetulla ei voida kuljettaa karsimatonta pienpuuta eli kokopuuta, ellei sitä ole paalattu, sillä sen oksat eivät saa mennä reunojen yli. Kokopuun kuljetuksessa kuormakoko on noin 30 kuutiota 25,25 metriä pitkässä ajoneuvoyhdistelmässä. (Lähdevaara ym. 2010, 72.)

Kuviossa 4 näkyy kuormain, mutta auto voi olla ilman sitäkin, jolloin kuormapainoa saadaan nostettua. Kuormaimen avulla autoon lastataan pienpuut, risutukit tai kannot ja sitä käytetään myös kuorman purkamiseen. (Lähdevaara ym. 2010, 72.)

3.2 Rautatiekuljetukset

Metsästä korjattua energiapuuta voidaan kuljettaa monella eri vaunutyyppillä ja haketta kahdella vaunutyyppillä VR Cargon toimesta. Yleisavovaunu Hkb tai raakapuuvaunu sopii kuitupuun, karsimattoman pienpuun tai rangan kuljettamiseen. Hkb-tyypin vaunut sopivat energiapuun kuljetukseen hyvin, kun puu on pituudeltaan 2,5–3 metriä. Vaunujen hyötykuorma on tällöin 85–90 prosenttia sallitusta kantavuudesta. Perinteisten Sp-tyypin ainespuuvaunujen hyötykuorma jää 50–70 prosenttiin sallitusta kantavuudesta. (Lähdevaara ym. 2010, 75-76.)

Hakkeen kuljettaminen tapahtuu VR Cargon hake- tai turvevaunuilla. Hakevaunun tilavuus on noin 140 m³. Purkamisen kannalta hakevaunuja pidetään nykypäivänä kömpelöinä. Se tapahtuu nostamalla hakevaunun sivulaita ylös ja kaapimalla hake kauhalla pois kentälle. (Lähdevaara ym. 2010, 75.)

Vaihtokorivaunu, johon voidaan laittaa kolme vaihtokoria, on yksi vaihtoehto hakkeen kuljetukseen rautateitse. Vaihtokorit tyhjennetään kurotinrukin avulla, joka nostaa korin ja kaataa sen ylösalaisin. Sama voidaan tehdä myös konttinosturilla. Yhden vaihtokorin/kontin tilavuus on 46 m³, ja esimerkiksi 25 vaunun junaan saadaan 75 koria, jolloin yhteistilavuudeksi saadaan 3450 m³. (Lähdevaara ym. 2010, 75.)

4 KUSTANNUSTEN MUODOSTUMINEN JA KUSTANNUSVERTAILU

Tie-, rautatie, meri- ja sisävesikuljetuksilla on omat roolit puutavaran kuljetuksissa. Energiapuun kuljetuksessa toimitusvarmuus ja kustannukset ovat merkittävimmät kohdat, mitkä vaikuttavat kilpailukykyyn. Logistiikka on suuri kustannuserä metsäteollisuudelle, mihin myös bioenergia kuuluu. Kalustolla on suuri rooli kustannuksien muodostumisessa. (Kohti tehokkaampaa puuhuoltoa 2012, hakupäivä 15.10.2013.)

Vuonna 2012 puutavaralogistiikan kokonaiskustannukset olivat noin 1,2 miljardia euroa. Metsäteollisuus Ry:n ja Metsätehon Oy:n (Kohti tehokkaampaa puuhuoltoa 2012, hakupäivä 15.10.2013) mukaan logistiikan toimivuutta ja kustannuksia voidaan parantaa kehitystyöllä. Näin saadaan suomalaista metsäteollisuutta kilpailukykyisemmäksi ja samalla ulkomaista tuontia vähennettyä.

Puutavaran toimitusketjun kustannusjakaumassa suurin kustannuksia aiheuttava osa vuonna 2011 oli puunkorjuu. Se aiheutti 50 prosenttia toimitusketjun kustannuksista. Kaukokuljetusten osuus kaikista kustannuksista oli noin 40 prosenttia. (Kohti tehokkaampaa puuhuoltoa 2012, hakupäivä 15.10.2013.)

Tulevaisuudessa puun kuljetuskustannukset tulevat kasvamaan. Polttoaineen hinta on vaikutuksen alainen raakaöljyn hintaan ja nouseviin polttoaineveroihin. Anttilan ym. (2012, hakupäivä 15.10.2013) mukaan energiapuun osalta kuljetusmatkat pitenevät entisestään, sillä sen käyttömäärät kasvavat ja kilpailu lisääntyy.

4.1 Kuljetuskustannuselementit

Kuljetuskustannukset muodostuvat useasta eri elementistä. Ne voidaan ryhmitellä viiteen eri ryhmään: kuljetustyökustannukset, kuljetuskaluston kustannukset, kuljetusorganisaation kustannukset, tavarankäsittelykustannukset ja väyläkustannukset. Kuljetustyökustannuksiin kuuluu työvoimakustannukset. Työvoimakustannuksiin peruspalkan lisäksi kuuluu välilliset palkkakustannukset, jotka ovat vaihtelevia. Kuljetuskaluston kustannuksiin sisältyy kiinteät ja muuttuvat kustannukset, kuten kuljetusvälineen pääomakustannukset (kaluston hankinta) ja polttoainekustannukset.

Organisaation hallinto- ja yleiskustannukset kuuluvat kuljetusorganisaation kustannuksiin ja niitä ovat mm. johdon ja toimihenkilöiden palkat, toimitilojen kustannukset ja tietohallintokustannukset. Tavarankäsittelykustannukset taas muodostuvat muun muassa pakkaus- ja terminaalikustannuksista. Väyläkustannuksiin lasketaan tie- ja siltamaksuja sekä ratamaksuja. (Oksanen 2003, 43.)

Kuljetusyrityksessä muuttuvat kustannukset muuttuvat toiminta-asteen mukaan eli ajettujen kilometrien mukaan. Kiinteät kustannukset eivät ole riippuvaisia toiminta-asteesta vaan ajankulumisesta tai organisaatiosta. Kiinteitä kustannuksia voi olla myös toimitilan vuokrat ja eri vakuutusmaksut. (Hokkanen, Inkinen & Käenmäki 2011, 236.)

Ranka- ja hakeauton kuljettajan peruspalkka ammattikokemus huomioiden on 11,30–14,22 €/h (Metsäkonealan työehtosopimus 2011). Väkevän, Pennasen ja Örnin (2004, hakupäivä 12.11.2013) mukaan ranka- ja hakeauton polttoaineen kulutus kuormattuna on $83,554 \cdot \text{ajomatka}^{(-0,0857)}$ litraa/100 km. Sadan kilometrin matkalle pelkäksi polttoainekulutukseksi saadaan noin 63,67 litraa. Dieselin keskihinta Oulu–Tornio-välillä oli noin 1,495 €/l (Dieselin keskihinta 2013, hakupäivä 12.11.2013). Pelkiksi polttoainekuluiksi sadan kilometrin matkalle saadaan edellä olevien lukujen avulla 95 €/100 km. Työvoimakulut jäävät huomattavasti pienemmiksi kuin polttoainekulut tällaisessa yksinkertaistetussa kuljetuskustannusten muodostumiskatsauksessa. Kuorman paino vaikuttaa polttoaineen ja renkaiden kulutukseen. Muuttuvat kustannukset eli polttoaine-, korjaus-, huolto- ja rengaskustannukset, aiheuttavat huomattavan määrän kustannuksia kuljetusalalla.

Ihalainen ja Niskanen (2010, hakupäivä 12.11.2013) ovat tutkimuksessaan laskeneet hakeautolle ja puutavara-autolle käyttötuntikustannukset. Hakkeen kuljetukseen tarkoitetun täysperävaunuyhdistelmän, jonka hankintahinta on 230 000 € ja käyttöaste 90 prosenttia, käyttötuntikustannukseksi ajossa on saatu 71,4 €/h. Puutavara-auton ajon käyttötuntikustannus on 59,6 €/h, ja hankintahinta noin 220 000 €. Molempien tyyppien kuormauksen ja purun käyttötuntikustannus on 47–48 €/h.

4.2 Metsähakkeen laatutekijöiden vaikutus

Kuljetuskustannuksiin vaikuttavat suuresti energiapuun kuljetusmuoto, hankintaketju ja metsähakkeen laatutekijät. Hakkeen irtotiheys ja kosteus vaikuttavat kuorman

tilavuuteen, painoon ja kuljetettavaan energiamäärään. Irtotiheyteen vaikuttavia tekijöitä ovat kosteus, hakepalan muoto, hakkeen käsittely ja raaka-aine, mistä hake on tehty. Mitä kosteampaa hake on, sitä painavampaa se myös on. (Lähdevaara ym. 2010, 39.)

Taulukosta 1 selviää vasta kaadetusta puusta tehdyn hakkeen ominaisuudet haketyypeittäin.

Ominaisuus	Metsätähdehake	Kokopuu-hake	Rankahake	Kantohake	Puutähdehake
Kosteus-% (kaatotuoreena)	50 – 60	45 – 55	40 – 55	30 – 50	10 – 50
Irtotiheys saapumistilassa, kg/i-m ³	250 – 400	250 – 350	250 – 350	200 – 300	150 – 300

Taulukko 1. Haketyyppien irtotiheys ja kosteusprosentti (Eri puupolttoaineiden ominaisuuksien vertailu 2013, hakupäivä 30.10.2013)

Taulukoista 1 ja 2 näkyy kosteuden hakkeen kosteuden vaikutus kuorman painoon, tilavuuteen ja sen energia-arvoon. Mitä kosteampaa hake on, sitä korkeampi sen irtotiheyskin on. Alhaisella irtotiheydellä ja kosteusprosentilla kuorman tilavuus kasvaa, mutta kuorman paino laskee. Nämä vaikuttavat kuorman energiamäärän nousuun

Kosteusprosentti	Kg/i-m ³	i-m ³	Kuorma (kg)	MWh
50 %	354	99	35 000	78
40 %	295	119	35 000	98
30 %	253	127	32 131	109

Taulukko 2. Kosteuden vaikutus kuorman energia-arvoon ja painoon (Laakso 2012, hakupäivä 31.10.2013)

Hakeajoneuvoyhdistelmän, jonka painoraja on 68 000 kg, tyhjäpaino 25 000 kg ja tilavuus 140 m³, maksimikuormakooksi saadaan 43 000 kg. Taulukon 2 perusteella voidaan laskea esimerkki ajoneuvoyhdistelmälle suurin mahdollinen irtotiheys. 43 000kg/140 i-m³ on noin 307 kg/i-m³. Taulukon 2 mukaan, kun tämä luku (307 kg/i-m³) jää lukujen 295 (kosteusprosentti 40 %) ja 354 (kosteusprosentti 50 %) välille, niin hakkeen kosteuden voidaan arvioida olevan 40–45 prosenttia. Jos hake olisi kosteusprosenttiltaan 50, niin kuormakooksi tulisi 121 i-m³ (43 000kg/354 i-m³). Tällä kosteusprosentilla esimerkin hakeauton painoraja tulee vastaan. Kun yhden

irtokuutiometrin energiamäärä on noin, 0,8 MWh, niin 140 i-m³ kuorman energiamäärän voidaan laskea olevan 112 MWh (0,8 x 140 i-m³).

