

Seinäjoen
ammattikorkeakoulun
julkaisusarja

A

Seinäjoen ammattikorkeakoulu
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tuomas Hakonen

Bioenergiaterminaalin hankintaketjujen kannattavuus eri kuljetusetäisyyksillä ja -volyymeilla

Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja
A. Tutkimuksia 14

Tuomas Hakonen

Bioenergiaterminaalin hankintaketjujen kannattavuus eri kuljetusetäisyyksillä ja -volyymeilla

Seinäjoen ammattikorkeakoulu
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Seinäjoki 2013

Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja
Publications of Seinäjoki University of Applied Sciences

- A. **Tutkimuksia** Research reports
- B. **Raportteja ja selvityksiä** Reports
- C. **Oppimateriaaleja** Teaching materials
- D. **Opinnäytetöitä** Theses

SeAMK julkaisujen myynti:

Seinäjoen korkeakoulukirjasto
Kalevankatu 35, 60100 Seinäjoki
puh. 020 124 5040 fax 020 124 5041
seamk.kirjasto@seamk.fi

ISBN 978-952-5863-50-5 (verkkojulkaisu)
ISSN 1795-5565 (verkkojulkaisu)

TIIVISTELMÄ

Työssä selvitettiin kuljetusmatkan ja -volyymin vaikutusta energiapuun hankintaketjujen kannattavuuteen. Näitä tekijöitä tarkasteltiin yhtäaikaaisesti. Vertailtavana oli neljä karsitun rangan hankintaketjua. Kolme hankintaketjuista kulki bioenergiaterminaalin kautta ja näiden kustannuksia verrattiin yleisimmin käytettyyn tienvarsihaketukseen ja suoraan autokuljetukseen perustuvaan ketjuun. Ketjujen kustannuksia tarkasteltiin bioenergiaterminaalin omistajan näkökulmasta. Muut ketjun osat olivat alihankkijoiden hallussa.

Tutkimuksessa hyödynnettiin simulointimenetelmää. Kaikille neljälle vertailtavalle hankintaketjulle tehtiin oma simulointimallinsa. Simulointimalleja ajettiin erilaisilla kuljetusmatkan ja -volyymin lähtöarvoilla ja näin saatuja tuloksia verrattiin toisiinsa. Simulointimalleissa käytettyjen kustannus- ja kapasiteettitekijöiden valinnassa pyrittiin siihen, että ne edustaisivat mahdollisimman hyvin nykyisin kentällä vallitsevaa tilannetta. Tutkimuksessa hallintokustannukset ja voittomarginaali vakioitiin tietyille tasolle kokonaiskustannuksista.

Millään tutkimuksessa tarkastellulla kuljetusetäisyydellä ja -volyymillä terminaalin kautta kulkeva autokuljetusketju ei pärjännyt kustannustehokkuudessa tienvarsihaketukseen ja suoraan autokuljetukseen pohjautuvalle ketjulle. Rautatiekuljetukset terminaalista olivat suoraa autokuljetusta kannattavampia lyhimmillään jo 70 km etäisyydellä ja muokatuissa malleissa, joissa kustannustekijöitä oli tavanomaisesta tasosta laskettu, jopa 55 km etäisyydellä. Tähän vaadittiin 15 000 m³/kk volyymia ja suoraa kuljetusta käyttökohteelle. Tulokset antavat viitteitä siitä, että rautatiekuljetusten voittomarginaalit ja/tai hallintokustannusosuudet ovat osin suurempia kuin autokuljetuksissa. Toisaalta pidemmällä alkukuljetusmatkalla ja rautatiekuljetuksella, jossa loppukuljetus hoidetaan autolla, tulokset asettuvat lähellä aiempien tutkimusten 150 km kannattavuusrajaa.

Tulokset soveltuvat yleisen tarkastelun pohjaksi, kun arvioidaan tarkastelun kohteena olleiden hankintaketjujen kannattavuutta eri kuljetusetäisyyksillä ja -volyymeilla. Koska tarkastelu on tehty terminaalin omistajan näkökulmasta, on näiden tulosten pohjalta mahdollista arvioida terminaalin perustamisen järkevyyttä. Kustannukset vaihtelevat kuitenkin eri tilanteissa ja tästä syystä on tärkeää perehtyä tämän tutkimuksen aineistona käytettyihin kustannus- ja kapasiteettitekijöihin. Jokainen yrittäjä tekee aina viime kädessä omat laskelmansa ja vastaa niistä.

Asiasanat: energiapuu, ranka, rautatiekuljetus, simulointi

ESIPUHE

Bioenergiaterminaalitoiminnan merkitys kasvaa nousevista bioenergian käyttömääristä ja pidentyvistä kuljetusmatkoista johtuen. Tämä mahdollistaa todennäköisesti jatkossa myös aiempaa laajamittaisemman rautateiden käytön kuljetuksiin. On tärkeää etsiä ja tarkastella niitä kuljetusmatkojen ja -volyymien raja-arvoja, joilla terminaalitoiminta voisi olla taloudellisesti kannattavaa eri kuljetustavoilla. Tässä tutkimuksessa asiaa on lähestytty tarkastelemalla neljää karsitun rangan hankintaketjua.

Tämä tutkimus on tehty Kestävä metsäenergia -hankkeella, joka on Suomen metsäkeskuksen Etelä- ja Keski-Pohjanmaan alueyksikön ja Seinäjoen ammatti-korkeakoulun yhteinen kolmivuotinen (2011–2013) hanke. Hanketta rahoittaa Manner-Suomen maaseutuohjelma. Rahoituksen hankkeelle ovat myöntäneet Etelä-Pohjanmaan ja Pohjanmaan ELY-keskukset. Hankkeen tavoitteena on tuottaa tutkimustietoa metsäenergian tuotannosta, hankinnasta ja käytöstä Suomen metsäkeskuksen Etelä- ja Keski-Pohjanmaan alueyksiköiden alueella. Lisäksi tavoitteena on välittää tutkimustietoa ja muuta metsäenergiatietoa alueen toimijoiden tarpeisiin.

Ähtärissä 17.1.2013

Tuomas Hakonen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	7
ESIPUHE	9
1 JOHDANTO	15
1.1 Tausta	15
1.2 Tutkimuksen tavoite	16
1.3 Tutkimusmenetelmä	17
1.4 Tutkimuksen eteneminen	17
2 TEOREETTINEN VIITEKEHYS	19
2.1 Hankintaketjujen kustannukset	19
2.1.1 Hankintaketjujen peruskäsitteet	19
2.1.2 Logistiikan vaikutus tuottoihin ja kustannuksiin	21
2.1.3 ABC-laskenta ja kustannustekijät	22
2.2 Bioenergia	23
2.2.1 Bioenergian määritelmä ja käyttömäärät	23
2.2.2 Metsästä saatava bioenergia	23
2.3 Rangan hankintaketjut	26
2.3.1 Hankintaketjujen kuvaus ja käyttömäärät	26
2.3.2 Rangan hankintaketjujen erityispiirteet	28
2.3.3 Rangan hankintaketjujen kustannusselvitykset	29
2.4 Bioenergiaterminaalit	30
2.4.1 Bioenergiaterminaalien tulevaisuus ja toiminnan kannattavuus	30
2.4.2 Bioenergiaterminaalien edut ja haitat	31
2.5 Rautateiden merkitys energiapuun kuljetuksissa	32
3 AINEISTO JA MENETELMÄT	34
3.1 Käytetty aineisto	34
3.1.1 Hankintaketjujen toiminta	35
3.1.2 Hankintaketjujen kustannukset	38
3.2 Simulointi	42
3.2.1 Simulointimallien luokittelu	43
3.2.2 Simuloinnin vahvuudet ja heikkoudet	44
3.2.3 Mallien verifiointi ja validointi	45

4	TULOKSET JA TARKASTELU	46
4.1	Perussimuloinnit	46
4.2	Pidempään alkukuljetusmatkaan pohjautuvat simuloinnit	50
4.3	Rauta- ja maantiekuljetuksia hyödyntävien terminaalien simuloinnit	52
4.4	Muokattuihin terminaalin kustannustekijöihin pohjautuvat simuloinnit	54
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	57
5.1	Tutkimustulokset ja niiden merkitys aiempaan tutkimukseen verrattuna	57
5.2	Tutkimuksen rajoitteet	60
5.3	Tulosten yleistettävyys ja hyödynnettävyys	62
5.4	Luotettavuus	63
5.5	Jatkotutkimustarpeet	64
	KIITOKSET	66
	LÄHTEET	67

KUVIOT

Kuvio 1. Rangan hankintaketjut haketusvaiheen perusteella luokiteltuna ..	26
Kuvio 2. Vertailtavat hankintaketjut	34
Kuvio 3. Matkan vaikutus kuljetusaikaan tyhjänä- ja kuormattuna-ajossa ..	36
Kuvio 4. Hakkurin sekä ranka- ja hakeauton ajonaikainen polttoaineen kulutus	41
Kuvio 5. Osakuva yhdestä tutkimuksesta käytetystä simulointimallista	44
Kuvio 6. Kuljetusmatkan vaikutus hankintaketjujen kustannuksiin volyymilla 5000 m ³ /kk ja 10 km alkukuljetusmatkalla terminaaliin	47
Kuvio 7. Kuljetusmatkan vaikutus hankintaketjujen kustannuksiin volyymilla 15000 m ³ /kk ja 10 km alkukuljetusmatkalla terminaaliin	48
Kuvio 8. Kuljetusvolyymin vaikutus hankintaketjujen kustannuksiin yhdensuuntaisilla kuljetusmatkoilla 10 km ja 290 km alkukuljetusmatkan terminaaliin ollessa 10 km	49
Kuvio 9. Kuljetusmatkan vaikutus hankintaketjujen kustannuksiin volyymilla 5000 m ³ /kk ja 50 km alkukuljetusmatkalla terminaaliin	50
Kuvio 10. Kuljetusmatkan vaikutus hankintaketjujen kustannuksiin volyymilla 15000 m ³ /kk ja 50 km alkukuljetusmatkalla terminaaliin	51
Kuvio 11. Kuljetusvolyymin vaikutus hankintaketjujen kustannuksiin yhdensuuntaisilla kuljetusmatkoilla 10 km ja 290 km alkukuljetusmatkan terminaaliin ollessa 50 km	51
Kuvio 12. Kuljetusmatkan vaikutus hankintaketjuyhdistelmien kustannuksiin volyymilla 5000 m ³ /kk ja 10 km alkukuljetusmatkalla terminaaliin	53
Kuvio 13. Kuljetusmatkan vaikutus hankintaketjuyhdistelmien kustannuksiin volyymilla 15000 m ³ /kk ja 10 km alkukuljetusmatkalla terminaaliin	53
Kuvio 14. Kuljetusvolyymin vaikutus hankintaketjuyhdistelmien kustannuksiin kuljetusmatkoilla 10 km ja 290 km alkukuljetusmatkan terminaaliin ollessa 10 km	54
Kuvio 15. Kuljetusmatkan vaikutus kustannuksiin hankintaketjuissa, joissa terminaalin kustannustekijöitä (terminaalin pinta-ala ha, terminaalin perustamiskustannus €/m ³ , työajat h) on muokattu, volyymilla 5000 m ³ /kk ja 10 km alkukuljetusmatkalla terminaaliin	55

Kuvio 16. Kuljetusmatkan vaikutus kustannuksiin hankintaketjuissa, joissa terminaalin kustannustekijöitä (terminaalin pinta-ala ha, terminaalin perustamiskustannus €/m³, työajat h) on muokattu, volyymilla 15000 m³/kk ja 10 km alkukuljetusmatkalla terminaaliin55

Kuvio 17. Kuljetusvolyymien vaikutus kustannuksiin hankintaketjuissa, joissa terminaalin kustannustekijöitä (terminaalin pinta-ala ha, terminaalin perustamiskustannus €/m³, työajat h) on muokattu, kuljetusmatkoilla 10 km ja 290 km alkukuljetusmatkan terminaaliin ollessa 10 km56

TAULUKOT

Taulukko 1. Maantie- ja rautatiekuljetusten kustannusten ryhmittely24

Taulukko 2. Kustannusten laskennassa käytetyt lukuarvot39

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Bioenergian käyttömääriä pyritään nostamaan kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi (Ympäristöministeriö 2008, 27–32). Suurin osa käytön lisäyksestä on tarkoitus kattaa metsästä peräisin olevalla energialla (Työ- ja elinkeinoministeriö 2010, 7) eli kannoilla, pienpuulla (pienläpimittainen runkopuu) ja hakkuutähteillä (oksat ja latvusmassa). Tämä tarkoittaa, että metsäenergian raaka-ainetta ei saada jatkossa hankittua yhtä läheltä käyttökohteita ja hankintaluokkia on näin ollen laajennettava. Tämä kehitys myös väistämättä pidentää kuljetusmatkoja. Pidentyvät kuljetusmatkat ja kasvavat volyymit mahdollistavat ja jopa edellyttävät keskitettyjen tuotantoratkaisujen hyödyntämistä, jotta tarvittavat energiapuumäärät saadaan tehokkaasti kuljetettua. Metsäenergian tuotantoketjussa oleellista on, missä vaiheessa ketjua raaka-aineen haketus tehdään ja missä raaka-aine varastoidaan. Keskitetyn ratkaisun haketukseen ja varastointiin tarjoaa bioenergiaterminaali.

Bioenergiaterminaali-sanaa käytetään varsin laajasti aina pienistä tienvarressa sijaitsevista hiekkapohjaisista varastoista suuriin asfaltoituihin varasto- ja lastausalueisiin, joissa energiapuuta voidaan jalostaa hakettamalla ja kuivaamalla sekä hyödyntää autokuljetusten ohella mahdollisesti myös rautatiekuljetuksia (Rinne ym. 2010, 125–127). Yleensä kuitenkin ajatellaan, että bioenergiaterminaalitoimintaan kuuluu varastoinnin ohella myös raaka-aineen jalostus. Bioenergiaterminaalitoiminnan kannattavuuden kannalta merkittäviä tekijöitä ovat kuljetusetäisyydet terminaaliin ja terminaalista sekä terminaalin läpi kulkevan bioenergian volyymit (Ilikkanen & Siren 2005: 58, Laitila & Väättäinen 2011, 120–121, Tahvanainen & Anttila 2011, 3368).

Nykyään yleisimmin käytetty metsäenergian hankintaketju perustuu metsäteiden varressa varastointiin ja haketukseen (Strandström 2012, 12). Bioenergiaterminaalitoiminnan kannattavuutta arvioitaessa vertailua tehdään näin ollen ensisijaisesti tämän ketjun kustannuksiin.

Pidentyvät kuljetusmatkat mahdollistavat tulevaisuudessa todennäköisesti myös aiempaa laajamittaisemman rautateiden käytön bioenergian kuljetuksiin. Bioenergiaterminaalitoimintaan voidaan sujuvasti yhdistää junien kuormaus. Näin voidaan parantaa sekä rautatiekuljetusten että koko keskitetyn ratkaisun kannattavuutta. Lyhyillä etäisyyksillä ja pienillä volyymeilla rautatiet eivät pysty kilpailemaan maantiekuljetuksia vastaan (Ilikkanen & Siren 2005, 58, Tahvanainen & Anttila 2011, 3368). Nykyään selvästi suurin osa metsäbioenergian kuljetuksista tehdäänkin vielä autoilla (Torvelainen 2011, 207).

Rautatiekuljetukset ovat pitkään olleet yhden toimijan hallussa. Tämä on saatanut johtaa tehottomuuteen ja paisuneisiin voittomarginaaleihin. Bioenergian hankintaketjujen keskinäistä kilpailukyky potentiaalia päästään vertaamaan, kun vakioidaan voittomarginaalit ja hallintokustannukset. Muiden kustannusten osalta hyödynnetään mahdollisimman totuudenmukaisia arvoja.

1.2 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksessa verrataan neljän erilaisen energiapuun hankintaketjun kannattavuutta toisiinsa. Vertailtavat ketjut ovat:

1. Energiapuun tienvarsihaketus ja kuljetus hakeautoilla suoraan käyttökohteelle;
2. Energiapuun kuljetus ranka-autoilla tienvarresta bioenergiaterminaaliin, jossa haketus ja jatkokuljetus hake-autoilla käyttökohteelle;
3. Energiapuun kuljetus ranka-autoilla tienvarresta bioenergiaterminaaliin, jossa haketus ja jatkokuljetus junalla käyttökohteelle;
4. Energiapuun kuljetus ranka-autoilla tienvarresta bioenergiaterminaaliin, jossa haketus ja jatkokuljetus junalla purkuterminaaliin, josta loppukuljetus hake-autoilla.

Erityisesti keskitytään tarkastelemaan kuljetusetäisyyden ja kuljetusvolyymien vaikutusta hankintaketjujen kannattavuuteen. Vastausta haetaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

Päätutkimuskysymys:

Mikä on bioenergiaterminaalin kautta kulkevien metsäenergian hankintaketjujen kannattavuus verrattuna tienvarsihaketukseen ja suoraan autokuljetukseen perustuvaan hankintaketjuun?

Alatutkimuskysymykset:

Millä energiapuuvolyymeilla ja kuljetusetäisyyksillä bioenergiaterminaali-toiminta voisi olla kannattavaa?

Mikä on auto- ja junakuljetusten välinen kannattavuus eri kuljetusetäisyyksillä?

Tutkimuksella tavoitellaan aiempaa laajempaa käsitystä bioenergian hankintaketjujen kannattavuudesta. Kuljetusetäisyyden vaikutusta kannattavuuteen on selvitetty aiemminkin, mutta samanaikaisesti ei ole tarkasteltu kuljetusvolyymien vaikutusta. Erityisesti bioenergiaterminaaliliiketoiminnassa kuljetusvolyymit vaikuttavat merkittävästi kannattavuuteen. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan samanaikaisesti sekä etäisyyden että volyymin vaikutusta bioenergiaterminaali-toiminnan kannattavuuteen. Vertailukohtana on yleisesti käytetty tienvarsihaketukseen ja suoraan autokuljetukseen perustuva hankintaketju.

Tutkimuksella tavoitellaan myös uutta tietoa maantie- ja rautatiekuljetusten välisestä kannattavuudesta eri kuljetusetäisyyksillä. Rautateiden tavarankuljetusten kilpailun vapautuminen vuonna 2007 ja uusien toimijoiden mahdollinen tulo alalle saattavat parantaa rautateiden kilpailukykyä verrattuna maantiekuljetuksiin. Vakioituun hallintokustannusosuuteen ja voittomarginaaliin perustuva tarkastelu antaa mahdollisuuden vertailla millä etäisyyksillä maantie- ja rautatiekuljetukset tosiasiallisesti voisivat olla kannattavia. Kilpailu ajaa ennen pitkää tilannetta tähän suuntaan.

1.3 Tutkimusmenetelmä

Tutkimusmenetelmänä käytetään diskreettiä tapahtumasimulointia. Tutkimuksessa käytettävien simulointimallien numeeriset tiedot saatiin sekä alan toimijoilta että aiemmasta tutkimuksesta. Jokaiselle tutkimuksen kohteena olevalle hankintaketjulle on oma simulointimallinsa. Simulointimalli jäljittelee todellista hankintaketjua aika-, kustannus- ja kapasiteettitietoineen. Simuloimalla voidaan tehokkaasti tarkastella monimutkaisten, muuttuvien ja toisiinsa kytkeytyneiden prosessien toimintaa. Simulointi myös mahdollistaa monia muita menetelmiä paremmin ajan ja ajasta johtuvien kustannustekijöiden huomioonottamisen (Harrington & Tumay 2000, 2). Tutkimuksessa käytettiin Vensim PLE -ohjelmaa.