Taulukosta 3 ilmenee hakkeen kosteuden vaikutus hakekuorman massaan eri lavatilavuuksilla ja eri ajoneuvon omilla massoilla.

lavan tilavuus i-m ³	120	135	150
ajoneuvon oma massa + kosteus 45 %			
23000	57909	62273	66636
24000	58909	63273	67636
25000	59909	64273	68636
ajoneuvon oma massa + kosteus 40 %			
23000	55000	59000	63000
24000	56000	60000	64000
25000	57000	61000	65000
26000	58000	62000	66000
27000	59000	63000	67000
28000	60000	64000	68000
ajoneuvon oma massa + kosteus 35 %			
23000	52538	56231	59923
24000	53538	57231	60923
25000	54538	58231	61923
26000	55538	59231	62923
27000	56538	60231	63923
28000	57538	61231	64923
29000	58538	62231	65923
30000	59538	63231	66923

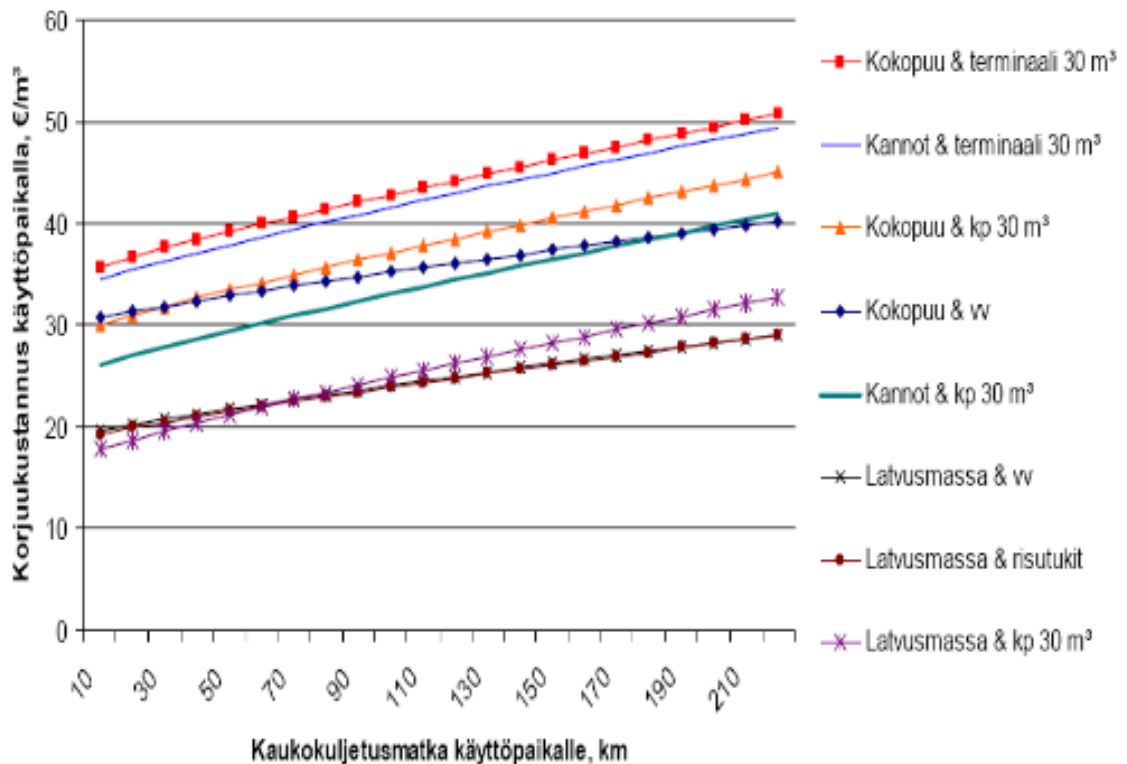
Taulukko 3. Kosteuden vaikutusta hakekuorman massaan eri lavatilavuuksilla ja erillä ajoneuvon omilla massoilla (Klemetti 2012, 54)

Taulukko 3 osoittaa, että uudet kaluston painorajat mahdollistavat kostean hakkeen kuljettamisen, vaikka kaluston oma massa ilman kuormaa olisi korkea. 28 tonnin ajoneuvon oma massa ja 150 i-m³ tilavuus mahdollistaa 40 prosenttia kosteudeltaan olevan hakkeen kuljetuksen, jos ajoneuvo on muutoksastastettu 68 tonniin. Kuviosta nähdään hyvin, kuinka kuivemmalla hakkeella ei saada painorajoja hyödynnettyä, varsinkaan uusien rajoitusten myötä. Vaikka ajoneuvo painaisi 30 000 ilman kuormaa,

sen tilavuus olisi 150 m^3 ja hakkeen kosteus 35 prosenttia, niin kokonaispainoksi saadaan vain noin 67 000 kg.

4.3 Hankintaketjujen ja energiapuulajien vaikutus kustannuksiin

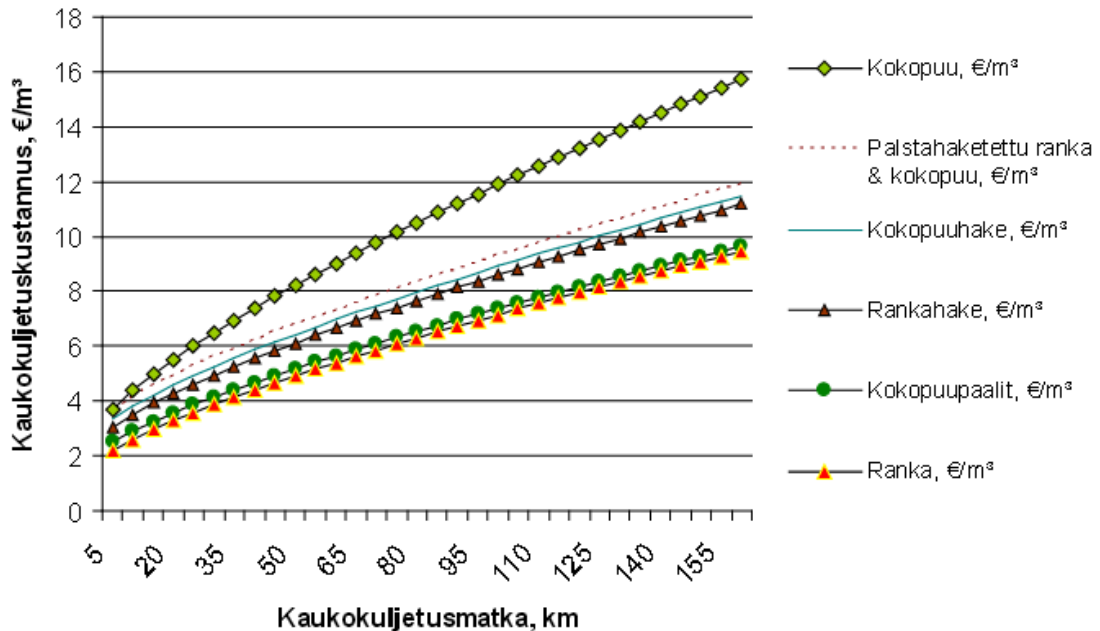
Kuviossa 5 tarkastellaan, kuinka metsähakelajit vaikuttavat kustannuksiin käyttöpaikalla. Niiden kaikkien kustannukset reagoivat erilaisilla kuljetusmatkalla.



Kuvio 5. Metsähakkeen korjuukustannus käyttöpaikalla kaukokuljetusmatkan, eri hankintamenetelmän ja metsähakelajin mukaan (Laitila, Leinonen, Flyktman, Virkkunen & Asikainen 2010, 67)

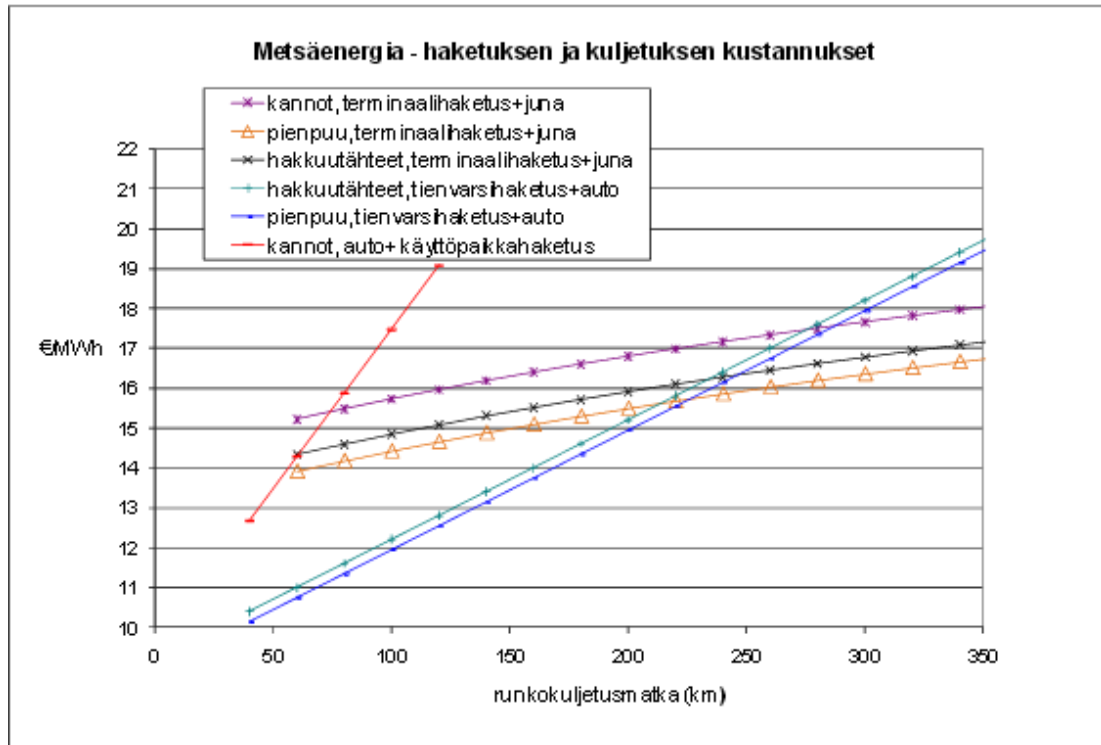
Kuvion 5 mukaan kokopuun terminaalihaketushankintaketju on kallein, sillä kokopuun kuljettaminen pitkiä matkoja maanteitse ei ole kannattavaa pienen hyötykuorman vuoksi. Kantojen kuljettaminen kokonaisena on kallista, koska niidenkin hyötykuorma jää pieneksi. Risutukit ovat kannattavin vaihtoehto, mutta ne vaativat investointeja, sillä niiden tekemiseen tarvitaan erityisiä laitteita.

Kuviossa 6 selvitetään pienpuun kaukokuljetuskustannuksia maanteitse riippuen eri energiapuulajeista. Siinä esitetään energiapuun hankinta- ja kuljetusketjun kustannukset kuljetusmatkan ja kuljetusvälineen kautta. Kustannukset sisältävät myös hankinnan yleiskustannukset.



Kuvio 6. Pienpuun kaukokuljetuskustannus olomuodosta riippuen (Laitila 2012, hakupäivä 7.11.2013)

Tämäkin kuvio (kuvio 6) tukee sitä, että pienpuun kuljettaminen kokopuuna on kallein kuljetusvaihtoehto. 100 kilometriin saakka kaikkien muiden energiapuumuotojen kuljetuskustannukset pysyvät alle 10 €/m³. Pienpuu on kustannustehokkainta kuvion 6 mukaan kuljettaa rankana tai kokopuupaaleina.



Kuvio 7. Energiapuun hankintaketju- ja kuljetuskustannukset (Iikkanen, Keskinen, Korpilahti, Räsänen & Sirkiä 2011, hakupäivä 31.10.2013.)

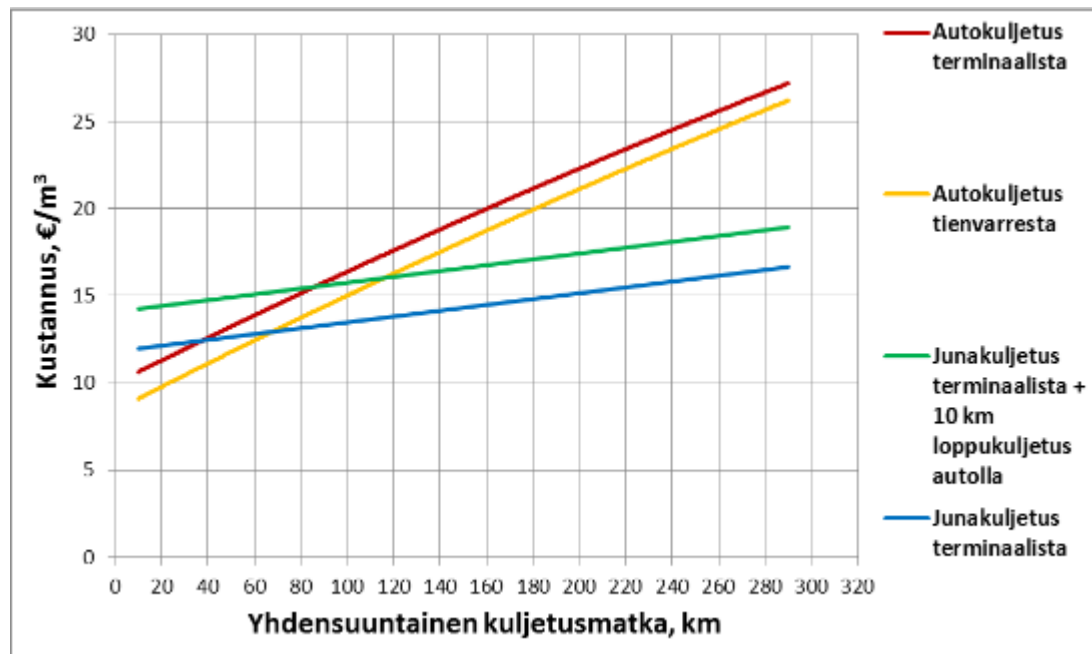
Hakettamattoman kannon kuljettaminen autoilla on pienpuun ja hakkuutähteiden kuljetusta kalliimpaa (kuvio 7). Tienvarsihankintaketju on kuvan mukaan kannattava vaihtoehto alle 200 km matkoille, sen jälkeen kustannukset nousevat huomattavasti. Tämä hankintaketju kilpailee tuohon kuljetusmatkaan asti tosissaan muiden hankintaketjujen kanssa.