1.4 Tutkimuksen eteneminen

Teoreettisessa viitekehyksessä käydään aluksi läpi otsikon **2.1 Hankintaketjut ja kustannukset** alla hankintaketjujen peruskäsitteitä, jonka jälkeen lyhyesti perehdytään logistiikan vaikutuksiin liiketoiminnan kustannuksiin ja tuottoihin. Tämän jälkeen tarkastellaan logistiikan kustannusten kohdistamista ja jaottelua ABC-laskennalla. Otsikko **2.2 Bioenergia** on varattu bioenergian peruskäsitteille, käyttömäärille ja -potentiaaleille. Painotus on metsäenergiassa. **2.3 Rangan hankintaketjut** esittelee nykyisin käytössä olevat rangan hankintaketjut ja niiden toiminnan sekä erityispiirteet yleiseen hankintaketjujen toimintaan verrattuna. Seuraavaksi käydään läpi bioenergiaterminaalien kannattavuutta, toimintaa ja mahdollisuuksia (**2.4 Bioenergiaterminaalit**) sekä rautateiden nykytilannetta ja mahdollisuuksia energiapuun kuljetuksissa (**2.5 Rautateiden merkitys energiapuun kuljetuksissa**).

Aineistossa ja menetelmissä kuvataan aluksi tutkimuksessa käytetty aineisto, aineiston hankinta ja tutkimuskohteena olevien hankintaketjujen toiminta (**3.1 Käytetty aineisto**). Simulointimenetelmän kuvaus, sen vahvuudet ja heikkoudet sekä mallien verifiointi ja validointi on esitetty otsikon **3.2 Simulointi** alla.

Tulokset on jaettu neljän otsikon alle. Ensin esitetään tulokset tavanomaisilla lukuarvoilla tehdyistä simuloinneista (**4.1 Perussimuloinnit**). Näiden on tarkoitus toimia lähtökohtana ja vertailupohjana muille simuloinneille. Seuraavana ovat vuorossa **4.2 Pidempään alkukuljetusmatkaan pohjautuvat simuloinnit**, joissa on kokeiltu pidennetyn alkukuljetusmatkan vaikutusta terminaalihankintaketjujen kustannuskilpailukykyyn. Vertailu perussimulointeihin mahdollistaa alkukuljetusmatkan kustannusvaikutuksen arvioinnin. Otsikon **4.3 Rauta- ja maantiekuljetuksia hyödyntävien terminaalien simuloinnit** alla on kokeiltu miten terminaalitoiminnan kustannukset muuttuvat, kun terminaalin kautta kulkee sekä maantie- että rautatiekuljetusketjuja eri prosenttiosuuksilla. Tulosten lopuksi kokeillaan vielä kuinka terminaalin pinta-alan, perustamiskustannusten ja työaikojen muokkaaminen vaikuttaa kustannuksiin ja ketjujen keskinäiseen kilpailukykyyn (**4.4 Muokattuihin terminaalin kustannustekijöihin pohjautuvat simuloinnit**).

Johtopäätösluvussa on viisi alaotsikkoa: **5.1 Tutkimustulokset ja niiden merkitys aiempaan tutkimukseen verrattuna**, **5.2 Tutkimuksen rajoitteet**, **5.3 Tulosten yleistettävyys ja hyödynnettävyys**, **5.4 Luotettavuus** ja **5.5 Jatkotutkimustarpeet**.

2 TEOREETTINEN VIITEKEHYS

2.1 Hankintaketjut ja kustannukset

2.1.1 Hankintaketjujen peruskäsitteet

Hankintaketjun tavoitteena on tarjota asiakkaalle oikea määrä, oikeita tuotteita, oikeaan aikaan ja oikeaan paikkaan toimitettuna. Tämä pitäisi vielä pystyä tekemään mahdollisimman kustannustehokkaasti. Tähän pyritään hankintaketjun hallinnalla, joka pohjautuu aina kolmen erilaisen virran hallintaan. Nämä ovat materiaali-, informaatio- ja rahavirta. (Pundoor & Herrmann 2006, 125.) Tässä tutkimuksessa tullaan keskittymään rahavirtaan ja erityisesti rahavirran kustannuspuoleen. Rahavirtaa ei voida tarkastella täysin itsenäisesti, kahta muuta logistiikan perusvirtaa huomioimatta, koska virrat ovat toisiinsa kytköksissä. Erityisesti materiaalivirta on niin suoraan rahavirtaan kytköksissä, että sen on oltava koko ajan tarkastelussa mukana.

Jotta hankintaketjun tavoitteena oleva asiakkaan palveleminen onnistuisi parhaalla mahdollisella tavalla, on hankintaketjulle määritettävä palvelustandardit. Tämä vaatii sekä asiakkaan toiveiden että omien toimintamahdollisuuksien syvällistä ymmärtämistä. Seuraavat tekijät ovat avainasemassa hankintaketjun palvelustandardeja määrittäessä (Christopher 2005, 74–76.):

- tilauksen toimitusaika (tilauksesta tuotteen toimittamiseen kuluva aika)
 - tuotteen saatavuus (määrää tai prosenttiosuus, joka tilauksesta pystytään täyttämään)
 - tilausmäärien rajoitteet (kerralla toimitettavat tuotteiden maksimimäärät)
 - tilauksen suorittamistapa (tilausprosessin sujuvuus)
 - toimitusten tiheys (tilausten toimitusväli)
 - toimitusten luotettavuus (se osuus tilauksista, jotka pystytään toimittamaan ajallaan)
 - tilausdokumenttien virheettömyys (esimerkiksi laskujen ja tilausvahvistusten paikkansapitävyys)
 - valitusten käsittely (käsittelyn nopeus ja mahdollisten korvausten taso)
 - toimitusten täydellisyys (se osuus tilauksista, jotka pystytään toimittamaan ilman puutteita)
 - tuotetuki (korjauspalvelut ja opastus tuotteiden käytössä)
 - tilausten seuranta (palvelu, jolla voidaan seurata toimituksen etenemistä)
-

Palvelutaso liittyy tiiviisti palvelustandardeihin. Palvelutaso kuvaa sitä todennäköisyyttä, jolla toimitusajan kuluessa varastotaso ei mene nolnaan (Simchi-Levi ym. 2008, 42). Palvelutasona pidetään joissain yhteyksissä myös sitä osuutta tilausmääristä, jotka pystytään toimittamaan ajallaan.

Varmuusvarastolla pyritään varmistamaan, että varasto ei tyhjene vaikka tuotteen menekki nousisi ennakoitua korkeammaksi. Mitä suurempaa on tilauksissa ilmenevä hajonta, sitä suurempia varmuusvarastoja joudutaan pitämään (Simchi-Levi ym. 2008, 42). Myös tavoiteltu palvelutaso ja toimitusajat vaikuttavat varmuusvaraston kokoon.

Hankintaketjujen toiminta perustuu usein tilauspisteeseen (reorder point) ja taloudelliseen tilausmäärään (economic order point). Tilauspisteellä tarkoitetaan tiettyä varastotasoa, jonka alittuessa uusi tilaus lähtee. Tilauspisteeseen vaikuttaa tilauksen toimitusaika, ennakoitu menekki ja varmuusvaraston taso. Taloudellinen tilausmäärä on laskennallinen luku, joka pohjautuu varaston ylläpitokuluihin ja yksittäisen tilauksen kustannuksiin. Toisessa yleisesti käytetyssä tavassa tilausten toimitusväli on vakio ja tilausmäärät vaihtelevat riippuen varastotasosta. (Christopher 2005, 123.) Joissakin hankintaketjuissa käytetään myös tapaa, jossa tilausmäärä on aina vakio, mutta toimitusten tiheys vaihtelee (Gudehus & Kotzab 2009, 313).

Toimitusajalla tarkoitetaan yleensä aikaa, joka kuluu tilauksen vastaanottamisesta tilauksen toimittamiseen (order-to-delivery). Tuotteen toimittajan kannalta tuotteen toimitusaikaa tärkeämpää on kuinka nopeasti tuote ja tuotteeseen käytetyt tuotantopanokset saadaan muutettua rahaksi (cash-to-cash). Tuotteeseen sitoutuu pääomaa alkaen raaka-aineiden hankintakustannuksista ja edelleen tuotanto-, työvoima-, varastointi- ja kuljetuskustannuksista. Mitä pidempään tämä pääoma on sitoutuneena tuotteeseen, sitä korkeammaksi pääomakustannukset muodostuvat. (Christopher 2005, 150–153.) Tavoitteena on, että kustannukset muodostuisivat mahdollisimman lähellä asiakasta. Tämä ei kuitenkaan ole aina mahdollista pitkissä ja monimutkaisissa hankintaketjuissa.

Bullwhip-efekti nostaa hankintaketjun kustannuksia. Bullwhip-efektillä tarkoitetaan lyhyesti kuvattuna tilannetta, jossa tilausmäärien vaihtelu ja näin ollen myös varmuusvarastojen tasot nousevat, kun tullaan loppukäyttäjistä kohti ketjun alkupäätä. Tämä aiheutuu seuraavista tekijöistä: puutteelliset kysynnän ennakointimenetelmät, pitkät toimitusajat, tilausten niputtaminen, hintojen vaihtelu ja liioitellut tilaukset (esim. ennakoitaessa tuotteen toimituskatkoksia). (Simchi-Levi ym. 2008, 154–156.)

2.1.2 Logistiikan vaikutus tuottoihin ja kustannuksiin

Solakiven ym. (2012, 19) mukaan logistiikkakustannukset olivat vuonna 2011 keskimäärin 12,1 % suomalaisten yritysten liikevaihdosta. Logistiikkakustannusten osuus kokonaiskustannuksista vaihtelee kuitenkin selvästi toimialoittain. Logistiikkakustannuksista usein merkittävä osa on kiinteitä. Matalan jalostusasteen tuotteilla logistiikkakustannukset edustavat usein suurempaa osaa kokonaiskustannuksista kuin korkean jalostusasteen tuotteilla. Toisaalta erityisjärjestelyjä vaativat kuljetukset (esim. vaaralliset aineet, tietyt elintarvikkeet) nostavat korkean jalostusasteen tuotteiden logistiikkakustannusten osuutta kokonaiskustannuksista (Solakivi ym. 2010, 134).

Christopher (2005, 86–88) on tarkastellut logistiikan vaikutusta yrityksen taseeseen. Kasaan ja saataviin ei logistiikalla nähdä useinkaan olevan vaikutusta. Kuitenkin esimerkiksi lyhyet toimitusajat ja täydelliset toimitukset nopeuttavat laskutusta ja kassavirtaa.

Käyttöpääoman tarvetta voidaan hankintaketjuissa vähentää merkittävästi. Tähän päästään toiminnan sujuvuutta parantamalla ja arvoa tuottamattoman ajan vähentämisellä. (Christopher 2005, 91.)

Varastoihin sitoutuu usein yli 50 % yrityksen vaihto-omaisuudesta. Lisäksi varastoinnista aiheutuu pääomakustannuksia, varastointi- ja käsittelykustannuksia, hävikin ja tuotteen laadun heikkenemisen aiheuttamia kustannuksia sekä vakuutus- ja hallinnointikustannuksia. Yrityksen huolellisella varastojen hallinnalla voidaan merkittävästi pienentää sitoutunutta vaihto-omaisuutta. (Christopher 2005, 86, 102.)

Tuotantotiloista ja -koneista aiheutuu pääomakuluja. Näitä voidaan vähentää esimerkiksi toiminnan ulkoistuksilla. Tuotettua yksikköä kohti kiinteät kustannukset laskevat, kun käyttöasteet saadaan nostettua korkealle. (Christopher 2005, 87.)

Velan osuutta saadaan pienennettyä tuotannon ja toimitusten huolellisella suunnittelulla, mikä pienentää varastojen tarvetta. Velan ja oman pääoman suhdetta saadaan muutettua ulkoistuksilla, kun siirrytään pääomakustannusten maksamisesta tavarantoimittajan laskujen maksamiseen. Tämä vaikuttaa toiminnan rahoittamisen mahdollisuuksiin ja pääoman tuotto prosenttiin. (Christopher 2005, 87–88.)

2.1.3 ABC-laskenta ja kustannustekijät

Erilaisia kuljetusten ja hankintaketjujen hinnoittelumalleja on kehitetty jo 1960-luvulta lähtien. Näiden perinteisten mallien ongelmana on ollut, etteivät ne kiinnitä riittävästi huomiota todellisiin kustannusten aiheuttajiin, resursseja kuluttaviin toimintoihin, toteutuneisiin suoritteisiin ja siihen, kuinka kustannukset muuttuvat eri tekijöistä johtuen. (Oksanen 2003, 19.)

Edellä mainittuja puutteita on pyritty korjaamaan toimintolaskennalla (ABC-laskenta, Activity Based Costing), joka on nykyään käytetyistä kustannusten laskentamalleista kaikkein tunnetuin (Oksanen 2003, 19). Se on käyttökelpoinen väline toimintokustannusten laskemiseen ja tuote- ja asiakaskohtaisten hinnoittelulaskelmien tekemiseen (Fogelholm 1997, 44). Toimintolaskennassa yrityksen organisaatio jaetaan toimintoihin (Oksanen 2003, 27). Todelliset suoritteet ja palvelut kohdistetaan sitten näille toimintoille käyttömäärien mukaan. Tämä on välttämätön edellytys hankintaketjujen kustannustehokkuuden parantamisen ja toimitusprosessien kehittämisen kannalta. Näin on mahdollista laskuttaa myös asiakasta "aiheuttamisperiaatteen" mukaisesti. On toki korostettava, että hinnoittelu ei perustu pelkästään todellisiin kustannuksiin, vaan myös esimerkiksi kilpailutilanteeseen ja osapuolten neuvotteluvoimaan (Oksanen 2003, 23).

Kuljetusten kysyntä on tuotteiden ja raaka-aineiden kysynnästä nousevaa kysyntää. Lyhyellä tähtäyksellä kuljetuksia ei voida korvata muilla tuotantopanoksilla. Pitkällä aikavälillä kuljetustarvetta voidaan vähentää esim. varastojen ja tuotantolaitosten sijoittelulla (Oksanen 2003: 28, Searcy ym. 2007: 650). Hankintaketjujen peräkkäisten vaiheiden välillä on aina paikka- ja aikaeroja, mikä aiheuttaa kuljetustarpeen. Lisäksi kuljetukset asettavat vaatimuksia edeltäville ja seuraaville vaiheille. Näitä vaatimuksia ovat esimerkiksi erilaiset kuljetustekniset ja toimintojen ajoitukseen liittyvät tekijät. Erityispiirteensä kuljetuksille aiheuttavat myös esimerkiksi liikenne- ja sääolosuhteet sekä suhdanteiden vaikutus kuljetusmääriin (Oksanen 2003, 28). Kuljetusten kustannustehokkuus edellyttää korkeaa kuljetuskapasiteetin käyttöastetta (Allen ym. 1998, 471). Oksanen (2003, 30) mukaan tämä voidaan saavuttaa oikein mitoitettulla kalustovalinnalla, hyödyntämällä meno-paluukuljetuksia ja optimoimalla kuljetusreittejä. Hankintaketjuja tulisi aina tarkastella kokonaisuutena, että ei sorruttaisi ketjujen osaoptimointiin (Allen ym. 1998, 471).

Oksanen (2003) on esittänyt tutkimuksessaan kuljetuskustannusten ryhmitelyt eri kuljetustavoille (taulukko 1). Samaan logiikkaan perustuvaa ryhmitelyä tullaan tässä tutkimuksessa käyttämään myös terminaalitoimintoihin. Ryhmittely perustuu yleiseen tapaan jakaa kustannukset toiminta-asteen mukaan

muuttuviin ja kiinteisiin kustannuksiin, kohdistamisen syy-yhteyden mukaan välittömiin ja välillisiin kustannuksiin sekä aiheuttamisen syy-yhteyden mukaan erillis- ja yhteiskustannuksiin (Oksanen 2003, 40).

2.2 Bioenergia

2.2.1 Bioenergian määritelmä ja käyttömäärät

Bioenergiaksi kutsutaan biopolttoaineilla tuotettua energiaa. Biopolttoaineita saadaan metsissä, soilla ja pelloilla kasvavista biomassoista, tietyistä orgaanisista jätteistä sekä levistä. Biopolttoaineet voivat olla kiinteitä, nestemäisiä tai kaasuja (Tietoa bioenergiasta... 2010). Lisäksi biopolttoaineiksi kutsuttujen polttoaineiden tulee olla uusiutuvia (Savon Voima Oy:n... 2001). Uusiutuvia energianlähteitä ovat esimerkiksi puu, vesi- ja tuulivoima, aurinkoenergia, lämpöpumpuilla tuotettu energia, kierrätyspolttoaineet ja peltobioenergia (Ylitalo 2011, 289). Uusiutuvuusvaatimuksesta johtuen esimerkiksi öljy ja kivihiili eivät ole biopolttoaineita, vaikka ne ovatkin syntyneet orgaanisista aineista. Turve on Suomessa määritelty hitaasti uusiutuvaksi biomassapolttoaineeksi (Crill ym. 2000). Turvekaan ei näin ollen ole varsinainen biopolttoaine.

Selvästi merkittävien biopolttoaineiden raaka-aine Suomessa on puu. Vuonna 2010 puupolttoaineet olivat Suomessa toiseksi merkittävin energialähde öljytuotteiden jälkeen. Energiaa tuotettiin puupolttoaineilla noin 86,7 TWh, joka on 21,5 % energian kokonaiskulutuksesta (Ylitalo 2011: 289). Fossiilisilla polttoaineilla tuotettiin edelleen kuitenkin lähes puolet (47 %) energian kokonaismäärästä. Suomessa käytettävistä uusiutuvista energialähteistä puupolttoaineet kattoivat vuonna 2010 noin 80 % (Ylitalo 2011, 289).

2.2.2 Metsästä saatava bioenergia

Puupolttoaineilla tuotettu energia voidaan jakaa suoraan metsästä saatavalla puulla tuotettavaan energiaan eli metsäenergiaan ja muilla puupohjaisilla polttoaineilla tuotettavaan energiaan, joka tuotetaan esimerkiksi metsäteollisuuden jäteliemillä ja puupohjaisella biodieselillä. Metsäenergiaa tehdään Suomessa hakkuutähteistä, kannoista ja pienpuusta (Ryymän ym. 2008, 7). Lisäksi jonkin verran käytetään pääasiassa Venäjältä tuotavaa järeää runkopuuta (Laitila ym. 2010, 26). Näistä käytetään yhteisnimitystä energiapuu. Ennen käyttöä energiapuu joko haketetaan tai murskataan. Näin käsitellystä energiapuusta käytetään yleisnimitystä metsähake.

Taulukko 1. Maantie- ja rautatiekuljetusten kustannusten ryhmittely (Oksanen 2003, 44–45).

RAUTATIEKULJETUKSET**1. Kuljetustyökustannukset**

- Kuljettajien palkat
- Välilliset palkkakustannukset
- Muut miehistökustannukset (mm. päivärahat ja matkakustannukset)

2. Kuljetuskaluston kustannukset**A. Kiinteät kustannukset**

- Pääomakustannukset (poistot+korot)
- Vakuutusmaksut
- Ylläpitokustannukset
- Muut kiinteät kustannukset (esim. kulunvalvonta-, junansuorituskulut)

B. Muuttuvat kustannukset

- Polttoainekustannukset
- Voiteluainekustannukset
- Korjaus- ja huoltokustannukset
- Muut ostetut aineet, tarvikkeet ja ulkopuoliset palvelut

3. Kuljetusorganisaation kustannukset

- Kiinteät palkkakustannukset (välillisine palkkakustannuksineen)
- Toimitilojen kustannukset
- Puhelin- ja tietohallintokulut
- Markkinointi ja suhdetoiminta
- Vahinko- ja onnettomuuskulut
- Tutkimus-, kehitys- ja koulutuskulut
- Muut hallinto- ja yleiskulut

4. Tavarankäsittelykustannukset

- Kuljetusvakuutus
- Terminaali- ja käsittelykustannukset
- Erikoiskuljetusten ja vaarallisten aineiden kuljetusten erilliskulut
- Muut tavarankäsittelykustannukset (esim. alihankintatyöt)

5. Väyläkustannukset

- Ratamaksut
- Muut väyläkustannukset (esim. telinvaihtokustannukset)

MAANTIEKULJETUKSET**1. Kuljetustyökustannukset**

- Kuljettajien palkat
- Välilliset palkkakustannukset
- Muut miehistökustannukset (mm. päivärahat ja matkakustannukset)

2. Kuljetuskaluston kustannukset**A. Kiinteät kustannukset**

- Pääomakustannukset (poistot+korot)
- Vakuutusmaksut
- Liikennöimismaksut (ajoneuvoverot, katsastusmaksut)
- Ylläpitokustannukset
- Korvaukseton ajo (vain hinnoittelulaskelmissa)
- Ajoneuvohallinnon kustannukset

B. Muuttuvat kustannukset

- Polttoainekustannukset
- Voiteluainekustannukset
- Korjaus- ja huoltokustannukset
- Rengaskustannukset

3. Kuljetusorganisaation kustannukset

- Kiinteät palkkakustannukset (välillisine palkkakustannuksineen)
- Toimitilojen kustannukset
- Puhelin- ja tietohallintokulut
- Markkinointi ja suhdetoiminta
- Taloushallinnon kulut
- Yrittäjän eläke- ja vastuuvakuutukset
- Markkinointi- ja ajovälitysmaksut
- Tutkimus-, kehitys- ja koulutuskulut
- Jäsenmaksut ym. hallintokulut

4. Tavarankäsittelykustannukset

- Kuljetusvakuutus
- Terminaali- ja käsittelykustannukset
- TIR-maksut
- Muut tavarankäsittelykustannukset (esim. alihankintatyöt)

5. Väyläkustannukset

- Tie-, silta- ja tunnelimaksut
- Lauttamaksut

Työ- ja elinkeinoministeriön (2010, 7) laatiman uusiutuvan energian velvoitepaketin mukaan metsähakkeen käyttö tulisi nostaa vuoteen 2020 mennessä 13,5 miljoonaan kuutiometriin. Vuonna 2010 metsähaketta käytettiin lämpö- ja voimalaitoksissa yhteensä 6,2 miljoonaa kuutiometriä (Ylitalo 2011, 290). Metsähakkeen käyttöä on siis varsin lyhyessä ajassa nostettava huomattavasti.

Hakkuutähteitä kerätään pääasiassa päätehakkuukohteilta (Hakkila 2004, 29), koska harvennuskohteilla niiden korjaaminen on kallista ja aiheuttaa helposti puustovaurioita. Hakkuutähteisiin luetaan kuuluvaksi sekä latvusmassa että hukkarunkopuu (Hakkila 2004, 30). Hakkuutähteiden korjuumäärät ovat täysin riippuvaisia ainespuuhakkuista. Hakkuutähteiden osuus lämpö- ja voimalaitosten käyttämästä metsähakkeesta oli vuonna 2010 noin 35 % (Ylitalo 2011, 290). Suomen vuotuinen hakkuutähteen tekninen korjuupotentiaali oli vuoden 2004 lukuihin perustuen 6,5 miljoonaa m³ (Laitila ym. 2010, 28).

Kantoja korjataan vain päätehakkuukohteilta (Hakkila 2004, 33). Myös kantojen korjuupotentiaalit ovat näin ollen täysin riippuvaisia päätehakkuista. Pääasiassa korjuu kohdistuu kuusen kantoihin, mutta myös männyn kantoja nostetaan. Vuonna 2010 kantojen osuus lämpö- ja voimalaitosten käyttämästä metsähakkeesta oli 16 % (Ylitalo 2011, 290). Suomen vuotuinen kuusen kantojen tekninen korjuupotentiaali oli 2,5 miljoonaa m³ vuonna 2004 (Laitila ym. 2010, 28).

Pienpuuta korjataan nuorten metsien harvennuksilta. Energiaksi käytettävä pienpuu on läpimitaltaan pääasiassa alle kuitupuun mittojen. Pienpuu voidaan korjata joko kokopuuna tai se voidaan karsia rangaksi. Kokopuuna korjaaminen nostaa kertymää ja myös työn tuottavuutta. Sillä voi kuitenkin olla pitkällä aikavälillä vaikutusta metsämaan ravinnetasapainoon, kun ravinteita paljon sisältäviä neulasia poistuu metsästä. Kokopuuhake ei myöskään ole laadultaan yhtä hyvä polttoaine kuin rankahake. (Hakkila 2004, 31–32.) Pienpuun korjuu ei ole suoraan riippuvainen ainespuukorjuusta. Tosin pienpuun ja ainespuun korjuuseen voidaan käyttää samaa kalustoa, mikä voi aiheuttaa välillistä riippuvuutta. Lämpö- ja voimalaitosten käyttämästä metsähakkeesta 40 % oli vuonna 2010 pienpuuta (Ylitalo 2011, 290). Lisäksi pienpuusta tehdyn hakkeen osuus kasvoi vuonna 2010 selvästi verrattuna vuoteen 2009 (Ylitalo 2011, 290). Suomen vuotuinen pienpuun korjuupotentiaali oli 6,9 miljoonaa m³ vuonna 2004 (Laitila ym. 2010, 28).

Kärhän ym. (2010a) tekemän arvion mukaan vuonna 2020 pienpuun osuus on noin puolet teoreettisesta energiapuun kokonaiskorjuupotentiaalista. Kuitenkin pienpuun osuus teknis-taloudellisesta kokonaiskorjuupotentiaalista on samana

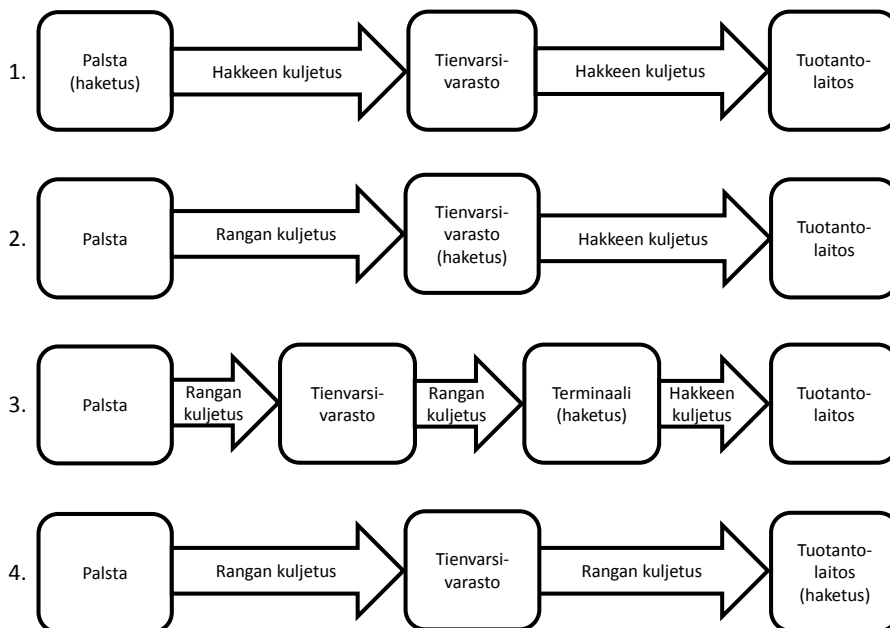
vuonna arvion mukaan vain alle kolmannes. Tämä kuvaa hyvin pienpuun käytön kannattavuuteen liittyviä haasteita ja mahdollisuuksia.

Tässä tutkimuksessa keskitytään pienpuun hankintaketjujen kustannusten selvittämiseen. Tähän päädyttiin pienpuun suuresta korjuupotentiaalista ja hankintaketjujen kehittämistarpeista sekä ainespuuhakkuuriippumattomuudesta johtuen. Pienpuussa keskitytään rankaan johtuen rangan korjuun pienemmästä ravinnehävikistä ja rankahakkeen kokopuuhaketta paremmasta laadusta.

2.3 Rangan hankintaketjut

2.3.1 Hankintaketjujen kuvaus ja käyttömäärät

Rangan hankintaketjuja määrittää erityisesti se, missä vaiheessa ketjua haketus tehdään. Haketus voidaan tehdä joko palstalla, tienvarressa, terminaalissa tai käyttöpaikalla (Kärhä 2011, 3409). Rangan hankintaketjut on esitetty kuviossa 1.



Kuvio 1. Rangan hankintaketjut haketusvaiheen perusteella luokiteltuna.

Palstahaketus tehdään palstahakkurilla, jolloin samassa koneessa on sekä varsinainen hakkuri että kuljetussäiliö tai perävaunu (Asikainen & Nuuja 1999, 480). Aina kuljetustilan täytyttyä palstahakkuri käy tyhjentämässä säiliön tienvarressa joko kasaan tai hakkeen kuljetukseen tarkoitettulle vaihtolavalle (Asikainen & Nuuja 1999). Tienvarresta hake ajetaan pääsääntöisesti suoraan käyttöpaikalle. Poikkeustapauksissa hake voi kiertää vielä terminaalin kautta. Ennen palstahaketusta rangat saavat kuivua palstalla. Palstahaketuksen osuus haketetusta pienpuusta on vähentynyt 2000-luvun alkuun verrattuna (Strandström 2012, 13) ja nykyään käyttömäärät ovatkin erittäin pieniä (Laitila ym. 2010, 38). Syynä tähän ovat heikko kannattavuus pitkillä metsäkuljetusmatkoilla ja haastavilla korjuukohteilla (kivisyys, mäkisyys, heikosti kantavat maat) sekä lumen aiheuttamat ongelmat talvella (Kiema ym. 2005, 23) ja vikaherkkyys (Laitila ym. 2010, 38).

Tienvarsihaketus on nykyään selvästi käytetyin haketustapa. Noin 72 % pienpuusta haketettiin tienvarressa vuonna 2011 (Strandström 2012, 13). Selvästi merkittävin osa tästä tehtiin ketjulla, jossa hakeauto ja hakkuri ovat erillisiä yksiköitä. Integroidulla hakkuri-hakeauto ketjulla tehdyn hakkeen määrä oli viimeisimmän tilastoinnin mukaan 4 % vuonna 2009 (Kärhä 2010, 12). Tienvarsihaketuksessa ranka kuivuu tienvarsikasoissa yleensä puolesta vuodesta kahteen vuoteen ennen haketusta. Tienvarresta hake kuljetetaan pääsääntöisesti suoraan käyttöpaikalle, mutta voidaan poikkeustapauksissa kuljettaa myös terminaaliin. Hakkuri hakettaa suoraan hakeauton kuormatilaan. Koska hakkurin ja hakeauton toiminnot ovat toisiinsa ajallisesti kytkeytyneitä, on ketju haavoittuvainen ja keskeytyksille altis (Asikainen 1998, 386, Hakkila 2004, 39–40). Käytettäessä yhtä hakeautoa hakkuri joutuu aina odottamaan, kun hakeauto käy tyhjentämässä kuormansa. Useamman hakeauton tapauksessa hakeautot joutuvat mahdollisesti odottamaan hakkurille pääsyä. Tästä käytetään nimitystä kuumaketju-ilmio (Asikainen 1998, 386; Laitila ym. 2010, 34–37; Kärhä 2011, 3409). Lisäksi satunnaiset tekijät kuten viivästymiset ja kuljetusmatkat vaikuttavat koko systeemin toimintaan (Asikainen 1995). Järeät tienvarsihakkurit ovat toimintavarmoja ja tehokkaita, mutta ongelmaksi muodostuvat terminaali- ja käyttöpaikkahaketuksen verrattuna matalat käyttöasteet ja työskentelytilan puute tienvarressa (Hakkila 2004, 40).

Terminaalihaketuksessa ranka kuljetetaan tienvarresta autolla terminaaliin, jossa haketus tehdään. Tästä eteenpäin hake kuljetetaan joko hakeautoilla ja/tai junalla käyttöpaikalle. Terminaalihaketuksen perustuvassa ketjussa energiapuun kuivumisesta voidaan huolehtia joko tienvarressa, terminaalissa tai osittain molemmissa. Vuonna 2011 terminaalihaketuksen osuus oli 18 % pienpuun kokonaishaketusmäärästä. Osuus kasvoi 8 prosenttiyksikköä vuodesta 2010 (Strandström 2012, 13).

Vuonna 2011 käyttöpaikalla tehtiin 10 % pienpuun haketuksesta (Strandström 2012, 13). Tämän menetelmän käyttäminen on kannattavaa vain kohteilla, joiden käyttömäärät ovat suuria (Ranta 2002, 46, Hakkila 2004, 42). Raskaat hakkurit tai murskaimet sopivat hyvin käyttöpaikkahaketuksen (Ranta 2002, 46). Ranka kuivuu joko tienvarressa tai käyttöpaikalla. Pääpaino on kuitenkin tienvarsi-kuivumisessa johtuen käyttöpaikkojen usein rajallisesta varastointitilasta. Ranka kuljetetaan tienvarresta suoraan käyttökohteelle umpilaidalliselle puutavara-autolla tai vaihtoehtoisesti lastaustermiiniin, josta junalla käyttökohteelle. Käyttöpaikkahaketuksen suurin ongelma on käsittelemättömän energiapuun kuljettaminen, mikä tarkoittaa kiintokuutioissa mitattuna pieniä kuormakokoja (Ranta 2002, 46).

Tehokas tapa tiivistää pienpuuta paremmin kuljettavaan muotoon on paalaus. Tätä menetelmää käytetään kuitenkin vain kokopuulle. Paalauksessa kokopuu tiivistetään sylinterin muotoiseksi paaleiksi, jolloin energiapuun käsiteltävyys ja kuljetusten tehokkuus paranee. (Ranta 2002, 44 – 45.)

2.3.2 Rangan hankintaketjujen erityispiirteet

Rangan hankintaketjuilla ja laajemmin energiapuun hankintaketjuilla on omat erityispiirteensä verrattuna luvussa 2.1 Hankintaketjut ja kustannukset kuvattuihin hankintaketjujen perusteisiin ja kustannuksiin. Ehkä selkein etu energiapuun hankintaketjuilla on kysynnän ennustamisen helppoudessa. Yleensä hakkeen toimittamisesta tehdään asiakkaiden kanssa pitkäaikainen sopimus, joka luo varmuutta toimintaan. Lisäksi esimerkiksi lämpölaitoksen hakkeen kysyntää ohjaa energian kulutus, joka Suomessa riippuu suuresti ilman lämpötilasta (Fredriksson ym. 2002, 30). Kysynnän ennustettavuus on hyvä, mutta vuoden- aikainen kysynnän vaihtelu aiheuttaa tuotantokapasiteetin käytölle haasteita.

Suurilla laitoksilla hakkeen toimittaja vastaa usein siitä, että haketta on riittävästi käytettävissä eli laitosten varastojen hallinta on ulkoistettu hakkeen toimittajalle. Tämä on suhteellisen tasaista kysyntää ja pitkäaikaista toimitussopimusta ajatellen järkevä toimintatapa.

Toimitusten luotettavuus korostuu erityisesti lämpölaitostoimituksissa. Jos hake loppuu lämpölaitokselta, tarkoittaa tämä joko lämmityksen loppumista tai varajärjestelmien ylösajoa, jotka molemmat ovat kalliita vaihtoehtoja.

Tuotteen eli energiapuun laadunhallinta aiheuttaa ulko-olosuhteissa omat haasteensa. Varsinkin tienvarsivarastoinnissa varastopaikalla, pinon rakenteella

ja sääolosuhteilla on suuri merkitys siihen kuinka laadukasta haketta pystytään tuottamaan. Laatutekijöistä tärkein on hakkeen kosteus (Hakkila 2004, 68, Laurila & Lauhanen 2010, 433). Terminaaliolosuhteissa laadunhallinta on tienvarsivarastointia helpompaa (Heikkilä ym. 2005, 35).

Energiapuun hankintaketjuissa on tyypillisesti hyvin pitkä varastointiaika verrattuna tuotanto- ja kulutushyödykkeisiin. Yleensä varastointi kestää puolesta vuodesta kahteen vuoteen. Pitkän varastointiajan tarkoituksena on energiapuun kuivuminen, jolloin sen lämpöarvo nousee, kuljetuskustannukset laskevat, käsittely helpottuu ja säilyvyys paranee (Hakkila 2004, 68). Karttusen ym. (2010, 65) sekä Laurilan ja Lauhasen (2010, 431) tekemien tutkimusten perusteella voidaan todeta, että vuoden varastointiajan jälkeen energiapuun kosteudet ovat yleisesti 30–40 % välillä olosuhteista riippuen.

Energiapuuta ei kannata säilyttää hakkeena pitkiä aikoja. Tärkeimmät syyt tähän ovat hakkeen itsesyttymisvaara, hakekasan pintaosien kosteuden kasvu ja rankana varastointiin verrattuna usein suuremmat kuiva-ainetappiot (Haikonen 2005, 10–11). Kuiva-ainetappioita syntyy sekä puun osien irtoamisen (mekaaninen hävikki) että puuaineessa tapahtuvien hajoamisprosessien takia. Hakettamattomallakin energiapuulla varastoinnin aikaiset kuiva-ainetappiot voivat nousta korkeiksi. Anerudin ja Jirjisin (2011, 264) sekä Petterssonin ja Nordfjellin (2007) tutkimuksissa energiapuun kuiva-ainetappiot olivat vuoden varastointiajalla 4–17 % välillä kokonaismassasta. Varmuusvarastot on näin ollen järkevää säilyttää pääasiassa rankana ja tehdä haketus vasta juuri ennen kuljetusta. Hävikkiä muodostuu varastoinnin ohella väistämättä myös muissa hankintaketjun osissa (Laurila & Lauhanen 2012, 49–52), kuten haketuksessa sekä kuorman lastaamisessa ja purkamisessa.

2.3.3 Rangan hankintaketjujen kustannuselvitykset

Energiapuun hankintaketjujen kustannuksia kuljetusmatkan suhteen ovat viime aikoina selvittäneet ainakin Laitila & Väätäinen (2011) sekä Tahvanainen & Anttila (2011). Näistä Tahvanaisen ja Anttilan (2011) tutkimus perustuu yksittäisen laitoksen hankintaketjuihin. Laitilan ja Väätäisen (2011) tutkimus tarkastelee asiaa enemmän yleisellä tasolla.

Laitilan ja Väätäisen (2011) tutkimuksessa on tarkasteltu ainoastaan auto-kuljetuksia. Kustannukset on esitetty sekä koko hankintaketjulle (kannolta käyttökohteelle) että pelkästään kaukokuljetuksille. Tarkastelussa on useita energiapuumuotoja ja myös ranka on tarkastelussa mukana. Tahvanaisen ja

Anttilan (2011) tutkimuksessa on tarkasteltu koko hankintaketjun kustannuksia (kannolta käyttökohteelle) eri energiapuumuodoilla ja kuljetustavoilla. Myös junakuljetukset ovat mukana tarkastelussa. Rangan osalta kustannuksia ei ole esitetty.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan rangan hankintaketjujen kokonaiskustannuksia välillä tienvarsi-käyttökohte. Vertailua tehdään eri volyymeilla ja kuljetusmatkoilla. Tarkasteltavana ovat sekä auto- että junakuljetukset. Pääpaino on terminaalien kautta kulkevien hankintaketjujen vertaamisessa suoraan autokuljetukseen.

2.4 Bioenergiaterminaalit

2.4.1 Bioenergiaterminaalien tulevaisuus ja toiminnan kannattavuus

Bioenergiaterminaalien ja bioenergian hankintaan liittyen on tehty viime vuosina useita erilaisia alueellisia tutkimuksia ja selvityksiä (esim. Kiema ym. 2005, Karjalainen 2006, Karttunen ym. 2010, Perälä ym. 2011 ja Seppänen 2011). Selvityksissä on pääasiassa käsitelty bioenergiaterminaalien sijaintia, toteutus- tapaa ja toiminnan kannattavuutta. Viime aikoina kasvanut kiinnostus bioenergiaterminaalien kohtaan johtuu pääasiassa bioenergian suurista tulevaisuuden käyttövoimista (Työ- ja elinkeinoministeriö 2010), mikä tarkoittaa myös entistä laajamittaisempaa bioenergian jalostusta ja varastointia. Bioenergiaterminaalien määrä ja kapasiteetti tuleekin hyvin todennäköisesti kasvamaan tulevaisuudessa.