Raakapuun keskilähetysmatka vuonna 2012 oli 163 km. Raakapuun maantiekeskilähetysmatka oli vuonna 2012 109 km ja rautatiekuljetusketjun keskilähetysmatka oli 325 km, josta noin 45 km oli keskimääräinen autokuljetusmatka rautatieasemalle, joten puhtaan rautatiekuljetuksen keskilähetysmatka oli 280 km. Autokuljetuksen keskimääräinen yksikkökustannus raakapuulle oli vuonna 2012 8,11 €/m³ (vuonna 2010 7,02 €/m³). Rautatiekuljetusketjun keskimääräinen yksikkökustannus oli 11,71 €/m³ (vuonna 2010 10,42 €/m³), mutta rautatiekuljetuksen kustannusosuus oli keskimäärin 6,62 €/m³ (vuonna 2010 6,38 €/m³). Kuljetusmatkat lyhenivät vuodesta 2010 vuoteen 2012 muutamilla kilometreillä. Kuljetuskustannukset raakapuun kuljetuksessa ovat kuitenkin nousseet. (Kariniemi 2011, hakupäivä 6.11.2013; Sandström 2013b, hakupäivä 6.11.2013.)

4.4 Kuljetusmatka ja volyyymi

Näillä kahdella tekijällä on tunnetusti suuri vaikutus hankintaketjun kustannuksiin – mitä pidempi kuljetusmatka, sitä suurempi polttoaineen kulutus ja kaluston huoltotarve. Rautatiekuljetukset reagoivat kuljetusmatkan pidentymiseen heikommin kuin maantiekuljetukset. Rautateillä kuljetettavat suuremmat volyymit eivät aiheuta pitkässä kuljetusmatkassa lisäkustannuksia niin voimakkaasti kuin maantiekuljetuksessa olevat pienemmät volyymit. (Hakonen 2012, 23.)

Kuviosta 8 näkyy, kuinka suuret volyymit kuukaudessa vaikuttavat autokuljetuskustannuksien nousuun kuljetusmatkan pidetessä ja puolestaan sen, että junakuljetukset eivät reagoi niin voimakkaasti matkan pidentymiseen.



Kuvio 8. Kuljetusmatkan vaikutus volyyymilla 15000 m³/kk energiapuuta ja 10 km alkukuljetusmatkalla (Hakonen 2013, 47).

Junakuljetus terminaalista tulee kuvion 8 mukaan 15000 m³/kk volyyymilla kannattavaksi autokuljetuksia vastaan viimeistään noin 70 km jälkeen. Autokuljetus terminaalista ei pysty kilpailemaan oikein millään lailla junakuljetusta terminaalista vastaan. Autokuljetus tienvarresta on yhtä kannattavaa verrattuna junakuljetukseen terminaalista, jossa 10 km loppukuljetus, n. 120 kilometriin saakka. Sen jälkeen yksikkökustannukset nousevat paljon suuremmaksi kuin junakuljetuksen.

Hakonen (2013, 37) on ottanut kuviossa 8 huomioon molempien kuljetusmuotojen kuljetus-kustannuselementit eli kuljetustyökustannukset, kuljetuskaluston kustannukset, kuljetusorganisaation kustannukset, tavarankäsittelykustannukset ja väylä-kustannukset. Esimerkiksi kuljetustyökustannuksissa Hakonen (2013, 37) on palkkalukuarvoiksi antanut ranka- ja hakeautonkuljettajalle 14 €/h ja veturinkuljettajalle 20 €/h. Välillisiksi palkkakustannuksiksi hän on arvioinut niiden olevan +68 prosenttia palkkakustannuksiin. Kuljetuskaluston kustannuksissa ranka-auton ja hakeauton hankintahinnat ovat 330 000 € ja 300 000 €. Hakeauton hankintahinta on 150 000 €. Simuloinnin kautta tutkija on päässyt kuvion 8 tuloksiin.

4.5 Kustannustehokkuuden parantaminen

Kuljetuskustannuksiin vaikuttaa suuresti volyymi. On tärkeää saada kuormatilat ja kuormatilavuus hyödynnettyä mahdollisimman hyvin. Energiapuun olomuoto ratkaisee suuresti kuljetettavan määrän.

Rautatiekuljetuksia täytyy kehittää ja tehostaa taloudellisesti kannattaviksi, jotta kustannustehokkuus saavutetaan. Junavaunujen kantavuutta (n. 60 t) ei saada hyödynnettyä kunnolla. Kuljetettaessa hakkuutähdepaaleja/risutukkeja ja kantoja kuormat ovat 20–30 tonnia per vaunu. (Ranta & Routa 2012, 187.)

Hakkeena kuljettaessa vaunujen kantavuus saadaan hyödynnettyä paremmin, sillä kuormat hakkeena ovat 40–50 tonnia per vaunu. Junakuljetuksen koon tulisi olla vähintään 10 vaunua eli 30 konttia. (Ranta & Routa 2012, 187.)

Rannan ja Roudan (2012, 187) mukaan Suomessa toimintaa rajoittavia tekijöitä ovat terminaali-alueiden puute, rajattu loppuasiakkaiden määrä, kilpailun puute rautatiemarkkinoilla ja vaunukaluston saatavuus. Vaihtokorivaunut ja niiden kontit ovat suhteellisen uusia menetelmiä rautatiekuljetuksissa. Konttilogistiikka kuitenkin mahdollistaa yhdistetyt kuljetusmuodot eli konttia voidaan siirtää kuljetusvälineestä toiseen. Näin voidaan yhdistää rautatie- ja maantiekuljetukset.

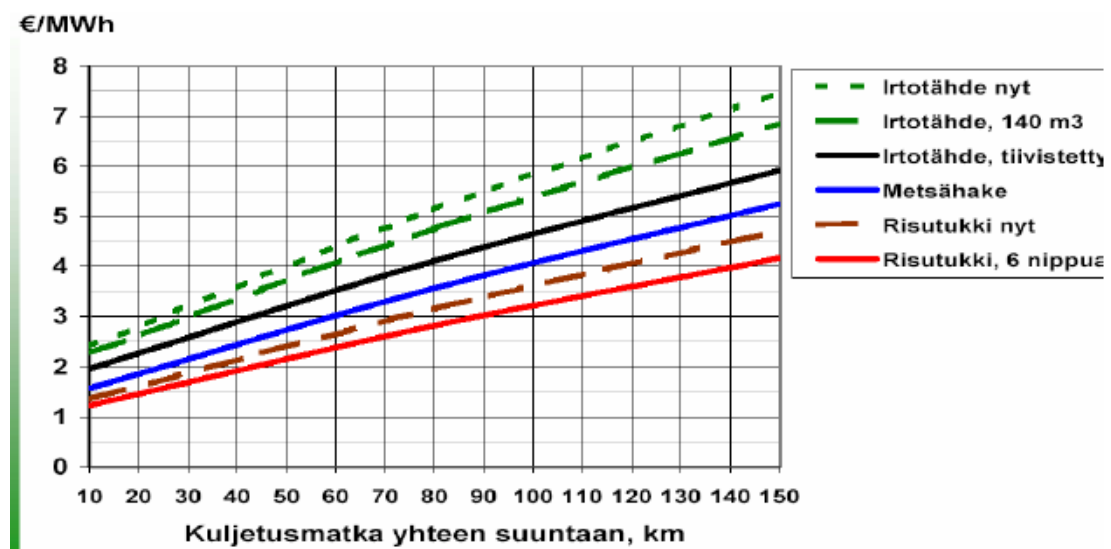
Yli 150–200 km auton ja junan energiapuun yhdistelmäkuljetuksessa, jossa autolla kuljetetaan 30 km, on kannattavampaa 150 km jälkeen kuin pelkkä autokuljetus. Tässä käytetään tienvarsihaketushankintaketjua. 180 km kohdalla autokuljetuksen kustannus

kuorman kokoon suhteen on noin 16 €/m^3 , kun taas yhdistelmäkuljetuksen kustannus on n. $14,5 \text{ €/m}^3$. Mitä pitempi alkukuljetus matka on, sitä pidemmän matkaa autokuljetus on yhdistelmä kuljetusta kannattavampaa. (Lähdevaara ym. 2010, 75–76.)

Rautatiekuljetusten kilpailukykyä voidaan parantaa myös kehittämällä ratojen ja ratapihojen teknisiä ominaisuuksia. Ratapihatoiminnoissa voidaan saada säästöjä hyödyntämällä radio-ohjattavia vetureita ja kaksitieajoneuvoja, jotka pystyvät kulkemaan raiteilla tai kumipyöriensä avulla raiteettomasti. Akselipainojen korotukset, ratojen sähköistämällä, junapituuksien ja liikennepaikkojen raidepituuksien kasvattaminen ovat keskeisiä keinoja, joilla saadaan kuljetuskustannuksia pienennettyä. (Iikkanen & Mukula 2010, 38.)

4.5.1 Tiivistäminen ja kuormatilan kasvattaminen

Kuviosta 9 näkyy, kuinka tiivistämällä irtotähteitä saadaan kuljetuskustannuksia alemmas maantiekuljetuksissa ja kuinka risutukit tämänkin kuvan mukaan ovat halvin kuljetusolomuoto irtonaiselle energiapuulle.



Kuvio 9. Tiivistämisen vaikutus kuljetuskustannuksiin (Kiema, Pasanen & Parviainen 2005, 29.)

Kuvion ”irtotähde nyt” on kuormatilavuudeltaan 124 m^3 (Kiema ym. 2005, 29). Kun kuormatila on 140 m^3 , irtotähteiden kuljettaminen 100 km matkalla on noin $0,5 \text{ €/MWh}$ kannattavampaa kuin 124 m^3 tilavuudeltaan olevalla kuormatilalla. Metsähakkeena kuljettaminen on irtotähteitä kannattavampaa. Tiivistetyssä irtotähteiden

tähdekuljetuksessa kuormatilan koko on myös 124 m³. Tiivistetyn irtohakkuutähteen kuljettaminen on noin. 1,3 € / MWh kannattavampaa kuin ilman tiivistystä 100 kilometrin matkalla, ja kannattavuus paranee matkan lisääntyessä verrattuna tiivistämättömään. (Kiema ym. 2005, 29.)

Tiivistäminen vaikuttaa hakkeen tai irtohakkuutähteen irtotiheyteen – mitä voimakkaammin ne iskeytyvät kuormaan, sitä tiheämpään ne asettuvat. Näin saadaan kuorman irtotiheyttä kasvatettua. Haketta voidaan tiivistää puhaltimien ja nosturin avulla. (Lähdevaara ym. 2010, 40.)

Irtotähdettä eli hakkuutähdettä tiivistetään pääasiassa nosturilla painamalla sitä kuormatilaa vasten. Paalaus on irtotähteen tiivistämiseen hyvä ratkaisu, varsinkin kun ne ovat oksia. Oksat saadaan kuormattua paalaamisen avulla tiiviiksi, mutta kuten mainittu, paalauksen tai risutuki teko vaativat kalustoinvestointeja ja se on aikaa vievää. Paalaimella voidaan käsitellä tietty määrä risua aikayksikköä kohti. (Kiema ym. 2005, 26.)

Risutukkien paalaus tapahtuu puristamalla irtohakkuutähteet paalaimella pyöreäksi tukinomaiseksi paaliksi. Niitä voidaan käsitellä normaaleilla puutavarakuormaimilla. Paalautapahtuma on edullisin silloin, kun hakkuutähde on tuoretta ja sen seassa on myös ohutta pienpuuta oksien lisäksi. Risutukki painaa keskimäärin 500 kg, ja sen sitomiseen käytetään 50–60 metriä narua. Paalaamisella saadaan parannettua hyötykuormaa ja pienennettyä tilantarvetta. (Kiema ym. 2005, 26.)

Kuorman tiivistämisen taloudellinen kannattavuus riippuu monesti kuljetusmatkasta. Jos käytetään esimerkiksi terminaalihaketusta ja kuljetusmatka sinne on suhteellisen lyhyt, ei ole kannattavaa alkaa paalata tai muuttaa irtohakkuutähteitä risutukeiksi.

4.5.2 Hyötykuormakoon kasvattaminen uusilla mitoilla ja massoilla

Raakapuun kuljetuksessa kuljetussuorite vuodessa seitsemänakselisella 60 tonnin kokonaispainon ajoneuvoyhdistelmällä on keskimäärin 35100 m³. Painorajoituksen nosto vaikuttaa huomattavasti kuljetussuoritteeseen sekä suhteelliseen yksikkökustannukseen. Kun 7-akselinen ajoneuvoyhdistelmä muutoskatsastetaan 64 tonniin, niin suorite nousee 38 100 kuutiometriin vuodessa. Kahdeksanakselisilla

yhdistelmillä päästään jo 40 200–41 200 m³/vuosi oleviin suoritteisiin. Yhdeksän akselisilla 74 tonnin tai 76 tonnin yhdistelmillä suoritteiksi saadaan 43 300 m³/vuosi ja 44 400 m³/vuosi. Kun 60 tonnin kokonaispainon omaavan yhdistelmän suhteellinen yksikkökustannus on 1,00, niin yhdeksänakselisen 76 tonnin yhdistelmän suhteellinen yksikkökustannus on 0,83. Kokonaispainon nostaminen nostaa suoritetta ja kuorman kokoa sekä alentaa suhteellista yksikkökustannusta. (Korpilahti & Koskinen 2012, hakupäivä 7.11.2013.)