Bioenergiaterminaalit on hyvin monitasoisia. Bioenergiaterminaalit-nimityksen alla on metsäteiden varrella sijaitsevia koontivarastoja, jotka eivät poikkea tavanomaisista tienvarressa olevista energiapuuvarastoista muutoin kuin suuremmalla varastointikapasiteetilla. Toisessa ääripäässä ovat asfaltoidut terminaalialueet, joissa on jalostustoimintaa (Rinne ym. 2010, 125). Mahdollisia ovat myös erilliset katetut varastotilat, joissa hake säilyy kuivana sekä erillinen lastaus-/kuormauspalvelu (Rinne ym. 2010, 127).

Selvästi merkittävin osuus nykyisin terminaalien kautta kulkevista biopolttoaineista on energiapuuta (Perälä ym. 2011). Myös esimerkiksi turvetta ja ruokohelpeä voidaan terminaalissa varastoida. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan terminaalien toimintaa pelkästään energiapuun käytön kannalta. Energiapuu voidaan tuoda terminaaliiin täysin polttokelpoiseen muotoon jalostettuna, osittain jalostettuna tai jalostamattomana. Terminaalista biopohjainen raaka-aine viedään joko polttolaitoksille tai jatkojalostettavaksi esimerkiksi biodiesel-/bioetanolilaitokseen.

Bioenergiaterminaalit ovat biopolttoaineiden varastointi- ja jalostuspaikkoja. Ne toimivat puskurivarastoina ja lisäävät toimitusvarmuutta hankintaketjuissa tapahtuvien poikkeamien aikaan (Rinne ym. 2010, 126, Perälä ym. 2011, 29). Jalostustoiminta tarkoittaa yleensä biopolttoaineiden kuivaamista tai muokkaamista paremmin hyödynnettävään muotoon. Puuperäisten biopolttoaineiden tapauksessa muokkaaminen tarkoittaa yleensä puuaineen haketusta tai murskausta pienemmäksi jakeeksi (Rinne ym. 2010, 125).

Bioenergiaterminaalien toiminnan kannattavuuden kannalta on tärkeää, että sen kautta kulkee riittävä määrä energiapuuta ja myös varaston kierto nopeudella on suuri merkitys (Allen ym. 1998, 476; Rinne ym. 2010, 127 – 133). Riittävällä volyymilla saadaan terminaaliin tehdyt investoinnit katettua ja pystytään täysimääräisesti hyödyntämään terminaalin mahdollistamia skaalaetuja. On tärkeää huomioida, että samantasoistenkin terminaalien investointikustannukset voivat vaihdella selvästi paikasta riippuen. Impolan ja Tiihosen (2011, 34) mukaan tähän vaikuttavat erityisesti maasto-olosuhteet ja tarvittava oheisrakentaminen. Terminaalin tulisi olla paikka, jossa jalostusastetta nostetaan esimerkiksi murskaamalla tai hakettamalla, kuivaamalla tai valmistamalla pellettejä tai muita biopolttoainejalosteita. Pelkkä varmuusvarastoinnin tuoma etu ei yleensä tee terminaalista taloudellisesti kovin kannattavaa (Rinne ym. 2010, 138). Impola ja Tiihonen (2011, 36) ovat esittäneet, että autokuljetuksiin pohjautuva terminaali toiminta voisi olla kannattavaa 100 km ylittävillä kuljetusetäisyyksillä.

Bioenergiaterminaalien kautta kulkevan hankintaketjun käyttöä voidaan perustella viime kädessä vain sen paremmalla kannattavuudella verrattuna kilpaileviin ketjuihin. Kannattavuus voi perustua energiapuun jalostusvaiheen korkeampaan tehokkuuteen tai parempaan laatuun, kuuma ketju -ilmiön vaikutusten vähenemiseen ja toimitusvarmuuden paranemiseen. Kannattavasti toimivat bioenergiaterminaalit edellyttävät sekä hankinta-, toimitus- ja jalostusketjujen kehittämistä että taloudellisesti kannattavien liiketoimintamallien luomista (Perälä ym. 2011, 3).

2.4.2 Bioenergiaterminaalien edut ja haitat

Bioenergiaterminaalit lisäävät hakkeen toimitusvarmuutta. Varsinkin kelirikon aikaan terminaalit ovat toimitusvarmuuden kannalta usein välttämättömiä (Laitila ym. 2010, 37). Myös muut säästä johtuvat ilmiöt voivat aiheuttaa ongelmia hakkeen toimitusketjuille. Yllättäviin sääilmiöihin reagoiminen aiheuttaa aina myös kustannuksia. Esimerkiksi myöhään alkavat pakkaset estävät penkkausten käytön, jolloin haketta on saatava muualta. Talvella myös esimerkiksi

teiden auraaminen tienvarsivarastoille lisää kustannuksia. Toimitusvarmuus on tärkeä tekijä toimitusketjuissa, mutta ongelmallista on, että toimitusvarmuudella on vaikea esittää selkeää hintaa.

Terminaalissa haketustyön organisointi on helppoa, koska siirtoja ei ole työmaan sisällä. Huollot ja korjaukset on myös helppo järjestää. Koneiden käyttöasteet nousevat tienvarsihaketausta korkeammiksi. Hakkeen laadun kontrollointi on myös helppoa, koska terminaalia voidaan käyttää energiapuun kuivatuspaikkana, ja kuivaa ja kosteaa haketta voidaan tarvittaessa sekoittaa keskenään. Hakkeen laatua nostaa myös asfalttikenttävarastointi, mikä vähentää epäpuhtauksien pääsyä hakkeen joukkoon. Asfalttikentällä myös työskentelyolosuhteet ovat tienvarsivarastoa paremmat. Terminaali soveltuu lisäksi erinomaisesti kahden eri kuljetusmuodon liityntäpaikaksi. Lisäksi mahdollisuus käyttää suuria ja tehokkaita terminaalihakkureita/-murskaimia parantaa tuottavuutta. (Heikkilä ym. 2005, 35; Karttunen ym. 2010, 125.)

Huonoina puolina terminaalihaketuksessa ovat suuri varastotilan tarve, terminaalin korkeat rakentamiskustannukset ja kuljetuskustannukset. Kuljetuskustannukset kasvavat, koska terminaalin kautta kulkevat hankintaketjut ovat useimmiten pidempiä kuin suoraan autokuljetukseen perustuvat hankintaketjut. Energiapuun kuljettaminen hakettamattomana terminaaliin tarkoittaa myös autojen kuljetuskapasiteetin vajaakäyttöä, koska autojen kokonaiskantavuutta ei päästä hyödyntämään. Lisäksi työvaiheiden lukumäärä ja kustannukset kasvavat, koska lastauksia ja purkamisia tulee lisää. (Heikkilä ym. 2005, 35; Karttunen ym. 2010, 125.)

2.5 Rautateiden merkitys energiapuun kuljetuksissa

Kasvat metsäenergian käyttömäärät johtavat kuljetusmatkojen pidentymiseen, koska enää ei voida käyttää vain taloudellisesti kannattavimpia, käyttöpaikkaa lähellä olevia, energiapuuvarantoja. Tämä nostaa esiin ajatuksen rautateiden nykyistä laajemmasta käytöstä energiapuun kuljetuksiin. Aiemman tutkimustiedon perusteella rautateiden käyttö on todettu autokuljetuksia kannattavammaksi keskimäärin 150 km ylittävillä etäisyyksillä (Enström 2009, 4; Pihlajamäki & Salo 2010, 41; Tahvanainen & Anttila 2011). Tämä etäisyys tullaan tulevaisuudessa saavuttamaan todennäköisesti useassakin energiapuun hankintaketjussa.

Torvelaisen (2011, 207) selvityksen perusteella vuonna 2010 kaikista raakapuun (energiapuun lisäksi mukana myös ainespuu) kaukokuljetuksista 73 % (m³) tehtiin autokuljetusketjulla, 24 % rautatiekuljetusketjulla ja loput vesitie-

kuljetusketjulla. On lisäksi huomattava, että sekä rautatiekuljetusketjuun että vesitiekuljetusketjuun kuuluu alku- ja loppukuljetuksina autokuljetuksia. Tämä lisää vielä selvästi autokuljetuksien kokonaismäärää. Autokuljetukset ovat näin ollen nykytilanteessa selvästi merkittävin raakapuun ja myös energiapuun kuljetusmuoto. Keskimääräinen raakapuun autokuljetusketjun pituus vuonna 2010 oli 110 km. Rautatiekuljetusketjun pituus oli tähän verrattuna noin kolminkertainen (315 km) (Torvelainen 2011, 207).

Sarasen (2009, 54) tutkimuksen mukaan paremmalla toiminnan suunnittelulla raakapuun kuljetusten kustannukset saadaan tiputettua jopa 57 % toteutuneista kustannuksista. Tämä vaatii korkeaa 80 % kapasiteetin käyttöastetta. Käyttöasteella 60–70 % kustannukset nousevat 80 % käyttöastetasoon verrattuna 6–11 %. Tämä kertoo toisaalta rautatiekuljetusten suurista pääomakustannuksista ja käyttöasteiden merkityksestä, mutta ennen kaikkea kuljetusten merkittävästä tehostamispotentiaalista. Rautateiden tavaraliikenteen kilpailun avautumisen (vuosi 2007) ja uusien kilpailijoiden tulon markkinoille voidaan olettaa tehostavan toimintaa, jolloin rautatiekuljetukset voisivat olla kannattavampia lyhyemmilläkin kuljetusmatkoilla (Ilikkanen & Siren 2005, 59). Rautatiekuljetukset tarvitsevat kannattaakseen yleensä suuria volyymeita. Vahvoissa tavaravirroissa ja suorissa yhteyksissä, joissa ei tarvitse tehdä vaihtotyötä, voivat rautatiekuljetukset olla maantiekuljetuksia edullisempia jo alle 50 km matkalla (Ilikkanen & Siren 2005, 58).

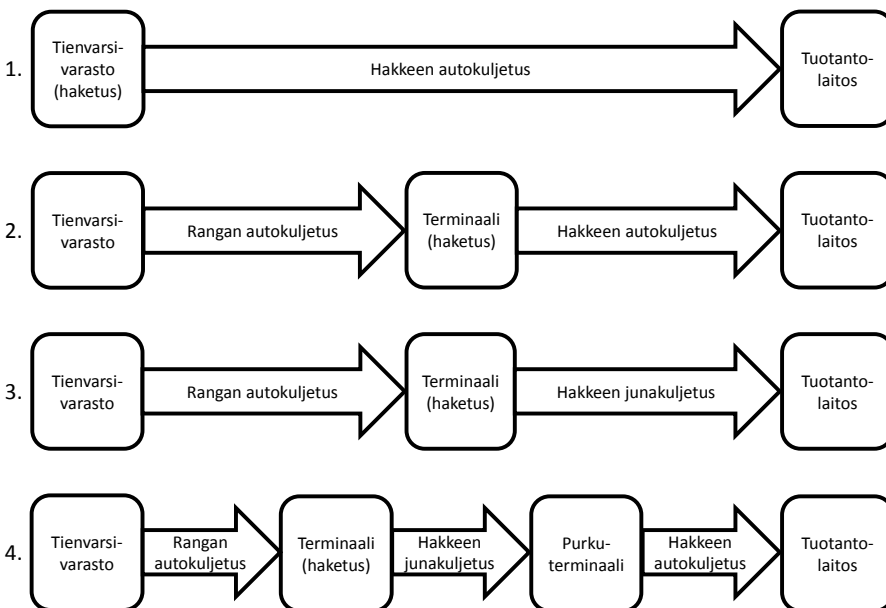
Rautatieterminaalien tapauksessa varsinaisen jalostustermiinalin tulisi sijaita lähellä energiapuuvarantoja, jotta autokuljetuksen osuus jäisi pieneksi. Vastaavasti kuorman purku tulisi tehdä mahdollisimman lähellä käyttöpaikkaa. Näin päästään mahdollisimman paljon hyödyntämään edullista rautatiekuljetusta. Tässä tutkimuksessa junan purkamista kokeiltiin sekä käyttökohteella että erillisessä purkutermiinalissa, josta hake kuljetettiin autoilla käyttökohteelle. Rautatiet ovat mahdollisuus energiapuun kuljetuksissa erityisesti alueilla, joilla käyttöä on paljon eli joko useita pieniä laitoksia tai yksi iso laitos. Kovin hajallaan olevia pieniä laitoksia rautatiet palvelevat huonosti.

Rautateiden käytettävyyttä heikentää rataverkon kunto. Rataverkko on heikoimmassa kunnossa usein juuri niillä alueilla, joilla energiapuuta olisi parhaiten saatavissa (Tahvanainen & Anttila 2011, 3361). Nämä alueet sijaitsevat pääasiassa Itä- ja Pohjois-Suomessa. Osa rataosuuksista on jopa kokonaan suljettu.

3. AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Käytetty aineisto

Tutkimusaineistona käytettiin tietoja energiapuun hankintaketjujen rakenteesta, toiminnasta ja kustannuksista. Energiapuun hankintaketjuja on kuvattu useissa aiemmissa tutkimuksissa (esim. Hakkila 2006 ja Ryymin ym. 2008), joiden pohjalta niiden rakennetta ja toimintaa on selvitetty. Tässä tutkimuksessa keskityttiin rangan hankintaketjuihin. Hankintaketjujen kustannuksia selvitettiin aiemman tutkimustiedon ja alan toimijoille tehtyjen kyselyiden avulla.



Kuvio 2. Vertailtavat hankintaketjut.

Tutkimuksessa vertailtiin neljän eri hankintaketjun toimintaa (kuvio 2). Ensimmäinen hankintaketju muodostettiin yleisimmin käytetyn eli tienvarsihaketuksen perustuvan rangan hankintaketjun mukaan. Tämän ketjun mukanaolo nähtiin tärkeäksi, jotta terminaalin kautta kulkeville ketjuille saatiin vertailuarvoja. Toinen hankintaketju muodostettiin kulkemaan terminaalin kautta. Tässä ketjussa ranka kuljetettiin sellaisenaan terminaaliin, jossa se hakettiin ja kuljetettiin hakeautolla suoraan käyttökohteelle. Kolmas hankintaketju oli muilta osin yhtenevä toisen hankintaketjun kanssa, mutta tässä vaihtoehdossa hake kuljetettiin terminaalista käyttökohteelle junalla. Neljäs hankintaketju poikkesi kolmanesta hankintaketjusta siten, että juna purettiin erillisessä purkuterminaalissa, josta hake kuljetettiin hakeautolla käyttökohteelle.

Näiden neljän hankintaketjun mukanaolo mahdollistaa toisaalta terminaalin kautta kulkevien hankintaketjujen vertailun tienvarsihakemukseen pohjautuvaan ketjuun ja toisaalta rautatiekuljetusten vertailun maantiekuljetuksiin. Lisäksi erillisen purkuterminaalin käyttäminen hankintaketjussa 4 mahdollistaa kuormaamisen ja purkamisen kustannusvaikutusten havainnoinnin. Kaikki tarkastellut hankintaketjut alkoivat tienvarressa olevasta rankavarastosta ja päättyivät käyttöpaikalle.

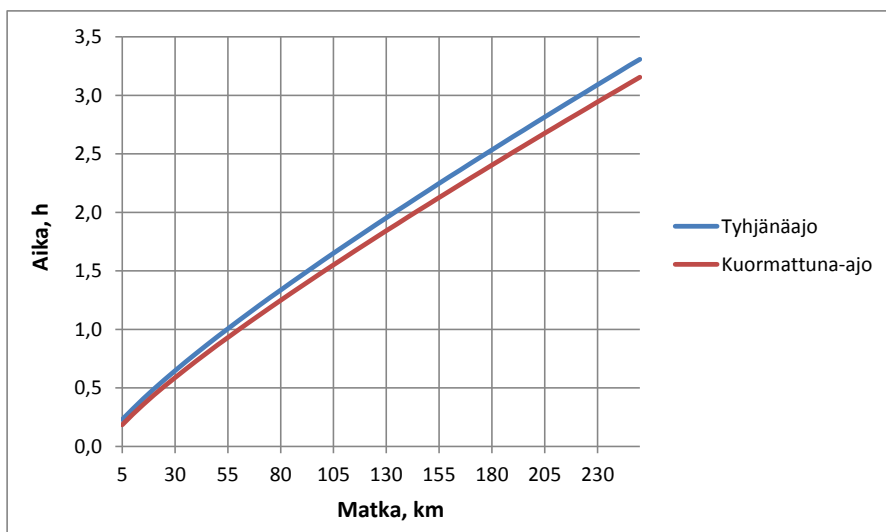
3.1.1 Hankintaketjujen toiminta

Ensimmäinen hankintaketjuista perustuu hakkeen suoraan autokuljetukseen ja tienvarsihakemukseen. Hakeauton kuljetuskapasiteettina tutkimuksessa käytettiin 120 i-m^3 (Halonen & Vesisenaho 2002; Kuitto 2005, 305) ja hakkurin käyttötuntituotoksena $100 \text{ i-m}^3/\text{h}$ (Kärhä ym. 2011, 26; Laitila & Väätäinen 2011, 114). Käyttötuntituotoksessa ei ole huomioitu tienvarsivarastojen välisiin siirtoihin kuluva aikaa. Sen sijaan työpistesiirot (yksittäisellä varastopaikalla tapahtuvat siirrot), huollot, hakemukseen valmistautuminen, kasan järjestely, jälkityöt ja alle 15 minuutin keskeytykset on huomioitu (Laitila & Väätäinen 2011, 112). Hakkuri tuotti haketta suoraan auton kuormatilaan eli haketusnopeus oli sama kuin kuorma nopeus. Kuorman täytyttyä hakkuri odotti seuraavan hakeauton saapumista kuormattavaksi. Useamman hakeauton tapauksessa myös hakeautot saattoivat joutua jonottamaan kuormattavaksi pääsyä. Tämä riippui kuljetusetaisyydestä sekä kuorma- ja purkunopeudesta.

Tienvarsivarastojen välisenä etäisyytenä pidettiin 21 km (Kuitto ym. 1994; Ikkäheimo & Asikainen 1999, 494) ja yksittäisen tienvarsivaraston rankamääränä 150 m^3 (Laitila ym. 2004, 16). Aina tienvarsivaraston tyhjennettyä hakkuri siirtyi seuraavalle kohteelle. Hakkurin tienvarsivarastojen välisenä siirtonopeutena käytettiin samaa arvoa kuin kuormatuilla hakeautoilla.

Hakeautojen liikkumisen nopeus tienvarsivarastojen ja käyttökohteen välillä riippui kuljetusmatkasta kuvion 3 mukaan. Hakeauton purkunopeutena käyttökohteella käytettiin $260 \text{ i-m}^3/\text{h}$ (Laitila & Väätäinen 2011, 114). Hakeautot ajoivat käyttökohteelle aina täysillä kuormilla, jos mahdollista. Mikäli kuorma ei täyttynyt tienvarsivarastolla, hakeauto siirtyi hakkurin perässä täydentämään kuormaa seuraavalle varastolla. Kuorma oli luonnollisesti pysähdyksissä siirtymisen aikana. Tienvarsivarastoissa oleva energiapuu tyhjennettiin tutkimuksessa kokonaan riippumatta siitä oliko viimeinen kuorma vajaa vai täysi.

Rangan oletettiin kuivuneen vuoden ajan tienvarsivarastossa ennen kuljetusten aloittamista, johon pohjautuen laskettiin rangan varastoinnista syntyvät pääomakustannukset. Simuloinnin maksimikesto-aika oli 30 vuorokautta.



Kuvio 3. Matkan vaikutus kuljetusaikaan tyhjänä- ja kuormattuna-ajossa (Asikainen ym. 2001: 58).

Toisessa hankintaketjussa ranka kuljetettiin tienvarresta terminaaliin, jossa se hakettiin ja kuljetettiin edelleen hakeautolla käyttökohteelle. Ranka-auton kuljetuskapasiteettina käytettiin 40 m^3 , kuormausnopeutena $72 \text{ m}^3/\text{h}$ ja purkunopeutena terminaalissa $83 \text{ m}^3/\text{h}$ (Laitila & Väättäin 2011, 109 – 114). Ranka-autot lähtivät tienvarsivarastolta säännöllisin väliajoin. Väliajan pituus riippui autojen määrästä ja kuljetusmatkasta. Ranka- ja hakeautojen ajonopeudet pohjautuivat kuvioon 3. Terminaali oli kooltaan 5 ha ja sinne mahtui maksimissaan $50\,000 \text{ m}^3$ energiapuuta (Impola & Tiihonen 2011, 10). Sekä hakkeelle että rangalle oli mahdollista määrittää terminaalissa oma maksimitasonsa. Sekä kuljetus että haketus pysähtyivät automaattisesti määritettyjen maksimitasojen kohdalla.

Hakkurin käyttötuntituotoksena käytettiin lukuarvoa $220 \text{ i-m}^3/\text{h}$ (Kärhä & Mutikainen 2011, 18). Haketustuottavuus oli näin ollen terminaalissa $120 \text{ i-m}^3/\text{h}$ korkeampi kuin tienvarressa. Tutkimustiedon lisäksi käyttötuntituottavuuksia selvitettiin myös hakeurakoitsijoilta. Ero haketusnopeuksissa johtuu toisaalta terminaalissa käytettävästä tienvarsihakkuria järeämmästä hakkurista ja toisaalta tienvarren vaikeammista työolosuhteista sekä työpistesiirojen suuremmasta määrästä. Hakeauton kuormaus hoidettiin pyöräkuormaajalla, jonka kuormausnopeudeksi terminaalissa arvioitiin $420 \text{ i-m}^3/\text{h}$ ja purkunopeudeksi käyttöpaikalla $260 \text{ i-m}^3/\text{h}$ (Laitila & Väättäin 2011, 114; Tahvanainen & Anttila 2011, 3366). Hakeauton kuormaus käynnistyi vasta, kun terminaalissa oli haketta

vähintään yhden hakeauton kuorman verran. Hakeauton kuorman täytyttyä pyöräkuormaaja odotti seuraavan hakeauton saapumista kuormattavaksi tai vaihtoehtoisesti hakeauto jonotti kuormattavaksi pääsyä. Hakeauton purkamisen käyttökohteella tapahtui kippaavalla kuormatilalla.

Kolmas hankintaketju oli muutoin samanlainen kuin hankintaketju 2, mutta tässä ketjussa hake kuljetettiin terminaalista käyttökohteelle junalla. Myös junan liikkumisen nopeus terminaalin ja käyttökohteen välillä perustui kuvioon 3. Junan kuljetuskapasiteetti oli 2400 i-m³. Kuormausnopeutena käytettiin samaa 420 i-m³/h arvo kuin hakeautoillakin, mutta purkunopeus käyttöpaikalla oli 475 i-m³/h (Tahvanainen & Anttila 2011, 3366). Junan kuormaus käynnistyi vasta, kun terminaalissa oli rankaa ja haketta yhteensä riittävästi yhteen juna-kuormaan. Purkamiseen käytettiin pyöräkuormaajaa. Käytettävissä oli vain yksi veturi ja vaunukerta eli junan oli tehtävä edestakainen matka terminaalin ja käyttökohteen välillä ennen kuin kuormausta voitiin jatkaa.

Neljäs hankintaketju poikkesi hankintaketjusta kolme loppukuljetuksen osalta. Tässä hankintaketjussa juna purettiin purkuterminaalissa, josta hake kuljetettiin käyttökohteelle hakeautoilla. Hakeautojen liikkuminen purkuterminaalin ja käyttökohteen välillä sekä kuormaus ja purku perustuivat edellä mainittuihin arvoihin.

Kaikille hankintaketjuille tehtiin simuloinnit eri kuljetusmatkoilla. Terminaalin kautta kulkeville ketjuille tehtiin simuloineja myös eri volyymeilla. Volyymilla oli hankintaketjuissa vaikutusta ainoastaan terminaalin kustannuksiin, koska terminaalin oli omassa omistuksessa. Muut ketjun toiminnot ostettiin alihankkijoilta aina todellisen tarpeen mukaan, jolloin yksikköä (m³) kohti kustannukset säilyivät samana volyymin riippumatta. Kaluston määrä määritettiin simuloinneissa siten, että odotusajat minimoituivat.

Simuloinnin kestoajaksi pyrittiin määrittämään mahdollisimman lähelle 30 vuorokautta. Lisäksi pyrittiin siihen, että kuljetusvirta jakaantuu tasaisesti koko 30 vuorokauden ajalle. Tarvittaessa kuljetuksissa ja tienvarsihaketuksessa saattoi olla muutaman päivän taukoja, jos se oli ketjun kokonaiskannattavuuden kannalta järkevää. Työpäiviä viikossa oli viisi ja päivittäinen työaika 8 h. Tienvarsi-varastot tyhjennettiin simuloinneissa kokonaan riippumatta siitä oliko viimeinen kuorma vajaa vai täysi. Sen sijaan terminaalista ajettiin vain täysillä kuormilla.

Simulointimalli huomioi rangan oletetun vuoden kuivumisajan tapahtuvan ennen simuloinnin alkua. Tämä pätee hankintaketjussa 1, jossa varastointia on pelkästään tienvarressa. Terminaalin kautta kulkevissa ketjuissa merkittävä

osa kuivumisajasta kuuluu kuitenkin terminaalissa. Tämä tulee ottaa tulosten arvioinnissa huomioon, koska kuljetuskustannukset terminaaliiin syntyvät todellisessa tilanteessa mallin esittämää aiemmin.

3.1.2 Hankintaketjujen kustannukset

Hankintaketjujen kustannusten laskennassa käytetyt lukuarvot on esitetty taulukossa 2. Lukuarvojen lähteet ja laskentaperusteet kuvataan tarkemmin tämän luvun tekstissä.

Haketyöntekijän ja pyöräkuormaajankuljettajan työkustannukset terminaalissa on laskettu määritettyjen päivittäisten työtuntien mukaan riippumatta siitä, onko terminaalissa hakettavaa rankaa tai autoa/junaa kuormattavana. Ranka- ja hakeauton kuljettajien sekä veturin kuljettajan työkustannukset on laskettu todellisten ajo-, kuormaus- ja purkuaikojen mukaan eli odottelusta ei ole maksettu. Myös tienvarsihaketuksen työkustannukset perustuvat todellisiin käyttötunteihin ilman odotusaikoja. Ajot on kuitenkin pyritty järjestämään niin, että odotusajat minimoituvat.

Pääomakustannukset eli korot ja poistot on kohdistettu kalustolle terminaalialuetta ja siellä käytettävää kalustoa lukuun ottamatta keskimääräisiin vuotuisiin käyttötunteihin perustuen. Tämä on yleisesti käytetty ja toimiva tapa. Tilanteessa, jossa yksi toimija tarjoaa vain vähän töitä, on auto- tai hakkuriurakoitsijan tehtävä töitä useammalle toimijalle. Tällöin pääomakustannuksia ei pysty järkevästi kohdistamaan ilman arviota vuotuisista käyttötunneista. Ranka- ja hakeautoille sekä junalle kohdistuu pääomakustannuksia kaikilta niiden käyttötunneilta. Käyttötunteihin on luettu kuormaukseen, purkuun ja varsinaiseen ajoon kuluva aika. Tienvarsihaketuksen tapauksessa myös hakeautojen siirtymät varastojen välillä luetaan käyttötunteihin. Tienvarsihakkurilla käyttötunteja ovat siirtymät varastoille ja haketustoiminta. Käyttötunteihin perustuvaa laskentaa hyödynnetään myös purkuterminaaliiin ja käyttökohteen pyöräkuormaajille.

Terminaalista tulee pääomakustannuksia koko siltä ajalta, kun siellä säilytetään rankaa tai haketta. Edelleen terminaalihakkurista tulee pääomakustannuksia haketuksen alusta aina siihen asti, kun viimeinenkin ranka on hakettu. Pyöräkuormaajan pääomakustannukset terminaalissa alkavat, kun terminaaliiin tulee ensimmäinen autokuorma ja loppuvat, kun viimeinen auto/juna on kuormattu.

Taulukko 2. Kustannusten laskennassa käytetyt lukuarvot.

1. Työkustannukset

1.1 Palkat

• Ranka- ja hakeautonkuljettaja	14 €/h
• Haketyöntekijä	14 €/h
• Pyöräkuormaajankuljettaja	14 €/h
• Veturinkuljettaja	20 €/h
• Välilliset palkkakustannukset	+ 68 % palkkakustannuksiin

2. Kuljetuskaluston ja terminaalin kustannukset

2.1 Kiinteät kustannukset

2.1.1 Pääomakustannukset

• Ranka-auton hankintahinta	330 000 €
• Hakeauton hankintahinta	300 000 €
• Ranka- ja hakeauton pitoaika	4,5 v
• Ranka- ja hakeauton arvonaleneminen	25 %/vuosi
• Veturin hankintahinta	3,5 milj. €
• Veturin pitoaika	25 v
• Veturin arvonaleneminen	18 %/vuosi
• Hakevaunun hankintahinta	150 000 €
• Hakevaunun pitoaika	30 v
• Hakevaunun arvonaleneminen	18 %/vuosi
• Pyöräkuormaajan hankintahinta	210 000 €
• Pyöräkuormaajan pitoaika	20 v
• Pyöräkuormaajan arvonaleneminen	20 %/vuosi
• Hakkurin hankintahinta	
– terminaali	700 000 €
– tienvarsi	500 000 €
• Hakkurin pitoaika	5 v
• Hakkurin arvonaleneminen	18 %/vuosi
• Rangan hinta tienvarressa	25 €/m ³
• Terminaalin perustamiskustannukset	100 €/m ²
• Terminaalirautatien rakentamiskustannukset	1,18 milj. €
• Terminaalin käyttöaika	30 v
• Pääoman korko	4 %
• Käyttötunnit	
– hakeauto	2 600 h/vuosi
– ranka-auto	2 600 h/vuosi
– pyöräkuormaaja	1 200 h/vuosi
– juna	2 600 h/vuosi

2.1.2 Vakuutusmaksut

- Ranka- ja hakeauton vakuutusmaksut 4 500 €/vuosi
- Veturin ja vaunujen vakuutusmaksut yht. 40 000 €/vuosi
- Pyöräkuormaajan vakuutusmaksut 750 €/vuosi
- Hakkurin vakuutusmaksut 10 000 €/vuosi

2.1.3 Liikennöimismaksut (katsastus+vero)

- Ranka- ja hakeauton liikennöimismaksut 1 800 €/vuosi
- Hakkurin liikennöimismaksut 1 800 €/vuosi

2.2 Muuttuvat kustannukset

2.2.1 Polttoainekustannukset

- Ranka- ja hakeauton polttoaineen kulutus
tyhjänäajossa $59,928 \times \text{ajomatka}^{(-0,0857)}$ l/100 km
- Ranka- ja hakeauton sekä hakkurin polttoaineen
kulutus kuormattuna $83,445 \times \text{ajomatka}^{(-0,0587)}$ l/100km
- Junan polttoaineen kulutus 3 l/1 000 btkm
- Ranka- ja hakeautojen pysähdysten
aikainen polttoaineen kulutus 8 l/kuorma
- Pyöräkuormaajan polttoaineen kulutus 18 l/käyttötunti
- Hakkurin polttoaineen kulutus
 - terminaali 0,4 l/i-m³
 - tienvarsi 0,5 l/i-m³
- Polttoöljyn hinta (alv:ton) 0,9 €/l
- Dieselin hinta (alv:ton) 1,1 €/l

2.2.2 Korjaus-, huolto- ja tarvikkeekustannukset

- Ranka- ja hakeauton huolto- ja
ylläpitokustannukset 0,2 €/km
- Veturin huolto- ja ylläpitokustannukset 22,5 €/käyttötunti
- Hakevaunun huolto- ja
ylläpitokustannukset 3 000 €/vuosi
- Pyöräkuormaajan huolto- ja
ylläpitokustannukset 5 000 €/vuosi
- Hakkurin huolto- ja ylläpitokustannukset
 - terminaali 0,2 €/i-m³
 - tienvarsi 0,25 €/i-m³
- Hakkurin teräkustannukset
 - terminaali 0,2 €/i-m³
 - tienvarsi 0,25 €/i-m³
- Terminaalin ylläpitokustannukset 4 000 €/vuosi

3. Kuljetusorganisaation kustannukset

- Organisaatio- ja hallintokustannukset yhteensä 4 % kokonaiskustannuksista

4. Väyläkustannukset

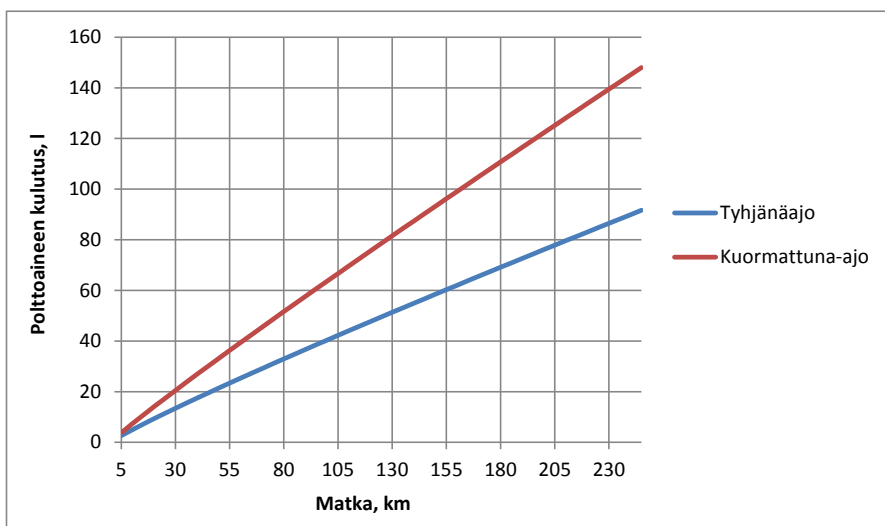
- Ratamaksut (perusmaksu+ratavero) 0,00235 €/btkm

5. Toimintaylijäämä

- Toimintaylijäämä yhteensä 5 % kokonaiskustannuksista

Pitoajanaikaiset poistot laskettiin huomioiden kaluston keskimääräinen pitoaika ja arvonalenemisprosentti. Pääoman korkona käytettiin 4 %. Vuotuiset pääomakustannukset muutettiin käyttötuntikohtaisiksi, jotta kustannusten kehittymistä voitiin seurata simuloinnin edetessä. Vakuutusmaksut ja liikennöimismaksut (katsastusmaksu + ajoneuvovero) muutettiin myös samasta syystä käyttötuntikohtaisiksi.

Autokaluston ajokilometreistä muodostuvat polttoainekustannukset laskettiin autoille Väkevän ym. (2004) esittämällä ajomatkaan perustuvilla laskukaavoilla (kuvio 4). Lisäksi autokalustolle laskettiin kuormakohtainen pysähdysten aikainen polttoaineen kulutus. Tämä pitää sisällään kuormaamisen ja purkamisen aikaisen polttoaineen kulutuksen. Hakkurin siirrosta syntyvät polttoainekustannukset saatiin kuormattuna-ajon kulutuksesta. Junalle polttoaineen kulutus laskettiin bruttotonnikilometriä kohti. Pyöräkuormaajalle polttoaineen kulutus laskettiin käyttötuntia kohti ja hakkurille haketettua irtokuutiota kohti.



Kuvio 4. Hakkurin sekä ranka- ja hakeauton ajonaikainen polttoaineen kulutus (Väkevä ym. 2004: 17–18).

Korjaus-, huolto- ja tarvikkekustannukset laskettiin tapauksesta riippuen joko kilometriä, käyttötuntia, vuotta tai irtokuutiota kohti. Vuotuiset kustannukset muutettiin simuloinneissa käyttötuntikohtaisiksi. Kuljetusorganisaation kustannukset (hallintokustannukset) ja voittomarginaali laskettiin prosenttiosuutena kokonaiskustannuksista. Väyläkustannukset eli rautatien käytöstä syntyvät ratamaksut laskettiin bruttotonnikilometriä kohti.

Simulointimallissa pyrittiin siihen, että kustannukset muodostuisivat mahdollisimman tarkasti sinä ajankohtana, kun ne todellisuudessakin syntyisivät. Tällaiseen tilanteeseen ei voida käytännössä täysin päästä. Esimerkiksi polttoaineesta kustannukset muodostuvat jo siinä vaiheessa, kun kone tankataan eikä ajettaessa, kuten tässä tutkimuksessa. Myös esimerkiksi liikennöimismaksut (katsastusmaksut + ajoneuvovero) maksetaan tiettyinä ajanhetkenä vuodessa, mutta simuloinnissa tämä huomioidaan tuntia kohti. Sama tilanne on myös huolto-, väylä- ja palkkakustannuksissa. Tämä on puute, joka teoreettisessa simulointimallissa joudutaan hyväksymään.

Taulukossa 2 esitetyt kustannustekijät on kerätty useasta eri lähteestä. Palkkatiedot on saatu Metsäkonealan työehtosopimuksesta (2011), Veturimiestehtävät rautatieliikenteessä työehtosopimuksesta (2012), aiemmasta tutkimuksesta sekä alan toimijoilta kysymällä. Hankintahinnat, arvonalenemisprosentit, pitoajat ja vuotuiset käyttötunnit on arvioitu aiemman tutkimuksen pohjalta (Heikkilä ym. 2005, 19–37; Väätäinen ym. 2006, 394–395; Ihalainen & Niskanen 2010, 9–10; Impola & Tiihonen 2011, 32; Laitila & Väätäinen 2011, 115) ja epäselvissä tapauksissa varmistettu alan toimijoilta. Käyttötuntien osalta haluttiin pitäytyä tilanteessa, jossa sekä auto- että junakaluston vuotuiset käyttötuntimäärät ovat samoja. Tämä nähtiin vertailtavuuden kannalta hyvänä ratkaisuna. Todellisessa tilanteessa junien keskimääräiset käyttötuntimäärät voivat olla jonkin verran autokalustoa korkeammat.

Vakuutus- ja liikennöimismaksut on saatu vakuutus- ja katsastusyhtiöiltä sekä liikenteen turvallisuusvirastosta. Polttoaineen kulutusarvot ja -kustannukset on saatu aiemmasta tutkimuksesta (Väkevä ym. 2004, 17–19; Kärhä ym. 2010b, 27; Pajujoja & Kärhä 2011, 22) ja alan toimijoilta. Korjaus-, huolto- ja tarvikkekustannukset on arvioitu aiemmasta tutkimuksesta (Väätäinen ym. 2006, 394–395; Rinne 2010, 52–54; Laitila & Väätäinen 2011, 115) ja kysytty alan toimijoilta. Rautatiekuljetuksista perittävät ratamaksut on saatu Rautateiden verkko-selostuksesta (2011, 49).

3.2 Simulointi

Simulointi on menetelmä, jolla imitoidaan todellisen maailman prosessien ja järjestelmien toimintaa (Banks 1998, 2–3). Monien ajassa yhtäaikaaisesti tapahtuvien prosessien seurauksena syntyy valtavasti erilaisia skenaarioita ja lopputulemia, joiden ymmärtämiseen ja havainnointiin simulointi soveltuu erityisen hyvin (Harrington & Tumay 2000, 2). Simulointi mahdollistaa ”mitä jos” -kysymysten esittämisen, auttaa järjestelmien suunnittelussa (Banks

1998, 2–3) ja eri skenaarioiden järkevyyden sekä kannattavuuden arvioinnissa (Harrington & Tumay 2000, 2). Sekä olemassa olevia että suunnitteluasteella olevia järjestelmiä voidaan mallintaa simuloinnilla (Banks 1998, 2–3).