Raakapuun kuormakoot kasvavat kokonaismassan noston kautta. Kokonaismassaltaan 60 000 kg ajoneuvoyhdistelmän kuormakoko on noin 46 m³. 64 tonnin yhdistelmän kuormakoko on raakapuun kuljetuksessa 50,5 m³. Kahdeksanakselisilla 68 tonnin ja 70 tonnin yhdistelmillä kuormakoot ovat 54 m³ ja 55,5 m³. Yhdeksänakselisilla ja 74–76 tonnin yhdistelmillä kuormakoko saadaan jo noin 60 m³. Hyötykuorman lisäys 76 tonnin kalustolla 60 tonnin kalustoon on noin kolmannes. Tämä tarkoittaa sitä, että kaksi autoa voi hoitaa saman kuormamäärän, joka ennen uusia painorajoituksia tehtiin kolmella autolla. (Korpilahti & Koskinen 2012, hakupäivä 7.11.2013.)

4.5.3 Komposiittikontit

Siirtokonttien avulla voidaan yhdistää ja integroida rautatie- ja maantiekuljetukset sujuvaksi kokonaisuudeksi. Pidemmän matkan hankintaketjussa rautatie-kuljetusketjun rooli nousee tärkeäksi – siirtokontteihin perustuvalla logistiikka-järjestelmällä saadaan parannettua myös toimitusvarmuutta. (Karttunen, Föhr, Lättilä, Korpinen, Knutas, Laitinen & Ranta 2013, hakupäivä 8.11.2013.)

Myös komposiittikonttien avulla saadaan parannettua hyötykuormaa. Ajoneuvoyhdistelmään mahtuu kolme konttia. Metallikontti painaa noin 3000 kg ja komposiittikontti painaa puolet siitä eli 1500 kg. Komposiittikonttien keveyden ansiosta hyötykuormaa voidaan lisätä 4500 kg. Intermodaalinen komposiittisiirtokontti, joka sopii sekä maantie että rautatiekuljetuksiin, on tilavuudeltaan 41,3 m³. Yhteistilavuudeksi maantiekuljetuksissa kolmella tällaisella kontilla saadaan 124 m³. Komposiittikonteilla voidaan saada jopa 20 prosentin kustannussäästöt, kun verrataan kiinteäkuormatilaiseen hakeautoon metsähakkeen maantiekuljetuksissa. Rautatiekuljetusketju nopeutuu myös, sillä kontti siirtyy nopeasti autosta raiteille verrattuna

rautatieasemalla tapahtuvaan energiapuun lastaamiseen kontteihin. (Karttunen ym. 2013, hakupäivä 8.11.2013.)

Konteissa voidaan hyödyntää myös RFID-teknologiaa, jonka avulla niistä saadaan paikkatietoja sekä lähtö- ja saapumisaikoja. RFID (Radio Frequency Identification) on yleisnimitys tekniikoille, jotka toimivat radiotaajuuksilla ja joita käytetään tuotteiden tai asioiden tunnistamiseen, havainnointiin ja yksilöintiin (RFID-tietoutta 2013, hakupäivä 25.11.2013). Kustannussäästöjä saadaan, kun kalustoa ja kontteja käytetään tehokkaasti. Näitä asioita voidaan seurata tämän teknologian kautta. (Karttunen ym. 2013, hakupäivä 8.11.2013.)

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Raskaan maantiekuljetuskaluston massoille ja mitoille tuli uusi asetus 1.10.2013. Asetuksessa kaluston painorajoituksia nostettiin ja mitat muuttuivat hieman. Tämä on vaikuttanut kuljetusalaan suuresti, sillä kuljetuskapasiteettia on saatu nostettua. Kuljetusyrittäjät ovat kuitenkin joutuneet miettimään, mikä on heille optimaalisin ratkaisu ja painoraja, sillä ratkaisut vaativat katsastuksia ja kalustoinvestointeja.

Kun mietitään ja valitaan energiapuun kuljetuskalustoa ja kuljetusvälinettä, pitää ottaa huomioon, millaista hankintaketjua käytetään. Kaikilla hankintaketjuilla sama kalusto ei toimi tehokkaasti ja tiettyä kuljetusmuotoa ei välttämättä voida edes käyttää. Hankintaketju täytyy valita sellaiseksi, jolla kalustoa pystytään hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti ja kannattavasti. Ratkaisu vaikuttaa huomattavasti kuljetuskustannuksiin. Toimijan täytyy osata arvioida tietylle energiapuun olomuodolle sopiva ja kannattava kuljetusmatka. Suuren tilavuuden vievä ja vähän painava energiapuu ei sovi kuljetettavaksi pitkille matkoille, koska hyötykuorma jää pieneksi. Aiemmillä painorajoituksilla ongelmana energiapuun kuljetuksissa oli, ettei auton painorajoituksia saatu hyödynnettyä kunnolla kevyen energiapuun kuljetuksessa, ja se vaikutti ja vaikuttaa kannattavuuteen huomattavasti. Uudet painorajoitukset ja kalustomitat helpottavat tätä.

Energiapuumuoto tai -laji vaikuttaa kuljetuskustannuksiin – tietty tyyppi ei välttämättä sovi pitkien matkojen kuljetuksiin pienen hyötykuorman vuoksi. Kannot ovat juuri kannattamattomin energiapuulaji pitkille matkoille. Jos niiden hankintaketjussa käytetään käyttöpaikkahaketusta, niin käyttöpaikan on sijaittava erittäin lähellä kantojen hankintakohdetta. Mitä tiiviimmin energiapuun saa kuljetettua, sitä kannattavampaa se on. Esimerkiksi pienpuurangan ja kokopuun kuljetuskustannukset poikkeavat suuresti toisistaan, sillä ranka menee pienempään tilaan ja sitä kautta hyötykuorma saadaan suuremmaksi verrattuna kokopuuhun.

Kuljetuskannattavuuden kannalta tiivistäminen on tärkeää varsinkin pitkillä matkoilla. Tiivistäminen kasvattaa irtotiheyttä ($\text{kg}/\text{i-m}^3$). Matkan kasvaessa tiivistäminen näkyy kuljetuskustannuksissa – ne ovat pienemmät kuin tiivistämättömän. Hakkeen tiivistämisessä käytetään pääasiassa kuormaimen kauhalla tiivistämistä, mutta uusia menetelmiä, kuten puhallinta, käytetään ja on kehitteillä. Irtohakkuutähteiden

risutukeiksi paalaus on kuljetuksien kannalta erittäin järkevä vaihtoehto. Irtohakkuutähde on huomattavasti kannattavampaa kuljettaa paalattuna kuin irtonaisena, ja risutukkien kuljettamisessa voidaan käyttää perinteisen rankapuun kuljettamisessa käytettävää puutavara-autoa.

Energiapuun ja varsinkin hakkeen kosteus vaikuttaa kuljetettaviin määriin ja niiden energia-arvoihin. Kun hake on kuivaa, painorajat eivät tule niin nopeasti vastaan ja samalla kuormankoko on suurempi tilavuudeltaan. Hakkeen kosteusprosentti vaikuttaa tuotteen arvoon, ja ostajat maksavat usein energia-arvon mukaan. Mitä isompi lämpöarvo kuljetettavalla tuotteella on, sitä arvokkaampi rahassa se myös on.

Hyötykuorman kasvattaminen parantaa kuljetuksen kannattavuutta. Kuljetuskaluston omaa painoa alentamalla kuorman painoa saadaan nostettua. Kevyet ontelokomposiittikontit mahdollistavat kaluston painon alenemisen jolloin kuorman painoa saadaan nostettua. Kuljetustoiminnassa niillä saadaan kustannushyötyjä verrattuna perinteisiin ja paljon käytettyihin metallikontteihin.

Pitkillä matkoilla maantiekuljetukset eivät pysty kilpailemaan rautatiekuljetusten kanssa, varsinkaan silloin, kun puhutaan suurista kuljetettavista volyymeistä energiapuulajista riippumatta. Matkan kasvaessa maantiekuljetuksissa kustannukset kasvavat voimakkaammin kuin rautatiekuljetuksissa. Terminaalihankintaketjussa, jossa kuljetus terminaalista loppukohteeseen on erittäin pitkä, tämä tulee selvästi ilmi.

Pitkissä kaukokuljetusmatkoissa näiden kahden kuljetusmuodon yhdistäminen tai integroiminen tulee kuitenkin huomioida. Kun alkukuljetusmatka autolla rautatieterminaaliiin on lyhyt, yhdistelmäkuljetukset nousevat kannattaviksi 150 km matkan jälkeen verrattuna tienvarsihaketukseen perustuvaan maantiekuljetukseen. Yhdistelmäkuljetuksissa konttilogistiikan käyttö on tehokasta. Kontit saadaan purettua autosta junaan nopeasti, ja aikaa ja rahaa säästyy verrattuna siihen, että rautatieterminaalissa irtohake lastattaisiin junan vaunuihin kuormaimella.

Kemi-Tornion alueelle joudutaan hankkimaan energiapuuta kauempaa, jos alueelle tulee uusi, iso energiapuuta käyttävä toimija. Hankinta-alueen kasvun myötä kuljetusmatkat kasvavat ja sitä myöten myös kuljetuskustannukset. Hankinta-alue pysyy kuitenkin sellaisena, että maantiekuljetukset sopisivat parhaiten jo olemassa oleville toimijoille.

Hankintaketjua täytyy kuitenkin miettiä tarkasti, jotta kuljetuskustannukset saataisiin optimoitua parhaimmalla mahdollisella tavalla.

Tulevaisuudessa vielä isompia ja raskaampia kalustoja saatetaan nähdä teitten päällä Suomessa, varsinkin puutavarakuljetuksissa. Niiden hyötykuormat voivat olla nykyisen maksimipainorajoituksen luokkaa, ja ajoneuvolla voi olla pituutta yli 30 metriä. Se mahdollistaisi yhden noin 4,5 metrin tavaraniipun lisäämisen. Nämä jättiläiset saattavat olla seuraava kehitysaskel maantiekuljetuksissa energiapuun ja puutavaran kuljettamisessa.

Uusien massojen ja mittojen vaikutuksista energiapuun kuljettamiseen ja kuljetusmatkaan ei ole vielä paljon uutta tietoa ja uusia tutkimuksia, sillä asetusmuutos tapahtui niin vasta. Tämä vaikeutti hieman tutkimustani, ja jouduin käyttämään melko paljon tietoa ja tutkimuksia energiapuun maantiekuljetuksista, jotka oli tehty ennen uusia asetuksia. Uudet tutkimukset uusilla massoilla ja mitoilla olisivat olleet tervetulleita.

Tutkimukseni aiheen sisäistäminen ja energiapuulogiikan ymmärtäminen oli aluksi hankalaa ja vaati syvää tutustumista aiheeseen. Sopivan aineiston ja aikaisempien tutkimuksien löytäminen aiheeseeni oli työlästä ja aikaa vievää. Löysin kuitenkin ajan kanssa paljon tietoa ja useiden aikaisempien tutkimusten kautta hahmotin tutkimustulokseni ja vertailut.

Tutkimukseni aihe oli ajankohtainen ja osa tätä isoa hanketta (PUULOG), ja näiden seikkojen kautta oli mielenkiintoista tehdä tätä tutkimusta. Mielenkiintoista oli selvittää kannattavuusrajoja ja vertailla kuljetuskustannuksia eri energiapuutyypeille, hankintaketjuille ja kuljetusmuodoille.