Robinson (2004: 4–7) on kuvannut todellisen maailman prosesseja tyypillisesti muuttuviksi, toisiinsa kytkeytyneiksi ja monimutkaisiksi. Prosessien monimutkaisuutta voidaan tarkastella kombinatorisuuden ja dynaamisuuden kautta (Robinson 2004: 5). Kombinatorisuus tarkoittaa systeemin komponenttien määrää ja laajemmin tarkasteltuna myös eri komponenttien toiminnan kaikkia mahdollisia yhdistelmiä. Dynaaminen monimutkaisuus syntyy komponenttien toiminnan liittymisestä toisiinsa. Mitä tiiviimmin toiminnot ovat toisiinsa kytkeytyneitä, sitä suurempaa on dynaaminen monimutkaisuus (Robinson 2004: 5–7).

3.2.1 Simulointimallien luokittelu

Yksi toimiva tapa luokitella simulointimalleja on niiden jakaminen kolmen eri ulottuvuuden mukaan: staattinen – dynaaminen, jatkuva – epäjatkua ja deterministinen – stokastinen (Kelton ym. 2002, 9; Rimpiläinen 2007, 26).

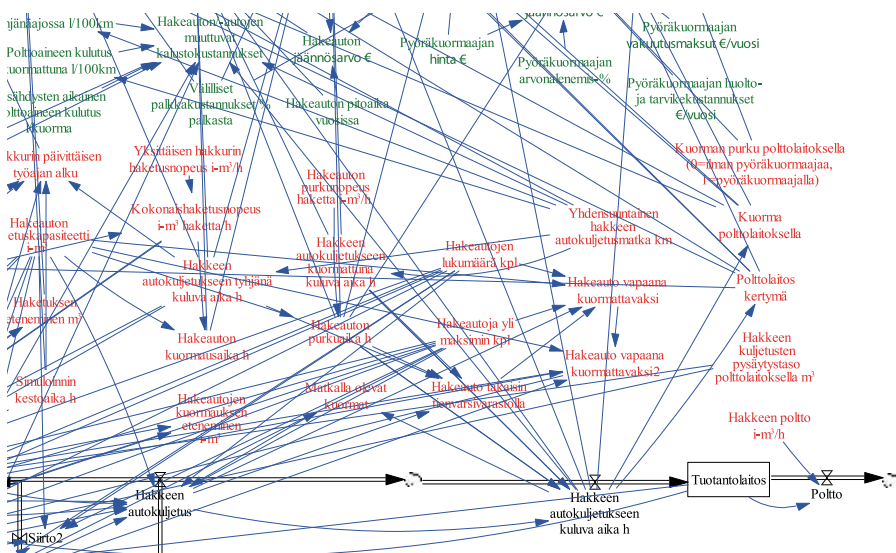
Useimmat matemaattiset mallit ovat staattisia ja kuvaavat systeemiä vain yhtenä määrättynä ajanhetkenä (Banks 1998, 6–7). Staattisessa mallissa ajalla ei ole luontaista vaikutusta ja muuttujat pysyvät vakioina koko simuloinnin ajan. Sen sijaan dynaamisessa mallissa muuttujien toiminta ja arvot muuttuvat ajan edetessä (Kelton ym. 2002, 9).

Mikäli mallissa ei ole sattumanvaraisia lähtöarvoja, se on deterministinen. Käytännössä tämä tarkoittaa, että deterministisen mallin kaikki lähtöarvot voidaan syöttää ennen simuloinnin aloittamista. Stokastisen mallin lähtötilanteessa on sattumanvaraisuutta. Sattumanvaraiset lähtöarvot antavat vaihtelevia tuloksia, joten yksi lyhyt simulointi ei välttämättä anna oikeaa kuvaa todellisuudesta. Tämä tulee huomioida simulointiajojen suunnittelussa (Kelton ym. 2002, 9). Stokastisuudella pyritään tuomaan malliin todellisessa tilanteessa olevaa satunnaista vaihtelua.

Jatkuvassa mallissa muutos on mahdollista jokaisella ajanhetkellä. Diskreetissä mallissa muuttujat pysyvät vakioina aikaintervallien yli ja muuttavat arvoaan ainoastaan tiettyinä määrättyinä hetkinä (Kelton ym. 2002, 9; Banks 1998, 6–7). Esimerkiksi nesteen tyhjentyminen säiliöstä on jatkuvaa muutosta, kun taas tavaroiden lähteminen ja saapuminen tuotantoon on diskreettiä (Kelton ym. 2002, 9). Energiapuun hankintaketjuja on luontevaa simuloida dynaamisella, determi-

nistisellä ja diskreetillä mallilla. Hankintaketjun tapahtumat ovat ehdottomasti aikariippuvaisia, normaalitilanteessa varsin vähän sattumanvaraisuutta sisältäviä ja pääpiirteissään epäjatkuvia.

Tässä tutkimuksessa simulointimallit tehtiin Vensim PLE-ohjelmalla, joka antaa monipuoliset mahdollisuudet mallien muodostamiseen. Kuviossa 5 on esitetty esimerkinomainen osakuva yhdestä tutkimuksesta käytetystä simulointimallista. Alhaalla kuviossa näkyvät mustat nuolet kuvaavat varsinaista hankintaketjua. Ketjun toimintaa ohjataan pääasiassa kuviossa punaisina näkyvillä muuttujilla. Vihreällä näkyvät muuttujat ovat kustannusmuuttujia. Jokaiseen muuttujaan on syötetty tietty kaava tai vakiotehtijä, joka omalta osaltaan vaikuttaa mallin antamiin tuloksiin. Muuttujien välillä näkyvät siniset nuolet kuvaavat muuttujien vaikutusta toisiinsa.



Kuvio 5. Osakuva yhdestä tutkimuksesta käytetystä simulointimallista.

3.2.2 Simuloinnin vahvuudet ja heikkoudet

Simuloinnilla on monia etuja muihin tutkimusmenetelmiin verrattuna. Monimutkaisia tosielämän systeemejä on mahdollista kuvata mallilla, jota voidaan arvioida analyttisesti. Tähän tarkoitukseen simulointi on usein ainoa sopiva tutkimusmenetelmä (Law & Kelton 2000, 91). Simulointi mahdollistaa sekä olemassa että suunnitteilla olevien systeemien arvioinnin erilaisilla toimintaehdoilla (Banks 1998, 10–11; Law & Kelton 2000, 92). Tällöin nähdään mikä toimintavaihtoehto parhaiten täyttää tavoitteet ja missä ovat pullonkaulat (Banks 1998, 11; Law & Kelton 2000, 92). Simulointi mahdollistaa myös monia muita

menetelmiä paremmin simuloitavaan ilmiöön vaikuttavien satunnaistekijöiden huomioimisen (Law & Kelton 2000, 92; Robinson 2004, 8). Lisäksi simuloimalla kokeiden tekeminen vie huomattavasti vähemmän aikaa kuin oikeassa systeemissä ja on myös useimmiten edullisempaa (Banks 1998, 10; Robinson 2004, 8). Rajoitteita simuloinnissa on yleensä vähemmän kuin monissa muissa menetelmissä ja sen esittämät tulokset ovat selkeitä. Simuloinnilla saadaan esiin uusia ja yllättäviä toimintatapoja, jotka muuten jäisivät havaitsematta (Robinson 2004, 8–11).

Simuloinnilla on myös puutteensa. Simulointimallia ei ole mahdollista tehdä täysin todellisuutta vastaavaksi, vaan siinä on tehtävä yksinkertaistuksia (Law & Kelton 2000, 92). Mallit ovat kuitenkin useimmiten riittävän tarkkoja. Liian yksinkertaistetut mallit, kuten myös epätarkat lähtötiedot ja satunnaisvaihtelun huomiotta jättäminen aiheuttavat tuloksiin epätarkkuutta (Law & Kelton 2000, 92). Toisaalta liian monimutkainen malli vaikeuttaa kokonaisuuden hahmottamista ja tekee mallin käytöstä vaikeaa (Banks 1998, 12; Law & Kelton 2000, 92; Robinson 2004, 10–11). Rajanveto mallin kattavuuden ja riittävän yksinkertaisuuden välillä korostuu. Menetelmänä simulointi on paljon aikaa vievä ja kallias (Banks 1998, 12; Law & Kelton 2000, 92; Robinson 2004, 10–11). Lisäksi simulointimallien tekeminen vaatii paljon lähtödataa ja erityisosaamista. Realistisuuden tunne ja suuri lähtödatan määrä saattavat myös aiheuttaa liian suurta luottamusta mallin antamiin tuloksiin (Robinson 2004, 10–11).

3.2.3 Mallien verifiointi ja validointi

Ennen kuin malleja käytetään varsinaisten tulosten simulointiin, ne täytyy verifioida ja validoida. Verifiointi tarkoittaa, että tarkistetaan mallin toimivan siten kuin sen on ajateltu toimivan (Law & Kelton ym. 2000, 264; Robinson 2004, 209). Tämä tarkoittaa siis käytännössä virheiden etsimistä. Validoinnilla taas varmistutaan, että malli vastaa todellisuutta (Law & Kelton ym. 2000, 265). Validoinnissa on kaksi päätekijää: riittävä tarkkuus ja mallin soveltuvuus suunniteltuun käyttötarkoitukseen (Robinson 2004, 210). Mikään malli ei koskaan vastaa 100 % todellisuutta, mutta mallin tulee mahdollistaa todellisen tilanteen ymmärtäminen ja tutkiminen. Riittävä tarkkuus riippuu pitkälti mallin käyttötarkoituksesta (Robinson 2004, 210). Käyttötarkoituksen ja -kohteiden tietäminen onkin välttämätöntä ennen kuin validointia ja verifiointia voidaan tehdä. Validoinnin ja verifiointin tulisi jatkua koko mallin elinkaaren ajan (Robinson 2004, 210–212).

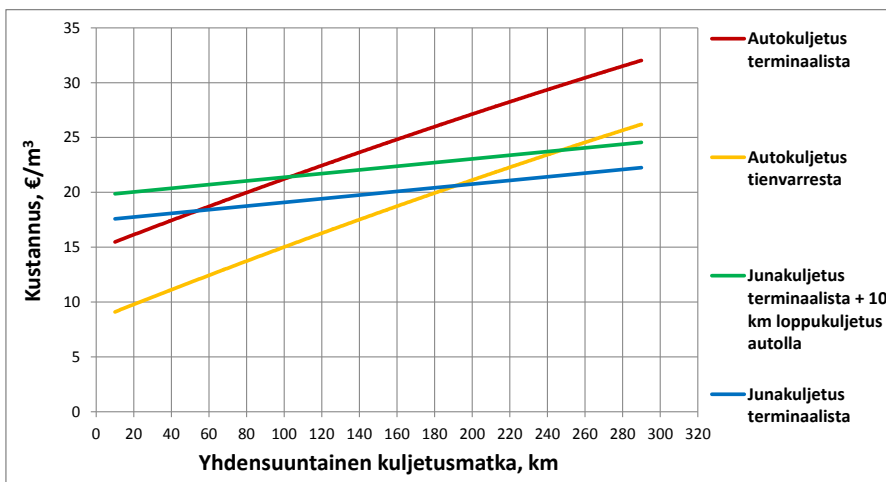
4. TULOKSET JA TARKASTELU

Tulokset on jaettu neljään pääosaan. Ensimmäisenä esitetään perussimulointien tulokset. Nämä ovat tuloksia, joihin muita simulointituloksia verrataan. Toisena tarkastellaan pidempään alkukuljetusmatkaan pohjautuvien simulointien tuloksia. Näiden tulosten avulla voidaan havainnoida kuinka voimakkaasti alkukuljetusmatka vaikuttaa ketjujen kustannuksiin. Kolmanneksi esitetään tulokset, joissa terminaalien kautta kulkee sekä maantie- että rautatiekuljetuksia eri prosenttiosuuksilla. Tämä mahdollistaa kannattavuuden arvioinnin terminaaleissa, joissa käytetään sekä auto- että rautatiekuljetuksia. Neljännen otsikon alle ovat muokattujen mallien tulokset, joissa terminaalien kustannustekijöitä on muutettu. Tällä on havainnollistettu kuinka voimakkaasti terminaalien kautta kulkevien ketjujen kustannukset laskevat, jos terminaalien perustamis- ja työvoimakustannukset saadaan painettua alas.

Kaikkien neljän otsikon alla esitetään kolme perusteiltaan samanlaista kuvaajaa. Kahdessa ensimmäisessä kuvaajassa hankintaketjujen kokonaiskustannuksia tarkastellaan kuljetusmatkaan verrattuna. Toisessa kuvaajassa käytetään volyymia 5000 m³ ja toisessa 15000 m³. Kolmannessa kuvaajassa kokonaiskustannuksia verrataan kuljetusvolyymeihin kuljetusetäisyyksillä 10 km ja 290 km.

4.1 Perussimuloinnit

Kuviossa 6 on esitetty kuljetusmatkan vaikutus hankintaketjujen kustannuksiin volyymilla 5000 m³/kk alkukuljetusmatkan terminaaliin ollessa 10 km. Alkuljetusmatka lasketaan kuviossa esitetyn kuljetusmatkan päälle. Myös junakuljetuksen loppukuljetuksena tehtävä autokuljetus lasketaan esitetyn kuljetusmatkan päälle. Tämä periaate on kaikissa tuloksissa esitetyissä kuvioissa. Kuvioista havaitaan, että junakuljetus terminaalista muuttuu tienvarsihaketukseen ja suoraan autokuljetukseen perustuvaa hankintaketjua kannattavammaksi noin 190 km kohdalla. Verrattaessa suoraa autokuljetusta junakuljetukseen, jossa loppukuljetus (10 km) hoidetaan autolla, on kannattavuusraja noin 250 km. Autokuljetus terminaalista ei muutu missään vaiheessa suoraa autokuljetusta kannattavammaksi.



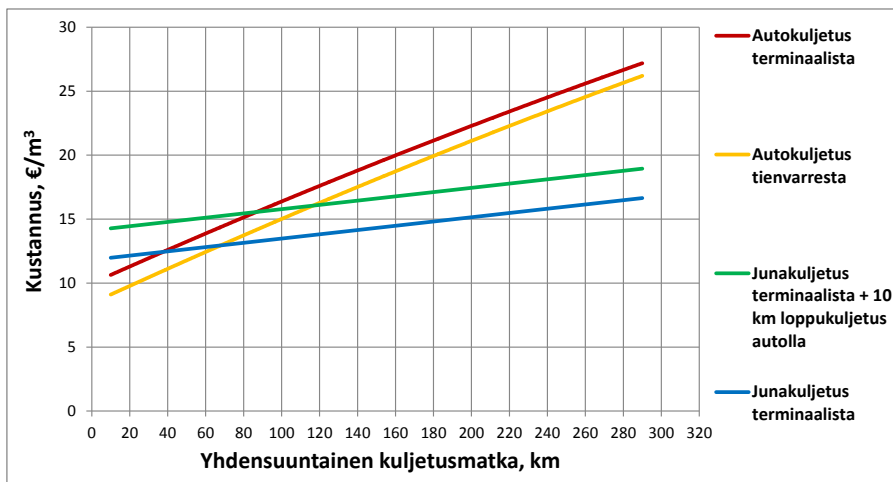
Kuvio 6. Kuljetusmatkan vaikutus hankintaketjujen kustannuksiin volyymilla 5000 m³/kk ja 10 km alkukuljetusmatkalla terminaaliin (alku- ja loppukuljetusmatka lasketaan yhdensuuntaisen kuljetusmatkan päälle).

Junakuljetuksissa ei näin ollen vielä volyymilla 5000 m³/kk päästä aiemmissa tutkimuksissa (Enström 2009, 4; Pihlajamäki & Salo 2010, 41; Tahvanainen & Anttila 2011) havaittuun 150 km kannattavuusrajaan. Verrattuna Laitilan ja Väätäisen (2011, 121) saamiin tuloksiin autokuljetus terminaalista -kuvaaja on kulmakertoimeltaan jonkin verran jyrkempi eli kuljetusetäisyys vaikuttaa kustannuksiin voimakkaammin. Tähän suurin vaikuttava tekijä on todennäköisesti tässä tutkimuksessa käytetty korkeampi polttoaineen hinta ja mahdollisesti myös huolto- ja ylläpitokustannukset on tässä tutkimuksessa arvioitu korkeammiksi. Tätä ei voi täysin aukottomasti todeta, koska laskentaperusteet ovat erilaiset. Lyhyillä etäisyyksillä kustannukset ovat lähellä toisiaan, kun Laitilan ja Väätäisen (2011) tuloksista vähennetään korjuun ja metsäkuljetuksen kustannukset. Suuremmilla etäisyyksillä kustannuksissa tulee heittoa useita euroja.

Tahvanaisen ja Anttilan (2011, 3368) tutkimuksessa junakuljetukset eivät kokopuulla reagoi yhtä voimakkaasti kuljetusetäisyyden kasvuun kuin rangalla tässä tutkimuksessa. Tätäkin selittänee tässä tutkimuksessa käytetyt korkeammat polttoaine- ja huoltokustannukset. Kustannusten taso on tässä tutkimuksessa jo lyhyillä etäisyyksillä (50 km) korkeampi kuin Tahvanaisen ja Anttilan tutkimuksessa. Tämä johtunee siitä, että kuviossa käytetty volyymi on pienempi kuin vertailututkimuksessa.

Terminaaliketjuista autokuljetus on kannattavinta 55 km asti, jonka jälkeen junakuljetus muuttuu kannattavammaksi. Jos junakuljetukseen joudutaan liittämään loppukuljetus autolla, on kannattavuusraja 100 km. Autokuljetusten kuvaajien junakuljetusten kuvaajia suuremmat kulmakertoimet osoittavat selvästi autokuljetusten kustannusten voimakkaamman riippuvuuden kuljetusetäisyydestä.

Kuviossa 7 tarkasteltava tilanne on muutoin sama kuin kuviossa 5, mutta nyt kuukaudessa terminaalin läpi kulkee 15000 m³ energiapuuta. Havaitaan, että yksikkökustannukset kiintokuutiota kohti laskevat merkittävästi. Keskimäärin tämä lasku on 5 €/m³ luokkaa. Junakuljetus terminaalista on suoraa autokuljetusta kannattavampaa jo noin 70 km kohdalla ja junakuljetus, jossa loppukuljetuksena on 10 km autokuljetusta, on suoraa autokuljetusta kannattavampaa noin 110 km kohdalla.



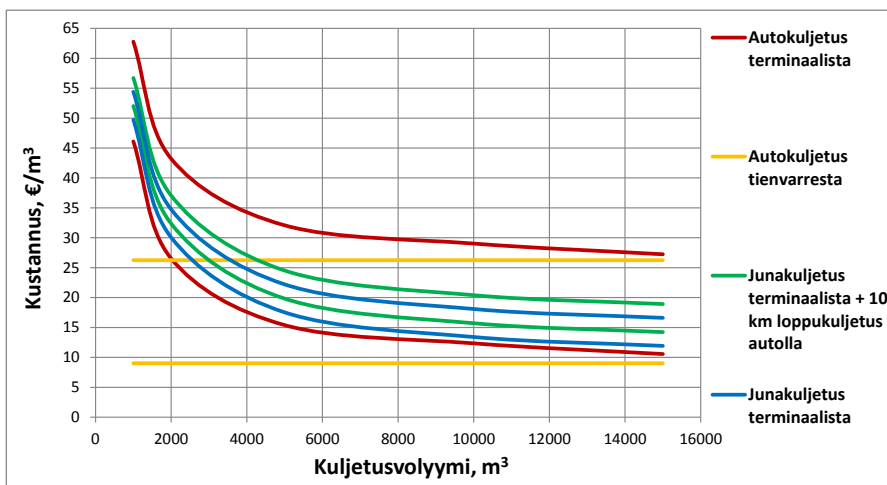
Kuvio 7. Kuljetusmatkan vaikutus hankintaketjujen kustannuksiin volyymilla 15000 m³/kk ja 10 km alkukuljetusmatkalla terminaaliin (alku- ja loppukuljetusmatka lasketaan yhdensuuntaisen kuljetusmatkan päälle).

Autokuljetus terminaalista ei edelleenkaan pysty kilpailemaan millään tutkituilla etäisyyksillä suoran autokuljetuksen kanssa. Tämä tulos poikkeaa Impolan ja Tiihosen (2011, 36) esittämästä 100 km etäisyydestä, jolla terminaalin kautta kulkevien autokuljetusketjujen pitäisi muuttua suoraa autokuljetusta kannattavammaksi. Yksiselitteistä syytä tähän on vaikea antaa. Todennäköisimmin merkittävimmät tekijät löytyvät tämän tutkimuksen rajoitteista (esim. toimitusvarmuus, odotusajat, tienvarsihaketuksen lisäkustannukset). Terminaaliketjuista autokuljetus säilyy kannattavimpana noin 35 km asti, jonka jälkeen junakuljetuksen kustannukset jäävät pienemmiksi. Jos junakuljetukseen liitetään loppukuljetus autolla, on kannattavuusraja noin 85 km.

Aiempiin metsäenergian hankintaketjujen kustannuksia selvittäneisiin tutkimuksiin verrattuna (Enström 2009, 4; Pihlajamäki & Salo 2010, 41; Tahvanainen & Anttila 2011) on rautatiekuljetusten kannattavuusraja tässä tutkimuksessa volyymilla 15000 m³/kk ja suoralla junakuljetuksella selkeästi alemmalla tasolla. Tähän vaikuttanee osaltaan tutkimuksen lähestymistapa, jossa hallintokustannukset ja voittomarginaali on vakioitu. Todellisia kuljetustaksoja tarkastellen hallinnon ja varsinkin voittomarginaalin osuus olisi rautatie-

kuljetuksissa todennäköisesti suurempi. Toisaalta Ikkänen ja Siren (2005) ovat omassa selvityksessään esittäneet, että rautatiekuljetukset voisivat olla maantiekuljetuksia kannattavampia jopa alle 50 matkalla, kun päästään hyödyntämään suoria kuljetusyhteyksiä ja vahvoja tavaravirtoja. Kyseinen selvitys tarkasteli rautatiekuljetuksia yleisellä tasolla, eikä kyseessä ollut varsinainen metsäenergian kuljetuksia koskeva selvitys. Tämän tutkimuksen perusteella vaikuttaisi, että metsäenergian kuljetuksissakin voitaisiin suorilla yhteyksillä ja suurilla volyyymeilla päästä lähelle näitä kannattavuusrajoja.

Kuviossa 8 on vertailtu kuljetusvolyymien vaikutusta eri hankintaketjujen kustannuksiin. Jokaiselle hankintaketjulle on esitetty tulokset sekä 10 km että 290 km etäisyyksillä. Kuvioista nähdään hyvin kuinka volyymin kasvu laskee aluksi yksikkökustannuksia hyvin voimakkaasti, mutta tämä vaikutus tasoittuu volyymien kasvaessa. Kuljetusmatkalla 10 km mikään terminaaliketju ei pysty kilpailemaan suoran autokuljetuksen kanssa. Kuljetusmatkalla 290 km junakuljetukset muuttavat suoraa autokuljetusta kannattavammaksi noin 3 500 m³/kk (suora junakuljetus) ja noin 4 000 m³/kk (loppukuljetus autolla) volyyymeilla.



Kuvio 8. Kuljetusvolyymin vaikutus hankintaketjujen kustannuksiin yhdensuuntaisilla kuljetusmatkoilla 10 km ja 290 km alkukuljetusmatkan terminaaliiin ollessa 10 km (alku- ja loppukuljetusmatka lasketaan yhdensuuntaisen kuljetusmatkan päälle).

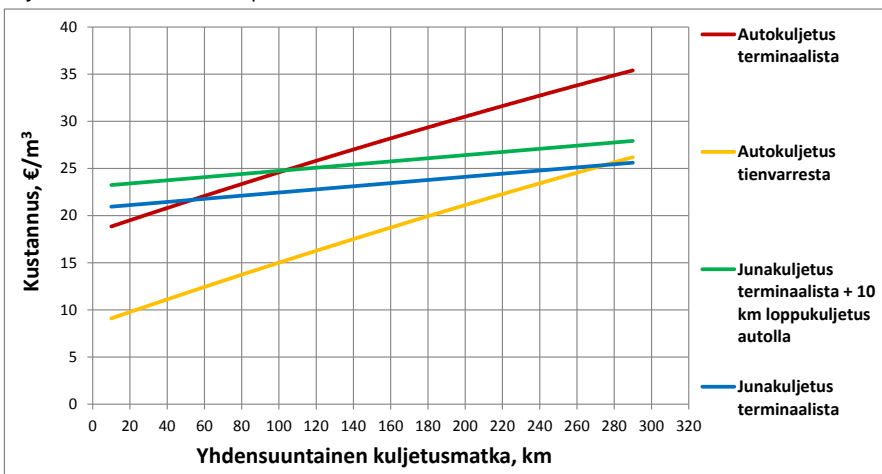
Esimerkiksi autokuljetuksella terminaalista volyymin muutos tasolta 1 000 m³/kk tasolle 15 000 m³/kk laskee 290 km kuljetusetäisyydellä yksikkökustannuksia tasolta 63 €/m³ tasolle 27 €/m³ (muutos 36 €). Lyhyemmällä 10 km kuljetusetäisyydellä vastaava volyymin muutos aiheuttaa kustannusten alenemisen tasolta 46 €/m³ tasolle 11 €/m³ (muutos 35 €). Muutos on molemmilla kuljetusetäisyyksillä merkittävä.

4.2 Pidempään alkukuljetusmatkaan pohjautuvat simuloinnit

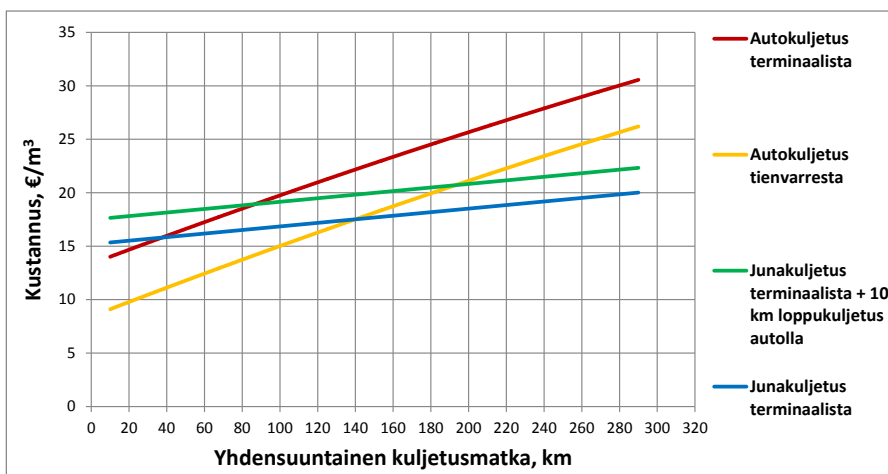
Kuvioita 6 ja 9 vertaamalla voidaan arvioida alkukuljetusmatkan vaikutusta terminaalihankintaketjujen kannattavuuteen. Ketjut ovat kuviossa 9 muilta osin samanlaisia kuin kuviossa 6 (volyymi 5000 m³, alkukuljetusmatka 10 km), mutta alkukuljetusmatka on nostettu 10 km:stä 50 km:iin. Tämän seurauksena ketjujen yksikkökustannukset nousevat keskimäärin noin 3,5 €/m³. Suoralle autokuljetukselle ei näillä ehdoilla pärjää kuin junakuljetus terminaalista, jos kuljetusmatka nousee yli 270 km. Verrattuna kuvioon 6 junakuljetuksen on oltava 80 km pidempi kannattaakseen. Terminaaliketjujen väliset kannattavuusrajat säilyvät luonnollisesti samoina kuin perussimuloinneissa.

Volyymin nostaminen parantaa terminaalin kannattavuutta myös pidemmällä alkukuljetusmatkalla. Kuviot 7 ja 10 ovat samalla tavalla vertailukelpoiset kuin kuviot 6 ja 9. Kuvioissa 7 ja 10 volyymi on vain korkeampi (15000 m³). Volyymin nosto tekee pidemmällä alkukuljetusmatkalla junakuljetuksesta suoraa autokuljetusta kannattavampaa 140 km etäisyydellä. Junakuljetus, johon yhdistetään loppukuljetus autolla, on suoraa autokuljetusta kannattavampaa 190 km etäisyydellä. Volyymilla 15000 m³/kk ja pidemmällä alkukuljetusmatkalla ollaan näin ollen lähellä aiemmissa tutkimuksissa havaittua 150 km kannattavuusrajaa.

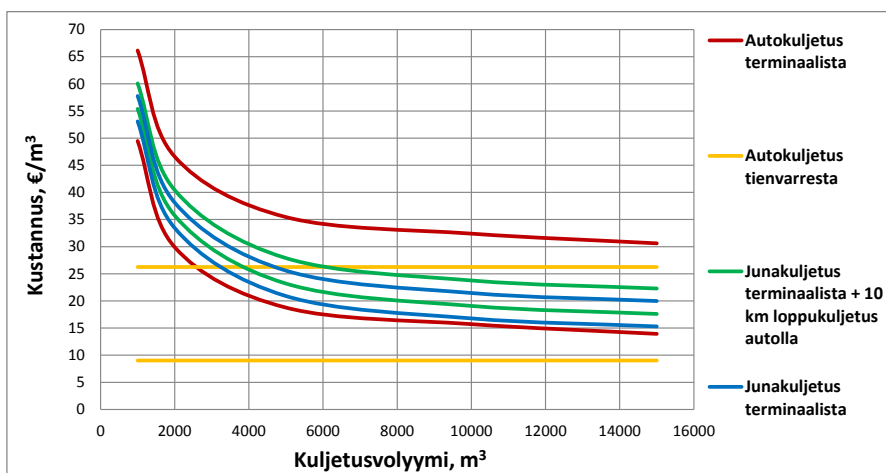
Yksikkökustannusten ero volyymien 5000 m³/kk ja 15000 m³/kk välillä on 50 km alkukuljetusmatkalla keskimäärin noin 5 €/m³ luokkaa eli samalla tasolla kuin lyhyemmälläkin alkukuljetusmatkalla. Terminaaliketjujen väliset kannattavuusrajat ovat samat kuin perussimuloinneissa.



Kuvio 9. Kuljetusmatkan vaikutus hankintaketjujen kustannuksiin volyymilla 5000 m³/kk ja 50 km alkukuljetusmatkalla terminaaliiin (alku- ja loppukuljetusmatka lasketaan yhdensuuntaisen kuljetusmatkan päälle).



Kuvio 10. Kuljetusmatkan vaikutus hankintaketjujen kustannuksiin volyymilla 15 000 m³/kk ja 50 km alkukuljetusmatkalla terminaaliin (alku- ja loppukuljetusmatka lasketaan yhdensuuntaisen kuljetusmatkan päälle).



Kuvio 11. Kuljetusvolyymin vaikutus hankintaketjujen kustannuksiin yhdensuuntaisilla kuljetusmatkoilla 10 km ja 290 km alkukuljetusmatkan terminaaliin ollessa 50 km (alku- ja loppukuljetusmatka lasketaan yhdensuuntaisen kuljetusmatkan päälle).

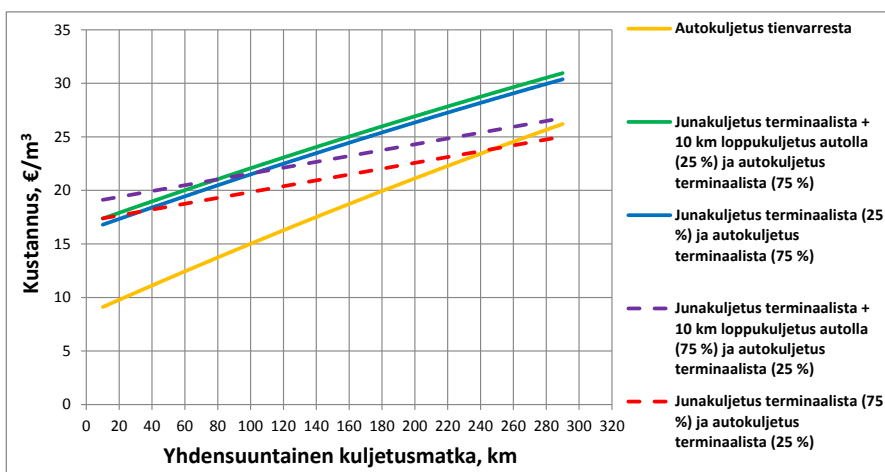
Kuvioita 8 ja 11 vertaamalla havaitaan, että alkukuljetusmatkan nostaminen 10 km:stä 50 km:iin nostaa junakuljetusketjuilta vaadittavaa volyymia kilpailussa suoraa autokuljetusta vastaan 1000 - 2000 m³/kk. Terminaalin kautta on kuljettava 290 km kuljetusmatkalla energiapuuta näin ollen vähintään 4 500 m³/kk (suora junakuljetus) tai 6000 m³/kk (loppukuljetus autolla). Kuljetusmatkalla 10 km terminaaliketjut eivät pärjää suoraa autokuljetusta vastaan millään volyymilla.

4.3 Rauta- ja maantiekuljetuksia hyödyntävien terminaalien simuloinnit

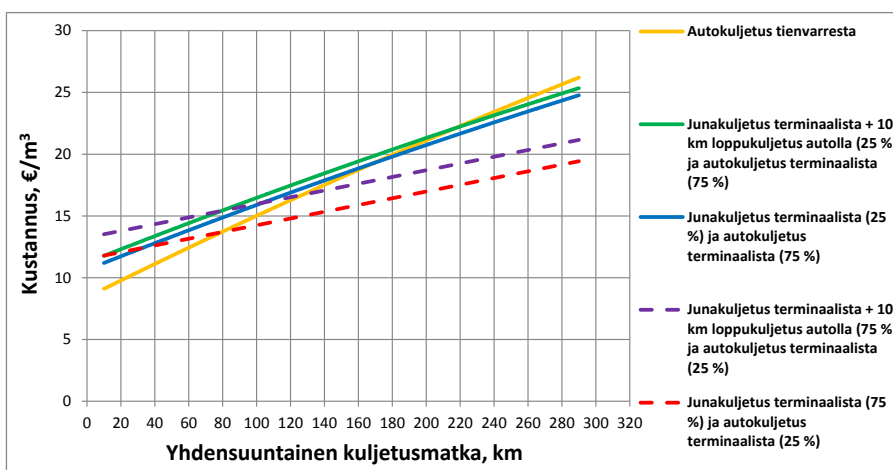
Tässä luvussa on havainnollistettu kuinka terminaalitoiminnan kannattavuuteen vaikuttaa, kun terminaalin kautta kulkee sekä maantie- että rautatiekuljetuksiin pohjautuvia hankintaketjuja. Kuvioissa on esitetty erilaisia yhdistelmiä terminaalin kautta kulkevista hankintaketjuista ja verrattu näitä suoraan autokuljetukseen tienvarresta. Kuvioissa esitetyt prosenttiosuudet perustuvat kuljetettuihin kiinto-kuutioihin. Ketjuyhdistelmät havainnollistavat minkälaisia osuuksia eri kuljetusmuodoilla tulisi terminaalissa olla, jotta toiminta olisi kannattavaa. Vertailu soveltuu erityisesti tilanteisiin, joissa rautatiekuljetukset ovat autokuljetuksia edullisempia, mutta niitä voidaan käyttää vain osalle käyttökohteista ja loput on pakko hoitaa kalliimpina autokuljetuksina. Kuljetusetäisyyksillä ja -volyymeilla, joilla terminaalista lähtevä autokuljetus on rautatiekuljetusta edullisempi, ei molempien kuljetusmuotojen käyttäminen tässä esitetyllä tavalla ole yleensä järkevää.

Kuviossa 12 kuljetettava volyyymi on 5000 m³/kk ja alkukuljetusmatka 10 km. Tällöin ainoastaan ketjujen yhdistelmä, jossa 75 % kuljetetaan terminaalista junakuljetuksella käyttökohteelle ja 25 % terminaalista autokuljetuksella käyttökohteelle pystyy kilpailemaan suoran autokuljetuksen kanssa. Tähän vaaditaan 250 km kuljetusetäisyys. Kannattavuuteen vaadittava etäisyys on sama kuin perussimulointien kuvion 6 (5000 m³/kk, alkukuljetusmatka 10 km) junakuljetuksella, johon on yhdistetty loppukuljetus autolla.

Kuviossa 13 volyyymi on nostettu tasolle 15000 m³/kk muiden tekijöiden pysyessä samana kuin kuviossa 12. Yksikkökustannukset laskevat keskimäärin noin 6 €/m³. Nyt kaikki testatut hankintaketjujen yhdistelmät pystyvät alittamaan suoran autokuljetuksen kustannukset. Ketjuyhdistelmissä, joissa junakuljetuksen osuus on 75 %, kustannukset alittavat suoran autokuljetuksen kustannukset 80 km (suora junakuljetus) ja 125 km (loppukuljetus autolla) kohdalla. Ketjuyhdistelmissä, joissa junakuljetusten osuus on 25 %, tämä tapahtuu 170 km ja 195 km kohdalla.

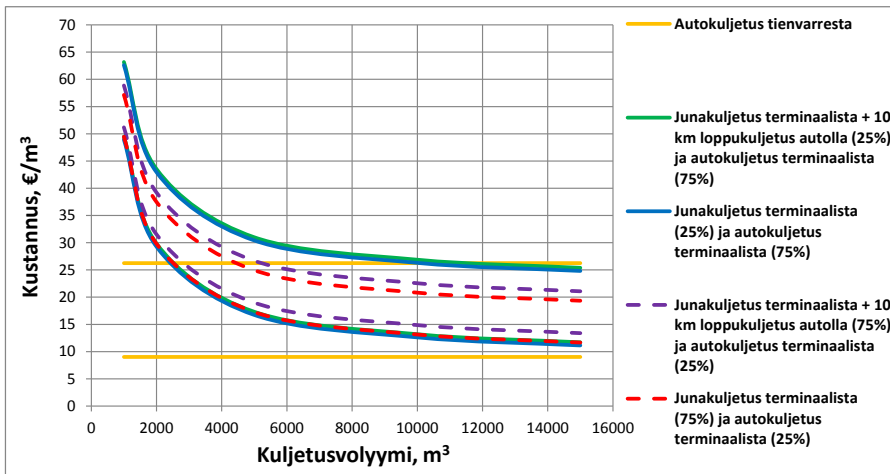


Kuvio 12. Kuljetusmatkan vaikutus hankintaketjuyhdistelmien kustannuksiin volyymilla 5000 m³/kk ja 10 km alkukuljetusmatkalla terminaaliin (alku- ja loppukuljetusmatka lasketaan yhdensuuntaisen kuljetusmatkan päälle).



Kuvio 13. Kuljetusmatkan vaikutus hankintaketjuyhdistelmien kustannuksiin volyymilla 15000 m³/kk ja 10 km alkukuljetusmatkalla terminaaliin (alku- ja loppukuljetusmatka lasketaan yhdensuuntaisen kuljetusmatkan päällä).

Hankintaketjuyhdistelmien kuljetusvolyymin vaikutus kustannuksiin on esitetty kuviossa 14. Kuljetusetäisyydellä 290 km 75 % junakuljetuksia sisältävät hankintaketjuyhdistelmät vaativat kannattaakseen volyymia 4 500 m³/kk (suora juna-kuljetus) ja 5 500 m³/kk (loppukuljetus autolla), kun niitä verrataan suoraan autokuljetukseen. Pienemmällä 25 % junakuljetusosuudella kuljetusvolyymin täytyy olla 10 500 m³/kk ja 11 500 m³/kk.



Kuvio 14. Kuljetusvolyymin vaikutus hankintaketjuyhdistelmien kustannuksiin kuljetusmatkoilla 10 km ja 290 km alkukuljetusmatkan terminaaliin ollessa 10 km (alku- ja loppukuljetusmatka lasketaan yhdensuuntaisen kuljetusmatkan päälle).