LÄHTEET

- Anttila, Perttu & Korpilahti, Antti & Väätäinen, Kari 2012. Puutavaran maantiekuljetusten kehittämisspyrkimyksiä Suomessa ja Ruotsissa. Metsätieteen aikakauslehti 3/2012. Hakupäivä 15.10.2013.
<<http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff12/ff123179.pdf>>
- Anttila, Perttu & Nivala, Mikko & Laitila, Juha & Korhonen, Kari T. 2013. Metsähakkeen alueellinen korjuupotentiaali ja käyttö. Metlan työraportteja 267. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos. Hakupäivä 12.11.2013.
<<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp267.pdf>>
- Asikainen, Antti & Korhonen, Kari T. & Laitila Juha & Nuutinen, Yrjö & Sikanen, Lauri 2004. Pienpuuhakkeen tuotannon kustannustekijät ja toimituslogistiikka. Metlan työraportteja: 3. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos.
- Asikainen, Antti & Nuuja, Jaakko 1999. Palstahaketuksen ja hakkeen kaukokuljetuksen simulointi. Tutkimusartikkeli. Metsätieteen aikakauskirja 3/1999, 484.
- Asunmaa, Mikko 2011. Energiapuun autokuljetuskalusto. Opinnäytetyö. Rovaniemen ammattikorkeakoulu, Rovaniemi.
- Dieselin keskihinta 2013. Hakupäivä 12.11.2013.
<http://tankkaus.com/fills/average_price>
- Energiapuu 2013. Metsäkeskus. Hakupäivä 2.10.2013.
<<http://www.metsakeskus.fi/energiapuu>>
- Energiayksikköjä ja muuntokertoimia 2013. FINBIO Ry. Hakupäivä 7.11.2013. <<http://www.finbioenergy.fi/default.asp?SivuID=9205>>
- Eri puupolttoaineiden ominaisuuksien vertailu 2013. FINBIO Ry. Hakupäivä 30.10.2013. <<http://www.finbio.fi/default.asp?sivuID=9210>>
- Föhr, Jarno & Karttunen, Kalle & Korpilahti, Antti & Palojärvi, Kari & Ranta, Tapio 2012. Puupolttoaineiden ja polttoturpeen kuljetuskalusto 2010. Metsätehon tulosalvosarja 2/2012. Hakupäivä 21.10.2013.
<http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2012_02_Puupolttoaineiden_ja_polttoturpeen_kuljetuskalusto_ak_ym.pdf>
- Hakonen, Tuomas 2012. Rautateissä potentiaalia metsäenergiakuljetuksiin. Bioenergia-lehti 5/2012. 23.
- Hakonen, Tuomas 2013. Bioenergiaterminaalien hankintaketjujen kannattavuus eri kuljetusetäisyyksillä ja -volyymeilla. Pro gradu -tutkielma. Oulun yliopisto, Oulu.
- Hallitus tähtää energian kulutuksen vähentämiseen ja uusiutuvien energialähteiden osuuden voimakkaaseen kasvuun 2008. Työ- ja elinkeinoministeriön uutiskirje 6.11.2008. Hakupäivä 22.2.2013.
<http://www.tem.fi/index.phtml?93150_m=93158&s=2999>
- Hokkanen, Simo & Inkinen, Markku & Käenmäki, Jouko 2011. Tavaraliikenneyrittäjä. 35. painos. Jyväskylä: Kopijyvä Oy.
- Ihalainen, Tanja & Niskanen, Antti 2010. Kustannustekijöiden vaikutukset bioenergian tuotannon arvoketjussa. Metlan työraportteja 166. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos. Hakupäivä 12.11.2013
<<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2010/mwp166.pdf>>
- Iikkanen, Pekka & Keskinen, Sirkka & Korpilahti, Antti & Räsänen, Tapio & Sirkkiä, Aki 2011. Energiapuuvirtojen valtakunnallinen optimointimalli. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 25/2011, Helsinki. Hakupäivä 31.10.2013.
<http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2011-25_energiapuuvirtojen_valtakunnallinen_web.pdf>

- Iikkanen, Pekka & Mukula, Mika 2010. Rataverkon tavaraliikenne-ennuste 2030. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 37/2010, Helsinki. Hakupäivä 30.10.2013. <http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2010-37_rataverkon_tavaraliikenne-ennuste_web.pdf>
- Kananen, Jorma 2008. KVALI. Kvalitatiivisen tutkimuksen teoria ja käytänteet. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja -sarja. Jyväskylän yliopistopaino.
- Kananen, Jorma 2010. Opinnäytetyön kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja -sarja. Tampereen yliopistopaino.
- Kariniemi, Arto 2011. Puunkorjuu ja kaukokuljetus vuonna 2010. Metsätehon tulosalvosarja 10a/2011. 18.7.2011. Hakupäivä 6.11.2013. <http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2011_10a_Puunkorjuu_ja_kaukokuljetus_vuonna_2010_aka.pdf>
- Karttunen, Kalle & Föhr, Jarno & Lättilä, Lauri & Korpinen, Olli-Jussi & Knutas, Antti & Laitinen, Tuuli & Ranta, Tapio 2013. Metsähakkeen logistiikka komposiittirakenteisilla siirtokonteilla. Metsätehon tulosalvosarja 1/2013. 10.1.2013. Lappeenranta: Lappeenrannan yliopisto. Hakupäivä 8.11.2013. <http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2013_01_Metsahakkeen_logistiikka_komposiittirakenteisilla_siirtokonteilla_kk_ym.pdf>
- Kiema, M & Pasanen, K & Parviainen, J 2005. Bioenergian logistiikka. Loppuraportti. iEnvironment2-BIOLOG. Kuopion yliopisto, Ympäristötieteiden laitos, ympäristöinformatiikka.
- Klemetti, Eero 2012. Leimikosta loppukäyttäjälle - energiapuun toimitusketjun kehittäminen. PUULOG bioenergian hankintalogistiikka Pohjois-Suomessa. Taloustieteiden tiedekunta. Oulun yliopisto.
- Kohti tehokkaampaa puuhuoltoa 2012. Metsäteollisuus Ry & Metsäteho Oy. Puutavaralogistiikka 2020- kehittämissuunnitelma ja T&K- ohjelma. Hakupäivä 15.10.2013. <<http://www.metsateollisuus.fi/mediabank/462.pdf>>
- Korpilahti, Antti 2012. Puupolttoaineiden ja polttoturpeen kuljetuskalusto 2010 sekä hakeautojen kustannuslaskuri. Metsätehon tiedote 2/2012. Hakupäivä 21.10.2013. <<http://www.metsateho.fi/tiedotteet/tiedote?id=27312846&year=2012%20%3Cbr%3E>>
- Korpilahti, Antti & Koskinen, Olavi H. 2012. Puutavaran autokuljetus tehokkaammaksi. Metsätehon tulosalvosarja 1/2012. Hakupäivä 7.11.2013. <http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2012_01_Puutavaran_autokuljetus_tehokkaammaksi_ak.pdf>
- Korpilahti, Antti & Kärhä, Kalle & Peltola, Janne & Pennanen, Olavi & Kaarlo, Rieppo & Väkevä, Jouni 2004. Puutavara-autojen rakenne ja omamassat 2003. Metsätehon tulosalvosarja 4/2008. Hakupäivä 22.10.2013. <http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2004_08.pdf>
- Kärhä, Kalle 2009. Supply chains of forest chip production in Finland. Metsätehon tiedote. Hakupäivä 26.10.2013. <http://www.metsateho.fi/files/metsateho/tiedote/Tiedote_19_2009_1_2_Proceedings_Supply_chains.pdf>
- Laakso, Markus 2012. Terawatti: Metsäenergiaa. Kotimaiset Energiat 6.11.2012. Hakupäivä 21.10.2013. <http://biosaimaa.fi/wp-content/uploads/2012/11/Terawatti_metsaenergiaa_MarkusLaakso_KotimaisetEnergiaOy.pdf>

- Laitila, Juha & Leinonen, Arvo & Flyktman, Martti & Virkkunen, Matti & Asikainen, Antti 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. VTT tiedotteita. Espoo: VTT.
- Laitila, Juha 2012. Kokopuuta, rankaa, latvussmassaa & kantoja – teknologisia ratkaisuja energiapuun hankintaan. Bioenergiaa metsistä – tutkimusohjelman loppuseminaari. Metsäntutkimuslaitos, Itä-Suomen alueyksikkö, Joensuun toimipaikka. 19.4.2012 Helsinki. Hakupäivä 7.11.2013.
<http://www.metla.fi/tapahtumat/2012/bio-loppuseminaari/pdf/BIO_19-4-2012_08-Laitila.pdf>
- Luotola, Janne 2013. Jättirekat pääsevät liikenteeseen tänään. Tekniikka & Talous 1.10.2013. Hakupäivä 17.10.2013.
<<http://www.tekniikkatalous.fi/Liikenne/jattirekat+paasevat+liikenteeseen+tanaan/a934815>>
- Lähdevaara, Hannu & Paananen, Markku & Savolainen, Varpu & Vanhala, Antti 2010. Mailta ja mannuilta, soilta ja saloilta. Selvitys Keski-Suomen biomassankuljetusten logistiikasta. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 107, Jyväskylä.
- Metsäkonealan työehtosopimus 2011. Finlex. Hakupäivä 12.11.2013. <<http://www.finlex.fi/data/tes/stes3722-MU23Metskonuusvers1103.pdf>>
- Mitat ja massat muutostarkastuksessa 2013. Trafi. Hakupäivä 17.10.2013.
<http://www.trafi.fi/tieliikenne/katsastukset/mitat_ja_massat_muutostarkastuksessa>
- Myllylä, Ismo 2012. Biodieselhanke etenee. Vapoviesti – Vapo-konsernin asiakaslehti 1/2012. Hakupäivä 20.11.2013.
<<http://www.vapoviesti.fi/index.php?id=1186&articleId=405>>
- Oksanen, Reijo 2003. Kuljetusten toimintolaskennan sovellukset ja toteutus. Tutkimusraportti. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 17/2003. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö.
- Peurasaari, Jani, lämpöosaston päällikkö, Kemin Energia Oy. Haastattelu 22.10.2013.
- Pohjanen, Raimo, toimitusjohtaja, Pohjaset Oy. Haastattelu 28.10.2013.
- Pundoor, Guruprasad & Herrmann, Jeffrey W. 2004. A hierarchical approach to supply chain simulation modeling using the Supply Chain Operations Reference model. Inderscience Enterprises Ltd. Hakupäivä 5.11.2013
<http://www.isr.umd.edu/Labs/CIM/SC_Simulation/IJSPM.pdf>
- Puuenergia 2012. Motiva.. Hakupäivä 20.9.2013<http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/puuenergia>
- PUULOG-hanke 2012–2013. Taloustieteiden tiedekunta. Oulun yliopisto. Hakupäivä 22.2.2013.
<http://www.taloustieteet oulu.fi/tiedekunta__tutkimus/yksikot/markkinointi/logistiikka/puulog>
- PUULOG-hankesuunnitelma 2011. Taloustieteiden tiedekunta. Oulun yliopisto, 17.10.2011.
- Puusniekka, Anna & Saaranen-Kauppinen, Anita 2013. KvaliMOTV – menetelmäopetuksen tietovaranto. Yhteiskuntatieteellinen tietoarasto. Hakupäivä 24.10.2013. <http://www.fsd.uta.fi/metelmaopetus/kvali/L6_3_3.html>
- Ranta, Tapio & Routa, Johanna 2012. Energiapuun rautatiekuljetuksissa kehittämispotentiaalia – tutkimuksia Suomesta ja Ruotsista. Metsätieteen aikakauskirja 3/2012.
- RFID-tietoutta 2013. RFIDLab Finland Ry. Hakupäivä 25.11.2013.
<<http://www.rfidlab.fi/rfid-tietoutta>>

- Sandström, Markus 2013a. Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa vuonna 2012. Metsätehon tulosalvosarja 4/2013. Hakupäivä 27.10.2013.
<http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2013_04_Metsahakkeen_tuotantoketjut_2012_ms.pdf>
- Sandström, Markus 2013b. Puunkorjuu ja kaukokuljetus vuonna 2012. Metsätehon tulosalvosarja 3a/2013. Hakupäivä 6.11.2013.
<http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2013_03a_Puunkorjuu_ja_kaukokuljetus_vuonna_2012_ms.pdf>
- Torvelainen Jukka 2011. Puunkorjuu ja kuljetus. Metsätilastollinen vuosikirja 2010. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos.
- Väkevä, Jouni & Pennanen, Olavi & Örn, Jouko 2004. Puutavara-autojen polttoaineenkulutus. Metsätehon raportti 166. Helsinki: Metsäteho Oy. Hakupäivä 12.11.2013. <http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_166.pdf>
- Yhä isompi osa metsäenergiasta pienpuuta 2012. Metsälehti 5/2012. Julkaistu 23.5.2012. Hakupäivä 1.10.2013.
<<http://www.metsalehti.fi/Metsalehti/Metsauutiset/2012/5/Yha-isompi-osa-metsaenergiasta-pienpuuta/>>

LIITELUETTELO

Liite 1. PUULOG - Bioenergian hankintalogistiikka Pohjois-Suomen hankesuunnitelma, 13 sivua.

Liite 2. Haastattelukysymykset, 2 sivua.

Liite 3. Haastattelut, 1 sivu.



TALOUSTIETEIDEN TIEDEKUNTA

PL 4600, 90014 Oulun yliopisto • p. 08 553 2905, fax 08 553 2906 • www.taloustieteet.oulu.fi

12.12.2011
 Liite
 No 754 21, 2011

17.10.2011

PUULOG - Bioenergian hankintalogistiikka Pohjois-Suomessa

1. Taustaa

Valtioneuvosto hyväksyi vuonna 2008 uuden, kunnianhimoisen ilmasto- ja energiastrategian vuoteen 2020 ja päälinjauksin aina vuoteen 2050 asti. Tavoitteena on nostaa uusiutuvan energian osuus vuoteen 2020 mennessä 38 %:iin komission Suomelle esittämän velvoitteen mukaisesti. Uusiutuvan energian lisäkäytön aikaansaamiseksi puuperäisen energian käyttöä on voimakkaasti lisättävä. Esimerkiksi metsähakkeen käyttöä esitetään lisättäväksi 2–3 -kertaiseksi nykyisestään. Kataisen hallituksen ohjelmassa 22.6.2011 nämä linjaukset pidetään ennallaan ja kannustetaan edelleen bioenergian käytön lisäämiseen.

Tavoitteiden saavuttamiseksi edellytetään merkittävää tehostamista biopolttoaineen hankintaketjuissa ja lisäystä metsästä energiakäyttöön otettavan puun määrässä. Määrän ohella on kuitenkin tärkeää tarkastella myös puuperäisen polttoaineen laatua, koska sillä on suuri vaikutus saatavaan energiamäärään. Usein hankintaketjuja tarkastellaan pääasiassa kustannusten näkökulmasta, mutta hankintaketjussa liikkuvan materiaalin laatu ja siitä huolehtiminen on yhtä lailla tärkeä osa hankintaketjun hallintaa.

Hankintaketjujen logistiset ratkaisut määrittävät pitkälti sen, kuinka tehokkaasti oikea määrä oikean laatuista biopolttoainetta asiakkaille pystytään toimittamaan. Logistinen tehokkuus näkyy sekä hankintaketjujen kokonaiskustannuksissa että energiataseessa; uusiutuvan energian hyödyt eivät saa valua logistisen ketjun kasvaneisiin ympäristövaikutuksiin. Tämän vuoksi hankintaketjun logistiikkaa on tarkasteltava kokonaisvaltaisesti raaka-ainelähteeltä loppuasiakkaalle niin, että kaikkien jäsenten toiminta tähtää ketjun kokonaisedun lisäämiseen. Ketjun eri toimijoiden näkökulmia, toiminnallisia lähtökohtia ja tavoitteita ei ole aikaisemmissa hankkeissa systemaattisesti tarkasteltu, joten niiden kartoittaminen ja analysointi luo pohjan nykyisten ja uusien toimintamallien kehittämiseksi ja bioenergian toimitusverkostojen vahvistamiselle.

Pohjois-Suomi

Aiheen ajankohtaisuus ja tärkeys on tiedostettu myös Pohjois-Suomessa. Alueella toimii useita kotimaista polttoainetta käyttäviä lämpölaitoksia, suurimpana Oulun Toppilan voimalat, joiden polttoaineteho on 267 ja 315 megawattia. Näiden laitosten pääpolttoaineena on ollut turve, mutta puunkäyttö lisääntyy koko ajan. Suurimpia uusia käyttäjiä tulee olemaan vuonna 2014 valmistuva Rovaniemen Mustikkamaan voi-



OULUN YLIOPISTO
 UNIVERSITY OF OULU



TALOUSTIETEIDEN TIEDEKUNTA

PL 4600, 90014 Oulun yliopisto • p. 08 553 2905, fax 08 553 2906 • www.taloustieteet.oulu.fi

malaitos, joka tulee käyttämään n. 800.000 k-m³ puuraaka-ainetta. Metsäliitto ja Vapo hakevat parhaillaan EU komissiolta rahoitusta biodiesellaitoksen perustamiseksi Kemlin Ajoon. Laitoksen on tarkoitus aloittaa tuotantonsa 2015 -2016. Laitos tulee käyttämään tuotannossaan 1,2 – 2,0 milj. k-m³ puuraaka-ainetta.

Pohjois-Suomen kilpailukyky ja työllisyys ohjelmassa (EAKR) aiheeseen viitataan toimintalinjoissa 2 ja 3 Toimintalinjassa 2 korostetaan yliopistojen ja korkeakoulujen yritysälähtöisten tutkimus- ja kehittämisspalvelujen edistämistä ja toimintalinjassa 3 ”*Alueiden saavutettavuuden ja toimintaympäristön parantaminen*”. todetaan, että uusiutuvan energian tuotannon edistämiseksi toimia suunnataan mm. biomassan saataavuuteen ja raaka-aineen saannin tehokkaaseen logistiikkaan sekä tuuli- ja vesien energian lisäämistä koskeviin selvityksiin ja toimenpiteisiin. Toimilla tähdätään alueen energiataloudellisen kilpailukyvyn parantamiseen sekä energia-alan yrittäjyyden ja työpaikkojen kasvuun.

Tutkimusprojektin syntyvaiheet

Tarve selvittää puunhankinnan ja siihen liittyvän puupohjaisen bioenergian hankintalogistiikan taloutta Pohjois-Suomessa nousi esille Pohjois-Suomen kuljetusalan henkilöstö- ja koulutustarpeita selvittävän LOGNET- yritysverkoston piirissä käydyissä keskusteluissa vuoden 2010 aikana. Asia oli esillä myös Oulun yliopiston ja Metsäteho Oy:n järjestämässä ”*Bioenergia ja puukuljetusten tulevaisuus*”-seminaarissa 27.10.2010. Sittemmin teemaa on Oulun yliopiston toimesta kartoitettu Pohjois-Suomen osalta hankintaketjun eri yritysten ja toimijoiden kanssa. Näihin toimijoihin kuului myös Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, jonka liiketalouden asiantuntijoiden kanssa valmisteltiin tutkimusyhteistyötä tästä teemasta.

LOGNET -hanke järjesti 22. - 23.3.2011 bioenergian logistiikasta kiinnostuneille yrityksille opintomatkan Ruotsiin. Mukana oli Oulun yliopiston Taloustieteiden tiedekunnasta ja Kemi-Tornio ammattikorkeakoulusta henkilöt, jotka muodostavat nyt puheenaolevan projektin tutkimusryhmän rungon. Matkalla tutustuttiin hyviin ruotsalaisiin käytäntöihin hakekuljetuksissa ja terminaalitoiminnoissa. Matkan johtopäätöksenä havaittiin alan nopea kasvu Ruotsissa sekä erilaisten toimintatapojen kirjo nopeasti kehittyvällä alalla. Tässä yhteydessä havaittiin myös tietojärjestelmien kehittämisen suuri merkitys hankintalogistiikassa. Yhteistyö alan tietojärjestelmien asiantuntijayrityksen Protacon Oy:n kanssa käynnistyi tässä yhteydessä.

Bioenergian hankinnan ja logistiikan tutkimuksellista taustaa vahvistaa osaltaan myös Oulun yliopiston aikaisempi logistiikan tutkimus- ja kehittämistyö. Tämän tutkimushankkeen tutkimusryhmään kuuluvista Jari Juga ja Aaro Tiilikainen ovat olleet mukana monissa logistiikan tutkimus- ja kehittämishankkeissa, joita on toteutettu vuoteen 2001 -2009 Oulun ja Lapin yliopiston yhteisen Meri-Lappi Instituutin nimissä. Näistä mainittakoon logistiikan sekä palvelujohtamisen ja logistiikan maisterikoulutusohjelmat ja Barents Transport Corridor (BTC) projekti. Viimeisimpinä hankkeina Oulun



Liite 1 3(13)



TALOUSTIETEIDEN TIEDEKUNTA

PL 4600, 90014 Oulun yliopisto • p. 08 553 2905, fax 08 553 2906 • www.taloustieteet.oulu.fi

Yliopistolla on tehty logistiikkapalveluihin ja ulkoistamiseen liittyvä tutkimus (esim. Liikenne- ja viestintäministeriön Logmuro-hanke sekä TEKESin Serve-ohjelman ModSeC-hanke) ja vielä käynnissä oleva, aiemmin mainittu, LOGNET.

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu on ollut mukana lukuisissa logistiikka-alan ja liiketoiminta-osaamisen kehittämishankkeissa sekä Oulun ja Lapin yliopistojen että muiden ammattikorkeakoulujen kanssa. Ammattikorkeakoululla on myös laaja kansainvälinen yhteistyöverkosto ja myös logistiikan koulutusta.

Aikaisempi tutkimus

Suunniteltu hanke täydentää aikaisemmin tehtyä ja käynnissä olevaa bioenergian tutkimusta Suomessa. Esimerkiksi METLA on toteuttanut ”*Bioenergiaa metsistä*” (BIO) –tutkimus- ja kehittämissuunnitelman 2007-2011, jossa on tutkittu biomassan lisääntyvän energiakäytön antamia mahdollisuuksia ja vaikutuksia muun muassa metsänomistajien, metsä- ja energiateollisuuden sekä metsäkoneyrittäjien talouteen ja toimintaedellytyksiin. Erityisesti puuperäisen bioenergian hankintaan liittyviä hankkeita ovat toteuttaneet mm. VTT (*Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet*, 2010) ja METLA (*Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät*, 2005). Bioenergian logistiikkaan painottuvaa tutkimusta on myös tehty jonkin verran (esim. Merenkululaitoksen teettämä selvitys ”*Biopolttoaineiden kuljetusten optimointi*”, 2005 sekä Jyväskylän ammattikorkeakoulun selvitys Keski-Suomen biomassakuljetusten logistiikasta ”*Mailta ja manuilta, soilta ja saloilta*”, 2010). Kuopion yliopiston TEKES-rahoitteisessa hankkeessa (”*Bioenergian logistiikka*”, 2005) on tarkasteltu erityisesti älykkäitä palvelumalleja bioenergian logistiikan hallintaan.

Lappeenrannan teknillinen yliopisto on tehnyt aiheeseen liittyvää tutkimustyötä vuosien ajan osallistumalla mm. TEKES/Climbus ohjelmaan (Terminaalitoimintoihin perustuvan metsäpolttoaineen hankintalogistiikkajärjestelmän kehittäminen, 2005 - 2007) ja viimeksi (Biopolttoaineen saatavuus ja hankintalogistiikka Kaakkois-Suomessa, 2011) tutkimuksilla. Molemmat projektit kohdistuvat selkeästi Kaakkois-Suomen alueeseen.



TALOUSTIETEIDEN TIEDEKUNTA

PL 4600, 90014 Oulun yliopisto • p. 08 553 2905, fax 08 553 2906 • www.taloustieteet.oulu.fi

2. Tavoitteet, rajaukset ja tulokset

Voimakkaasti lisääntyvän metsähakkeen saatavuuden ja käytön Pohjois-Suomessa mahdollistaa hankintalogistiikan toimivuus myös pitkillä etäisyyksillä. Nykyisiä toimintatapoja ja teknisiä ratkaisuja joudutaan arvioimaan uudelleen ja myös kokonaan uudet liiketoimintamallit saattavat tulla kysymykseen.

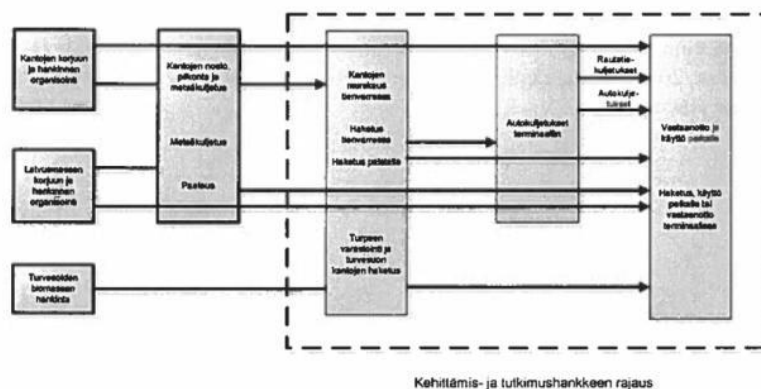
Tällä hankkeella pyritään kartoittamaan, kehittämään ja analysoimaan

puuhakkeen hankintaketjun liiketaloudellisia ja logistisia toimintamalleja sekä niiden vaikutuksia suurille käyttöpaikoille toimitetun hakkeen toimitusvarmuuteen, laatuun ja hankintalogistiikan kustannusten muodostumiseen Pohjois-Suomessa.

Rajaukset ja hankkeen uutuusarvo

Hanke keskittyy ensisijaisesti kuljetuksiin, varastointiin ja terminaaleissa tapahtuviin toimintoihin sekä materiaalin vastaanottoon suurilla käyttöpaikoilla (Kuva 1). Tässä hankkeessa ei tarkastella metsässä tai turvesoilla tapahtuvaa tuotannollista toimintaa, vaan näiltä osin nojaututaan aikaisempiin tutkimuksiin ja hankkeeseen osallistuvien organisaatioiden olemassa olevaan tietämykseen.

Kuva 1. Vaihtoehtoisten hankintaketjujen prosessit



Hankkeen uutuusarvona on nähtävä se, että hanke on selvästi rajattu kohdistamaan alueellisesti Pohjois-Suomen erityisolosuhteisiin ja siellä pitkien kuljetusmatkojen



TALOUSTIETEIDEN TIEDEKUNTA

PL 4600, 90014 Oulun yliopisto • p. 08 553 2905, fax 08 553 2906 • www.taloustieteet.oulu.fi

hankintalogistiikan kehittämiseen. Lisäksi tarkastellaan liiketoimintamallien vaikutuksia hankintalogistiikan toimivuuteen ja kustannusten muodostumiseen.

Tutkimus kohdistetaan Pohjois-Suomen alueella kahdelle metsäenergian hankinnan kannalta keskeiselle kuljetusreitille.

Toinen reitti on Kuusamosta Taivalkosken ja Pudasjärven kautta Perämeren rannikolle. Reitti on nykyisellään autokuljetusreitti, mutta välillä on myös Taivalkoskelle Mustavaaran kaivokselle aikanaan rakennettu rautatie, joka ei nykyisellään ole käytössä. Reitin varrella on myös pienempiä puuenergian käyttäjiä, jotka ovat mukana hankkeessa. Mielenkiintoinen on erityisesti Mustavaaran Kaivos Oy.

Mustavaaran kaivos oli tuotannossa Rautaruukki Oy:n omistamana vuosina 1976 – 85. Tuolloin kaivos tuotti ainoastaan vanadiinia hydrometallurgisella prosessilla. Nytkin menetelmät ovat kehittyneet siten, että Mustavaaran malmista on erotettavissa useita kaupallisia konsentraatteja. Kaivoksen uudelleen avaamiselle löytyy laaditun feasibility studyn perusteella näin edellytykset.

Teknisissä selvityksissä on tarkasteltu sitä missä laajuudessa uudessa malmin sulatusprosessissa voidaan käyttää puuhiiltä fossiilista hiiltä korvaamaan. Tulokseksi on saatu, että puuhiilen käyttömäärä tulisi olemaan 135.000 t vuodessa. Lisäksi biomassaa voidaan käyttää kaivoksen energiantuotannossa.

Nyt puheena olevassa tutkimushankkeessa selvitetään kaivoksen prosessin käyttöön tarvittavan puuhiilen valmistamiseen käytettävän metsähakkeen hankintalogistiikkaa ja sen kustannuksia kolmella eri hankintavaihtoehdolla (200.000 m³, 400.000 m³ ja 600.000 m³).

Tutkimuksellinen pääidea tällä reitillä on autokuljetusten kustannusten optimointi terminaalitoimintojen sisällöllä, oikealla sijoittelulla ja tarkoituksenmukaisilla kuljetuskalusto valinnoilla. Metsähakkeen hiiltäminen puuhiileksi avaa myös aivan uusia näkymiä bioenergian kuljetuksille pitkillä kuljetusmatkoilla.

Rautatiekuljetusten ja terminaalitoimintojen ongelmakohdat ja kehittäminen ovat pääaiheina toisella reitillä, pääradalla Kemijärveltä etelään. Kemijärvelle ollaan rakentamassa Suomen oloissa suurta puuterminaalialia, joka keräisi n. 1 milj. k-m³:n puutavarakuljetukset Koillis-Lapin alueelta siirrettäväksi Kemijärvellä rautatiekuljetukseen. Tähän yhteyteen on tarkoituksenmukaista liittää myös bioenergiakuljetukset. Terminaalien fyysinen suunnittelu on käynnissä, aluevaraukset on tehty, mutta monien toimijoiden terminaalille soveltuvaa liiketoimintamalli edellyttää erilaisten vaihtoehtojen kartoittamista, vaikutusten arviointia ja kehittämistyötä.

Hankkeessa rakennetaan liiketoimintaketjusta arvoverkkoa, jossa arvo asiakkaalle mahdollistuu verkostossa toimivien toimijoiden resurssien ja informaation vaihdannan





TALOUSTIETEIDEN TIEDEKUNTA

PL 4600, 90014 Oulun yliopisto • p. 08 553 2905, fax 08 553 2906 • www.taloustieteet.oulu.fi

kautta. Verkostossa toimivien välillä on asiakkuussuhteita ja se mutkistaa liiketoimintamallin ansaintalogiikkaa.

Liiketoimintamallia kehitetään ja vaihtoehtoisia malleja vertaillaan ajatellen myös toiminnan ympärille myöhemmin rakentuvia palveluja ja verkoston laajenemista. Kyse on kokonaisen uuden liiketoimintakokonaisuuden avaamisesta. Liiketoiminnan kypsyystavoite asetetaan bulkkituotetasolta kohti erilaisten asiakaskohderyhmien tehokkaan palvelun tasoa. Näin tavoitellaan toimijoille enemmän liikevaihtoa ja skaala-
etujen hyödyntämistä.

Liiketoiminnan mallintamisessa tarkastellaan hankkeeseen osallistuvien mahdollisuuksia ja kiinnostusta liiketoiminnan viemiseen tasolle, jossa yritykset investoivat myös muiden yritysten liiketoiminnan kehittämiseen. Tämä on haasteellinen tavoite alkavalle teolliselle liiketoiminnalle.

Odotettavissa olevat tulokset

Projektin tuloksina saadaan,

laskentamalleihin perustuva kuvaus pitkien kuljetusetäisyyksien tarvitsemasta eri kuljetusmuotoja taloudellisimmin yhdistelevästä bioterminaaleista Kuusamo-Taivalkosken ja Pudasjärven alueille, joissa kyetään parhaiten optimimaan polttoaineen laatu, toimitusvarmuus ja kustannukset.

suurille käyttöpaikoille Lapissa ja Perämeren rannikolle rautateitse toimitettavan puuhakkeen hankintaketjun vaihtoehtoiset liiketoimintamallit. Vaihtoehtoisia liiketoimintamalleja vertaillaan ja vaikutukset arvioidaan. Kriteereinä käytetään toimitetun hakkeen toimitusvarmuutta, laatua ja hankintalogistiikan kustannusten muodostumista.

arvio yhteistyöedellytyksistä bioenergian raaka-ainevarojen hankinnassa Venäjältä Alakurtin/Kantalahden alueelta.

hankintalogistiikan teknologiaosaamisen, asiantuntijoiden ja parhaiden käytäntöjen vaihtaminen Suomen ja Ruotsin välillä.





TALOUSTIETEIDEN TIEDEKUNTA

PL 4600, 90014 Oulun yliopisto • p. 08 553 2905, fax 08 553 2906 • www.taloustieteet.oulu.fi

3. Toteutus

Hanke toteutetaan yhteisenä kehittämishankkeena, jonka koordinaatiosta ja tutkimuksen tasosta vastaa Oulun yliopiston taloustieteiden tiedekunta, yhteistyökumppaninaan Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu.

Hanke toteutetaan 1.11.2011 – 31.10.2013 välisenä aikana.

Tehtävää voidaan lähestyä erilaisten työpakettien (WP) kautta siten, että kutakin käytävissä olevaa toimintatapaa tarkastellaan omana kokonaisuutenaan ja yhteenvedo muodostetaan omassa työpaketissaan. Hankkeeseen liittyy neljä **työpakettia**, joista WP1 on leimallisesti tutkimuspainotteinen ja WP2 on verkostotoimijoiden työpajatyöskentelyä ja tutkimusta yhdistävä kokonaisuus. WP 3 ja 4 sitovat yhteen hankekokonaisuutta.

Tehtävät jakaantuvat vastuuorganisaatioiden kesken siten, että Oulun yliopisto TATK vastaa työpaketista WP1 kokonaisuudessaan ja WP 3 ja 4 on jaettu Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun ja Oulun yliopiston tehtäviin.

Kemi-Tornio ammattikorkeakoulu vastaa kokonaisuudessaan työpaketista WP 2 ja sovitusta tehtävissä työpaketissa WP 3 ja WP 4.

WP 1. Biopolttoaineterminaalin logistiikkamallit

Tavoite: Tavoitteena on kehittää biopolttoaineterminaalien toimintaedellytyksiä ja hankintalogistiikan taloutta erityisesti huomioiden kasvavat kuljetusetäisyydet, eri kuljetusmuotojen yhdistäminen sekä polttoaineen laatutekijät ja toimitusvarmuus.

Kokonaistyömäärä: 12 htkk

Perustelu: Biopolttoaineterminaalin tehokas toiminta vaatii teknisten, taloudellisten ja ympäristöllisten tekijöiden yhtäaikaista huomioimista. Kasvavat kuljetusetäisyydet ja rautatiekuljetusten lisääntyminen asettavat haasteita niin kuljetuskalustolle kuin terminaalin vastaanottojärjestelmille. Myös bioenergian laatu- ja kustannustekijöitä on etäisyyksien kasvaessa mietittävä entistäkin tarkemmin. Jotta muuttuvissa olosuhteissa voidaan taata hyvä toimitusvarmuus, on kehitettävä selkeä ja asioita eri näkökulmista tarkasteleva logistinen toimintamalli. Mallissa kuvataan biopolttoaineterminaalin erilaiset hankinta-, jalostus- ja toimitusketjut.

Mallia rakennetaan kahden paikallisen sovellutuksen avulla, jotta mallin toimivuutta ja toiminnan volyymeja voidaan tarkastella mahdollisimman lähellä todellisia olosuhteita.





TALOUSTIETEIDEN TIEDEKUNTA

PL 4600, 90014 Oulun yliopisto • p. 08 553 2905, fax 08 553 2906 • www.taloustieteet.oulu.fi

Case 1 on Kuusamo-Taivalkosken alueen puuterminaali ja case 2 Pudasjärven alueen entisestä käytöstä vapautuneen turpeen kuormausalueen muuttaminen energiapuuterminaaliksi.

Kuusamon alueella metsän kasvu on 1 milj.m³ vuodessa, josta hakataan vain n. 300.000 m³. Hakkuumääriä voitaisiin nostaa 0,5 milj. m³:iin käyttämällä harvennus-hakkuita nykyistä enemmän ainakin 200.000 m³ lisää vuosittain. Tähän päästäisiin tehostamalla terminaalien avulla hankintalogistiikkaa mm. siirtymällä tehokkaampiin autokuljetuksiin pitkillä etäisyyksillä ja selvittämällä myös rautatiekuljetusten mahdollisuudet Taivalkosken radalla. Alueella on riittävä joukko aktiivisia toimijoita terminaaloituminnan käynnistämiseen nopeallakin aikavälillä.

Case 2 on Pudasjärven alueen terminaali, joka toteutetaan yhteistyössä Vapo Oy:n kanssa. Selvitykset kohdennetaan entisten turvesoiden kuormausalueen käyttötarkoituksen muuttamiseksi terminaaloituminnan käyttöön, sekä selvitetään vaihtoehtoisesti missä olisi terminaalin optimaalinen sijainti ottaen huomioon Pudasjärven kaupungin pitkät etäisyydet ja alueelle sijoittuvat raaka-ainevarat.

Pudasjärven kaupunki on Suomen toiseksi laajin kaupunki. Sen kokonaispinta-ala on 5 867,24 km², josta 97 % on metsätalousmaata. Alueen metsätalouden välitön työllistävä vaikutus on jo nykyisellään merkittävä, sillä metsätaloudessa toimii lähes 300 henkilöä ympärivuotisesti. Viimeaikaiset EU:n ja valtion linjaukset uusiutuvien energialähteiden lisääntyvistä käytöstä luo mahdollisuuden lisätä metsätalouteen perustuvien työpaikkojen määrää etenkin harvaanasutuilla alueilla kuten Pudasjärvellä. Suurin osa esim. bioraaka-aineista sijaitsee harvaanasutulla maaseudulla. Näiden raaka-aineiden saaminen teolliseen käyttöön edellyttää toimivia logistisia ketjuja sekä terminaaloitumintaa. Pudasjärven alueella toimii lukuisia alan kuljetus- ja energia-alan yrittäjiä, jotka mahdollistavat toimivien paikallisten ratkaisujen löytämisen.

Toteutus:

Tehtävä 1: Selvitetään Kuusamo-Taivalkosken alueen puuterminaalien toiminnalliset perustamisedellytykset. Taustaselvitykset laaditaan yhdessä paikallisten toimijoiden kanssa käyttäen fokus-ryhmätyöskentelyä ja keräämällä tietoaineistoa selvitystyön pohjaksi.

Tehtävä 2: Yhdistetään fokus-ryhmätyöskentelyn tulokset numeerisiin analyysimenetelmiin (optimointi- ja/tai simulointimallit) sekä kustannuslaskentaan. Kuvataan Kuusamo-Taivalkoski alueen puuterminaalien toiminnalliset ja taloudelliset perustamisedellytykset. Tutkimus raportoidaan opinnäytetöinä (Oulun yliopisto, TATK, pro gradu/muut opinnäytetyöt). 6 htkk.

Tehtävä 3. Selvitetään perustamisedellytykset ja sijaintipaikka Pudasjärvelle perustettavalle energiapuuterminaalille yhdessä VAPO Oy:n kanssa. Toteutetaan yhdistämällä



Liite 1 9(13)



TALOUSTIETEIDEN TIEDEKUNTA

PL 4600, 90014 Oulun yliopisto • p. 08 553 2905, fax 08 553 2906 • www.taloustieteet oulu.fi

fokus-ryhmätyöskentelyä toimijoiden kanssa sekä numeerisia analyysimenetelmiä (optimointi- ja/tai simulointimallit) sekä kustannuslaskentaa. Tutkimus raportoidaan opinnäytteinä (Oulun yliopisto, TATK, pro gradu/muut opinnäytetyöt, yritykset). 6 htkk.

Yrityskumppanit: Tornion Voima, Kemin Energia, Pudasjärven kunta, Pohjaset Oy, Naturpolis Oy, Mustavaaran kaivos Oy, Protacon Oy

WP 2. Bioenergian hankintalogistiikan liiketoimintamallit monien toimijoiden verkostossa

Tavoite: Tavoitteena on tarkastella maantie- ja rautatiekuljetusten erilaisia liiketoimintamalleja bioenergian hankinnassa suuriin käyttökohteisiin ja vertailla niiden vaikutuksia toimitusvarmuuteen, laatuun ja kustannusten muodostumiseen.

Kokonaistyömäärä: 11 htkk

Perustelu: Työpaketeissa WPI ja WP2 keskitytään tarkastelemaan toisaalta rautateillä tapahtuviin pitkien välimatkojen kuljetuksiin, niihin liittyviin kalusto ja terminaaliratkaisuihin ja toisaalta maanteillä tapahtuvan lähikuljetuksen toimitustäsmällisyyteen ja taloudellisuuteen. Molemmat toimintatavat ja niiden yhdistelmät edellyttävät liiketoimintamallia, jossa voidaan turvata hankintaketjun katkeamattomuus, aikataulutus ja mahdollistaa hankintalogistiikan kustannusten täsmällinen seuranta. Hankintaprosessin vastuusuhteet, prosessin hallinta ja käytettävät tietojärjestelmät muodostavat liiketoimintamallin tärkeän osan. Nämä asiat on mahdollista ratkaista monella eri liiketoimintamallilla. Mallien määrittely ja vertailu edellyttää täsmällistä tietoa eri vaihtoehtojen tarjoamista mahdollisuuksista. Näihin kysymyksiin paneudutaan tässä työpaketissa.

Toteutus:

Tehtävä 1: Nykyisin käytössä olevat liiketoimintamallien prosessit ja niihin liittyvät toimijat kuvataan ja kustannusten muodostumista tarkastellaan käytettävissä olevien vertailuaineistojen avulla. Prosessien pullonkaulat pyritään tunnistamaan ja ratkaisumalleja niihin etsitään yhdessä toimijoiden kanssa. (KTAMK, yritykset) 3 htkk.

Tehtävä 2: Tiedollista perustaa ja sidosryhmäyhteistyötä vahvistetaan monimuotoisen työskentelyn avulla sisältäen työpajoja, opinnäytteinä toteutettavia teemahaastatteluita sekä best-practice -analyysijä sekä Suomessa että Ruotsissa. Tulokset raportoidaan toimijoiden keskenään sopimalla tavalla. (KTAMK, yritykset) 5 htkk.





TALOUSTIETEIDEN TIEDEKUNTA

PL 4600, 90014 Oulun yliopisto • p. 08 553 2905, fax 08 553 2906 • www.taloustieteet.oulu.fi

Tehtävä 3: Uusien toimintatapojen, teknisten ratkaisujen, terminaalien tms. käyttöönoton edellytykset selvitetään eri toimijoiden kanssa ennen niiden käyttöönoton ehdottamista. Työ toteutetaan pääosin opiskelijaprojekteina. (KTAMK, yritykset) 3 htkk.

Yrityskumppanit: Tornion Voima Oy Kemin Energia Oy, Pohjaset Oy, Protacon Oy, Metsä-Kantola Oy, Keminmaan kunta

WP 3. Organisoitu kansainvälinen tiedonvaihto Ruotsin ja Venäjän kanssa

Tavoite: Tavoitteena on valita yhteistyökumppanit Ruotsista ja Venäjältä ja vaihtaa asiantuntijoita ja osaamista kumppanien kanssa

Kokonaistyömäärä: 6htkk

Perustelu: Ruotsi on puusta saatavan bioenergian teknologiaosaamisen osalta kehittynyt maa ja osaamisen yhteistyötä haetaan erityisesti korkeakouluista ja/tai tutkimuslaitoksista ja yrityksistä.

Venäjällä on potentiaalia sekä uusiutuvan energian käytön lisäämisessä että bioenergian raaka-ainevarojen käyttöönoton toimintatapojen kehittämisessä. Venäläisten yhteistyökumppaneiden osallistuminen hankkeeseen luo onnistumisen edellytykset alan yhteistyölle.

Toteutus:

Tehtävä 1: Rajanaapurimaiden parhaiden yhteistyökumppanien selvittäminen Barentsin alueelta ja kumppanuussopimusten solmiminen, yhteisten seminaarien järjestäminen ja benchmarking, Yhteistyökumppaneina esim. Luleå Tekniska Universitet, Sveaskog, Ruotsissa ja Socium+ Venäjällä (KTAMK + yritykset 2,5 htkk, Oulun yliopisto TATK + yritykset 1,5 htkk)

Tehtävä 2: Laaditaan suunnitelma jatkuvan yhteistyön ja asiantuntijavaihdon toteuttamiseksi (Oulun yliopisto TATK 1 htkk, KTAMK 1 htkk)



Liite 1 11(13)



TALOUSTIETEIDEN TIEDEKUNTA

PL 4600, 90014 Oulun yliopisto • p. 08 553 2905, fax 08 553 2906 • www.taloustieteet.oulu.fi

WP 4. Hankkeen koordinointi ja tulosten disseminointi

Hankkeen tieteellisenä johtajana toimii prof. Jari Juga Oulun yliopiston Taloustieteiden tiedekunnasta. Tulokset esitellään sekä Oulun yliopiston että Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun osalta tutkimusraporttien, opinnäytetöiden sekä hankeseminaarien avulla.

Kokonaistyömäärä: 11 htkk

Toteutus:

Tehtävä 1: Projektin tutkimuksellinen taso varmistetaan, kustannukset pysyvät hallinnassa ja työpakettien toimintaa koordinoidaan projektin tavoitteen toteuttamiseksi. (Oulun yliopisto, TATK, 5 htkk)

Tehtävä 2: Vastataan yhteydenpidosta ja neuvotteluista projektin osapuolten ja sidosryhmien kesken. (Oulun yliopisto, TATK). 2 htkk. (KTAMK) 1 htkk

Tehtävä 3: Tulosten raportointi ja disseminointi tiedotussuunnitelman mukaisesti (Oulun yliopisto, TATK) 2 htkk, (KTAMK). 1 htkk.

Odotettavissa olevat tulokset: Eri työpaketit tuottavat koordinoitua uutta tietoa ja toteuttavat hankkeen tavoitetta. Projektihallinta ja talous tukevat tulosten saavuttamista ja yhteydenpito hankkeen osapuoliin toimii.

Tulosten raportointi sekä yhdessä että erillisinä raporteina (opinnäytetyöt, tieteelliset artikkelit) tapahtuu suunnitelmallisesti. Tuloksia julkaistaan tarpeen mukaan hankkeen kestäessä sekä tiedotusvälineiden että hankeseminaarien avulla.

Hankkeen tulokset julkistetaan hankeosapuolten kanssa yhdessä sovitulla tavalla.



Liite 1 12(13)



TALOUSTIETEIDEN TIEDEKUNTA

PL 4600, 90014 Oulun yliopisto • p. 08 553 2905, fax 08 553 2906 • www.taloustieteet oulu.fi

4. Aikataulu

	11.-12/11	1.-3/12	4.-6/12	7.-9/12	10.-12/12	1.-3/13	4.-6/13	7.-9/13	10.-12/13
Johtoryhmä	x		x	x	x		x	x	x
WP 1		-----							
WP 2		-----							
WP3			-----				-----		
WP4	-----								
Raportointi			-----						
			x		x		x		x

x) Johtoryhmän kokousajankohdat ja projektin toiminnan tarkistusasteet

5. Henkilöstö

OY

Tieteellinen vastuu Jari Juga, prof. KTT
 Projektipäällikkö/tutkija Aaro Tiilikainen, HTT

Tutkija, tohtorikoulutettava Eero Klemetti, KTM
 Tutkija, pro graduntekijä Elina Prokkola, DI

KTAMK
 Toimialajohtaja Leena Alalääkkölä, KTL
 Yliopettaja Marita Wahlroos, KTT
 Lehtori Kirsti Ketola, KTM
 Opinäytetyöntekijä

Ohjelmistoresurssit: Protacon Oy, johtaja Hannu Lepola

6. Kustannusarvio

Hankkeen kustannusarviot ja rahoitus on esitetty sekä Oulun yliopiston että Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun hakemuksissa.



OULUN YLIOPISTO
 UNIVERSITY OF OULU

Liite 1 13(13)



TALOUSTIETEIDEN TIEDEKUNTA

PL 4600, 90014 Oulun yliopisto • p. 08 553 2905, fax 08 553 2906 • www.taloustieteet.oulu.fi

7. Laadunvarmistus

Projektin toiminta on jaksotettu niin, että tilanneraportti toiminnasta annetaan 4 kertaa projektin toiminta-aikana. Raportit käsittelee johtoryhmä ja valvoo toiminnan laatua päättämällä tässä yhteydessä projektin jatkamisen ehdoista.

8. Riskien arviointi

Projektin onnistuneet toiminnan uhkana arvioidaan olevan seuraavat riskit:

1. Yhteistyöverkoston toimivuus; monia yhteistyökumppaneita ja erilaisia toimintakulttuureja
 - riski keskinäinen, monet ennestään kumppaneita keskenään mm. LOGNET hankkeessa

Riskiin voidaan varautua viestinnällä ja tiiviillä yhteistyöllä eri osapuolten kanssa. Yhteisesti sovittujen pelisääntöjen laatiminen heti projektin aloitusvaiheessa on välttämätöntä.

2. Bioenergian hintakilpailukyky heikkenee oleellisesti, hankkeen yhteiskunnallinen ja taloudellinen pohja pettää
 - riski pieni, muutokset kansallisessa ja EU:n energiapolitiikassa eivät tapahdu kovin lyhyellä aikavälillä.

Riskiin voidaan varautua vain seuraamalla tiiviisti tilanteen kehittymistä energiamarkkinoilla ja reagoimalla tarvittaessa tilanteeseen.



Liite 2 1(2)

Varastointi

- Raaka-aineiden määrä
- Varastointi aika
- Varastointi alueen riittävyys

Raaka-aineiden hankinta

- Millaista kuljetuskalustoa/ajoneuvoyhdistelmiä käytätte?
- Kaluston mitat esim. tilavuus?
- Kuormien koot?
- Missä muodossa puuenergia on mielestänne järkevintä kuljettaa (hake/ranka/irtopuu)?
- Millaiset ovat maksimi kuljetusetäisyydet puun olomuodosta riippuen eli vaihteleeeko kuljetusmatka esim. kokopuulla ja hakkeella?
- Miten isommat rekat vaikuttavat toimintaan?
- Hankinta-alue
- Raaka-aineiden laadun taso
 - o Vaikuttaako laatu hankintaan?
- Onko tarpeita ulkopuoliselle varastointi/terminaali alueelle Kemi-Tornio alueella?
 - o Nykyisin
 - o Tulevaisuudessa
 - o Mitä alueella täytyisi tapahtua, jotta tarvetta syntyisi?
- Jos Kemin alueelle tulisi terminaali, josta voisi toimittaa raaka-aineita alueen lämpölaitoksille ja muille kiinnostuneille, olisiko teillä kiinnostusta lähteä mukaan hankinta/toimitus ketjuun? Millaisia ajatuksia tällainen herättäisi?
 - o Terminaali nostattaa raaka-aineen hintaa
 - o Terminaalilla voidaan nostaa raaka-aineen laatua
 - o Parempilaatuista raaka-ainetta riittää pidemmäksi aikaa, koska tonneittain sitä tarvitaan vähemmän energian tuotantoon suhteessa huonolaatuisempaan raaka-aineeseen
 - o Terminaali olisi lähellä ja toimitusvarmuus olisi taattu, vaikka alueelle tulisi isoja toimijoita, jotka veisivät raaka-aineita esim. Kemin Energian hankinta-alueelta

Liite 2 2(2)

Tuhkan käyttäminen/hyödyntäminen

- Millaiset logistiset toiminnot tuhkan osalta on olemassa?
- Jos Kemin alueella aloittaisi tuhkan jalostamiseen erikoistunut laitos, olisitko kiinnostuneita hoitamaan kuljetuksia? (esim. mahdollisen biodiesel-laitoksen tuhka, onko ollut tästä keskustelua?)

Terminaali liiketoiminta

- Minkälaista toimintaa terminaalissa voisi olla?
 - o Onko suunnitelmissa laajentaa toimintaa raaka-aineen hankintaan ja sitä kautta laadun parantamiseen?
- Terminaali voisi palvella lähialueiden metsänomistajia ja kannattavan toimitusmatkan päässä sijaitsevia loppukäyttäjiä
 - o Puuraaka-aineita lähimetsistä
 - o Haketus terminaalissa
 - o Laadun valvonta terminaalissa
 - o Tuhkan jatkojalostaminen/varastointi terminaalissa
 - Tuhkan käyttäminen lannoitteena lähimetsissä

Liite 3

Peurasaari Jani, haastattelu 22.10.2013 Kemin Energia Oy:n toimitiloissa. Haastattelun kesto 1h 58min

Pohjanen Raimo, haastattelu 28.10.2013 Pohjaset Oy: toimitiloissa. Haastattelun kesto 1h 32min