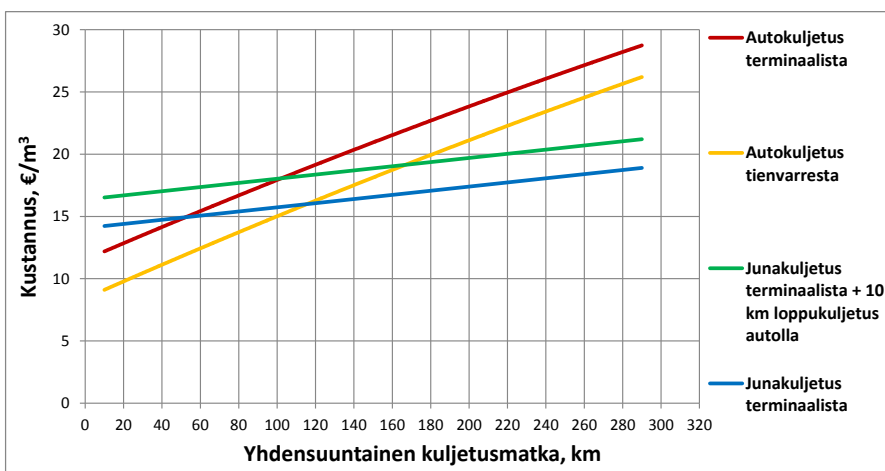
4.4 Muokattuihin terminaalin kustannustekijöihin pohjautuvat simuloinnit

Muokattuihin terminaalin kustannustekijöihin pohjautuvissa simuloinneissa on muutettu terminaalin kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä terminaalin perustamiskustannusten (€/m²), terminaalin pinta-alan (ha) ja työaikojen (h/kk) suhteen. Näissä muokatuissa malleissa terminaalin perustamiskustannukset on laskettu 100 €/m² tasolta tasolle 50 €/m² ja terminaalin pinta-ala 5 ha:sta 3 ha:iin. Lisäksi työajat on minimoitu siten, että työpäivät viikossa ja työtunnit päivässä on laskettu alimmalle mahdolliselle tasolle, jolla tarkasteltavana oleva volyyymi saadaan kuukauden aikana kuljetettua hankintaketjun läpi. Myös hakkuri-työntekijän ja pyöräkuormaajankuljettajan työn aloitusaikoja on tarvittaessa muokattu eriäviksi.

Kuviossa 15 on esitetty tulokset muokatuilla kustannustekijöillä 5000 m³/kk volyyymilla ja 10 km alkukuljetusmatkalla. Terminaaliketjut muuttuvat suoraa autokuljetusta kannattavammaksi nyt 115 km kohdalla, jolloin junakuljetus terminaalista muuttuu kannattavammaksi. Junakuljetus, johon on yhdistetty loppukuljetus autolla, on suoraa autokuljetusta kannattavampaa 165 km jälkeen.

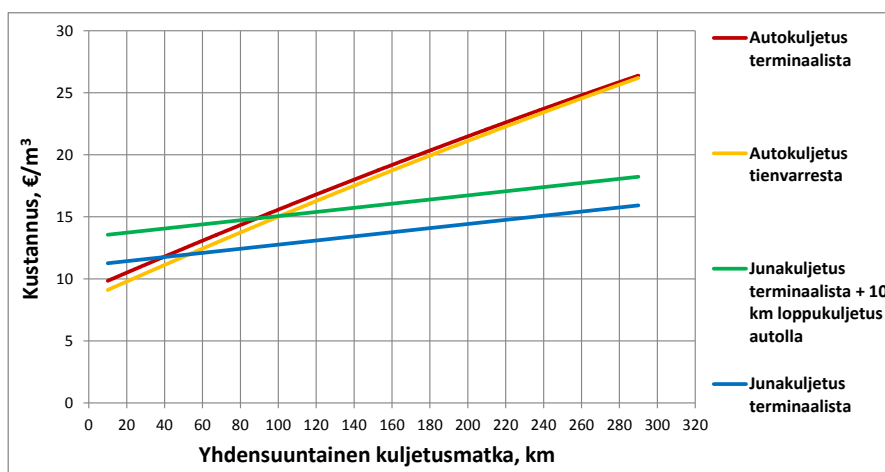
Verrattuna kuvioon 6, jossa simuloinnit on tehty muokkaamattomilla kustannustekijöillä, terminaaliketjujen kannattavuus paranee selkeästi. Junakuljetusketjun kannattavuusraja verrattuna suoraan autokuljetukseen laskee 75 km:llä. Junakuljetuksen, jossa loppukuljetus tehdään autolla, kannattavuusraja laskee 85 km:llä. Euromääräisesti kustannukset laskevat keskimäärin noin 3 €/m³.

Terminaaliketjujen keskinäinen kilpailukyky säilyy samana kuin kuviossa 6 eli junakuljetus terminaalista on kannattavampaa 55 km ja 100 km jälkeen.



Kuvio 15. Kuljetusmatkan vaikutus kustannuksiin hankintaketjuissa, joissa terminaalin kustannustekijöitä (terminaalin pinta-ala ha, terminaalin perustamiskustannus €/m³, työajat h) on muokattu, volyymilla 5000 m³/kk ja 10 km alkukuljetusmatkalla terminaaliiin lalku- ja lasketaan yhdensuuntaisen kuljetusmatkan päälle).

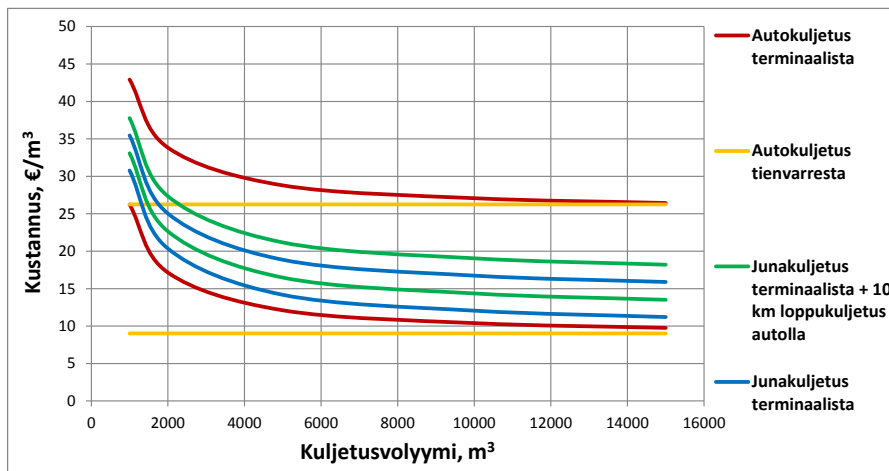
Volyymin noustessa tasolle 15000 m³/kk junakuljetus terminaalista muuttuu suoraa autokuljetusta kannattavammaksi vaihtoehdoksi 55 km kohdalla ja junakuljetus autoloppukuljetuksella 100 km kohdalla (kuvio 16). Nyt ollaan jo hyvin lähellä likkasen ja Sirenin (2005) esittämää 50 km kannattavuusrajaa, jolla rautatiekuljetukset voisivat olla hyvissä olosuhteissa autokuljetuksia kannattavampia. Ensimmäistä kertaa myös autokuljetus terminaalista on lähes yhtä kannattava ratkaisu kuin suora autokuljetus tienvarresta. Tähän tosin vaaditaan kuljetusetäisyyttä liki 300 km.



Kuvio 16. Kuljetusmatkan vaikutus kustannuksiin hankintaketjuissa, joissa terminaalin kustannustekijöitä (terminaalin pinta-ala ha, terminaalin perustamiskustannus €/m³, työajat h) on muokattu, volyymilla 15000 m³/kk ja 10 km alkukuljetusmatkalla terminaaliiin lalku- ja loppukuljetusmatka lasketaan yhdensuuntaisen kuljetusmatkan päälle).

Terminaaliketjujen keskinäiset kannattavuusrajat kulkevat 40 km ja 90 km kohdalla, joissa junakuljetus ja junakuljetus yhdistettynä loppukuljetukseen autolla alittavat suoran autokuljetuksen kustannukset.

Verrattuna kuvioon 7, jossa simuloinnit on tehty muokkaamattomilla kustannustekijöillä, junakuljetusten kannattavuusrajat verrattuna suoraan autokuljetukseen laskevat 30 km:llä ja 20 km:llä. Euromääräisesti lasku on samaa tasoa kuin volyyymilla 5000 m³/kk eli 3 €/m³.



Kuvio 17. Kuljetusvolyymin vaikutus kustannuksiin hankintaketjuissa, joissa terminaalin kustannustekijöitä (terminaalinpinta-ala, terminaaliperustamiskustannus €/m³, työajath) on muokattu, kuljetusmatkoilla 10 km ja 290 km alkukuljetusmatkan terminaaliiin ollessa 10 km (alku- ja loppukuljetusmatka lasketaan yhdensuuntaisen kuljetusmatkan päälle).

Kun terminaalin kustannustekijöitä saadaan hiottua alaspäin, volyymin merkitys kannattavuuteen vähenee. Tämä havaitaan selvästi kuvioista 17. Suurilla volyyymeilla ero esim. kuvion 8 kustannuksiin on hyvin pieni, sen sijaan pienillä volyyymeilla merkitys on jopa 20 €/m³ luokkaa. Autokuljetuksella terminaalista volyymin muutos tasolta 1000 m³/kk tasolle 15000 m³/kk laskee kuljetusetäisyydellä 290 km yksikkökustannuksia tasolta 48 €/m³ tasolle 27 €/m³ (muutos 21 €). Vastaavasti kuljetusetäisyydellä 10 km kustannukset laskevat tasolta 27 €/m³ tasolle 10 €/m³ (muutos 17 €). Volyymin muutoksella on näin ollen selvästi pienempi vaikutus yksikkökustannuksiin kuin perussimuloinneissa. Muutos on kuitenkin edelleen merkittävä.

Kuljetusetäisyydellä 290 km junakuljetukset terminaalista muuttuvat suoraa autokuljetusta kannattavammaksi hieman volyymin 2000 m³/kk molemmin puolin. Tämä tarkoittaa noin 1500 m³/kk ja 2000 m³/kk eroa perussimulointien volyymitarkastelun (kuvio 8) tuloksiin verrattuna.

5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää yhtäaikaaisesti kuljetusetäisyyksien ja volyymien vaikutusta bioenergian hankintaketjujen kannattavuuteen. Tähän pyrittiin tekemällä vertailua bioenergiaterminaalin kautta kulkevien hankintaketjujen ja suoraan autokuljetukseen ja tienvarsihaketukseen perustuvan hankintaketjun välillä. Ketjun osista ainoastaan terminaalitoiminta oli omassa hallussa ja muut ketjun osat ostettiin alihankkijoilta. Tästä johtuen volyymi vaikutti energiapuun yksikkökustannuksiin ainoastaan terminaalissa.

Tutkimuksella tavoiteltiin myös uutta tietoa maantie- ja rautatiekuljetusten välisestä kannattavuudesta eri kuljetusetäisyyksillä. Tämä nähtiin tarpeelliseksi, koska rautateiden tavarankuljetuksen kilpailun vapautuminen vuonna 2007 ja uusien toimijoiden mahdollinen tulo alalle saattaa parantaa rautateiden kilpailukykyä verrattuna maantiekuljetuksiin. Tutkimuksessa käytettiin hieman tavanomaisesta poikkeavaa lähestymistapaa ketjujen kustannustarkastelussa. Sekä hankintaketjujen hallintokustannusosuus että voittomarginaali oli kaikissa tarkasteluissa vakioitu samaan prosenttiosuuteen kokonaiskustannuksista. Tällä tavalla oli paremmin mahdollista arvioida, millä etäisyyksillä maantie- ja rautatiekuljetukset tosiasiallisesti voisivat olla kannattavia.

5.1 Tutkimustulokset ja niiden merkitys aiempaan tutkimukseen verrattuna

Vakioituilla hallintokustannuksilla ja voittomarginaalilla tehdyt laskelmat antoivat osin aiemmasta tutkimuksesta poikkeavia tuloksia rautatie- ja maantiekuljetusten välisessä kannattavuusvertailussa. Aiemmissa metsäenergian hankintaketjujen kannattavuutta selvittäneissä tutkimuksissa rautatiekuljetusten on esitetty olevan maantiekuljetuksia kannattavampia keskimäärin 150 km ylittävillä kuljetusetäisyyksillä. Verrattaessa suoraa autokuljetusta ja terminaalista suoraan käyttökohteelle etenevää rautatiekuljetusta toisiinsa, oli rautatiekuljetus tässä tutkimuksessa kannattavampi vaihtoehto alimmillaan jopa 55 km kuljetusetäisyydellä. Tälle tasolla pääsemiseen tarvittiin kuitenkin terminaalin perustamiskustannusten, terminaalin pinta-alan ja työaikojen hiomista alemmas (muokatut mallit). Yleisellä tasolla rautatiekuljetusten kilpailukykyä selvittäneessä aiemmassa tutkimuksessa on esitetty, että jopa alle 50 km etäisyydetkin olisivat mahdollisia, mikäli volyymit ovat riittävän korkeita ja voidaan hyödyntää suoria yhteyksiä. Tämä tutkimus puoltaa tätä näkemystä.

Perussimuloinneissa terminaalin kautta kulkeva rautatiekuljetusketju oli suoraa autokuljetusta kannattavampi lyhimmillään 70 km etäisyyden jälkeen. Tämäkin tulos on alle puolet aiemmissa tutkimuksissa esitetystä 150 km kannattavuusrajasta. Tulee kuitenkin huomioida, että tässä tutkimuksessa saadut alimmat rautatiekuljetusten kannattavuusrajat (muokatut mallit: 55 km ja perussimuloinnit: 70 km) on saavutettu suurella volyymilla (15 000 m³/kk), verrattain lyhyellä 10 km alkukuljetusmatkalla ja suoralla kuljetuksella terminaalista käyttökohteelle. Volyymilla 15 000 m³/kk, mutta 50 km alkukuljetusmatkalla ja purkuterminaalin kautta kulkevalla ketjulla kannattavuusraja nousee muokkaamattomilla kustannuksilla 190 km:iin, joka ylittää jo selvästi aiemmassa tutkimuksessa esitetyn 150 km kannattavuusrajan. Jos volyymi lasketaan tasolle 5 000 m³/kk ja alkukuljetusmatka pidetään 50 km:ssä, ei suoralle autokuljetukselle pärjää kuin suora junakuljetus käyttökohteelle. Tähän vaaditaan kuljetusetäisyyttä 270 km.

Junakuljetuksissa olisi potentiaalia selvästi nykykilpailutilannetta lyhyemmilläkin etäisyyksillä. Kriittisiä tekijöitä kilpailukyvyyn kannalta ovat volyymi, alkukuljetusmatka sekä kuormausten ja purkujen määrä. On mahdollista ja jopa todennäköistä, että rautatiekuljetuksissa voittomarginaali ja hallintokustannusosuus ovat korkeampia kuin autokuljetuksissa. Tästä seuraa, että rautatiekuljetusten käytännön kilpailukyky ei ole aivan samalla tasolla tämän tutkimuksen tulosten kanssa. Kilpailutilanteesta johtuen tämä näkyy todennäköisesti eniten juuri lyhyillä kuljetusetäisyyksillä, koska kilpailu pelkästään autokuljetuksia vastaan antaa mahdollisuuden keskittyä vain parhaiten kannattaviin kuljetuksiin ja pitää niissä hinnat juuri autokuljetuksen hintojen alapuolella.

Rautateiden tavarankuljetusten kilpailun vapautuminen ajaa käytännön kilpailutilannetta lähemmäs tämän tutkimuksen tuloksia. Tähän menee kuitenkin aikaa, koska uuden yrityksen toiminnan kehittyminen ja laajentuminen on rautateillä pääomaintensiivisyydestä johtuen hidasta. Paikallisesti tällä voi kuitenkin olla vaikutusta suhteellisen lyhyelläkin aikavälillä. Tulokset kertovat hyvin kuljetusmuotojen välisestä kilpailukyky potentiaalista ja myös käytännön kilpailukyvyistä, kun huomioidaan rautatiekuljetusten kustannusten lievä aliarvio lyhyillä kuljetusetäisyyksillä. Tulokset ovat linjassa aiemman tutkimustiedon kanssa.

Tutkimuksessa tehtiin vertailua volyymien vaikutuksesta ketjujen kannattavuuteen. Tällaista vertailua ei ole aiemmin paljon tehty, vaan yleensä selvitykset on tehty case-tyyppisellä lähestymistavalla yhdellä volyymilla. Käyttöasteisiin pohjautuvaa kustannuslaskentaa on kyllä hyödynnetty, mutta nämäkin on yleensä tehty tietyille koneelle, eikä hankintaketjun osalle kuten tässä tutkimuksessa. Volyymien vaikutus ketjujen kustannuksiin toimi odotetulla tavalla eli pienillä volyymeilla vaikutus on suurempi ja volyymien kasvaessa vaikutus koko ajan

vähenee. Muokatuissa malleissa sekä euromääräinen että suhteellinen kustannusten lasku on loogisesti pienempi kuin perussimuloinneissa, koska niiden lähtökustannustasokin on pienempi. Muokatuissa malleissa suuremmalla etäisyydellä volyymin kasvu pienentää yksikkökustannuksia absoluuttisesti enemmän kuin vastaava volyymin muutos pienemmällä etäisyydellä. Perussimuloinneissa vastaavaa ilmiötä ei ole havaittavissa tai ainakin se on selvästi vähäisempää. Tämän selittää muokatuissa malleissa tehty työtuntien alentaminen mahdollisimman pieneksi kyseiselle volyymin ja kuljetusetäisyydelle. Suuremmalla kuljetusetäisyydellä terminaalien työajat venyvät pidemmiksi ja sitä kautta palkkakustannukset nousevat korkeammiksi, jolloin volyymin muutos vaikuttaa yksikkökustannuksiin voimakkaammin. Perussimuloinneissa työtunnit ovat kaikilla etäisyyksillä ja volyyymeilla samat.

Autokuljetukset terminaalista ovat kaikilla tarkastelluilla volyyymeilla ja kuljetusetäisyyksillä kalliimpia kuin suora autokuljetus tienvarresta. Tosin muokatuissa malleissa volyymin 15 000 m³/kk kustannustasot ovat jo hyvin lähellä toisiaan. Tämä tulos on odotettu, koska terminaaliketjuissa kustannuksia aiheuttavia purkuja ja kuormauksia tulee väistämättä suoraa autokuljetusta enemmän. Lisäksi pienillä volyyymeilla terminaaliketjut kärsivät suhteessa suuremmista pääoma- ja palkkakuluista kuin suora autokuljetus, jossa kyseiset kulut säilyvät käyttötuntia kohti vakiona. Suorassa autokuljetuksessa kuormatilojen täyttöaste on myös korkeampi, koska tienvarresta alkaen päästään kuljettamaan haketta rangan sijaan. Toisaalta tienvarsihaketuksessa hakeautot joutuvat ajamaan hakkurin perässä, jos kuorma ei täyty ensimmäiseltä varastopaikalta. Järeän terminaalihakkurin tarjoama volyymietu ei pysty vielä 15 000 m³/kk tasollakaan kumoamaan näitä lisäkustannuksia aiheuttavia tekijöitä.

Aiemmassa tutkimuksessa esitettyyn 100 km kannattavuusrajaan ei terminaalien kautta kulkevassa autokuljetusketjussa päästy. Tätä selittänevät tutkimuksen rajoitteissa esitettävät tekijät. Näitä ovat esimerkiksi toimitusvarmuus, terminaalihakkeen parempi laatu ja tienvarsihaketuksen pidemmät odotusajat, joiden merkitystä tämän tutkimuksen kustannuslaskenta ei pysty huomioimaan.

Alkukuljetusmatkalla terminaaliiin oli merkittävä vaikutus ketjujen kokonaiskustannuksiin ja kilpailukykyyn. Alkukuljetusmatkan kasvu 10 km:stä 50 km:iin nosti halvimman junakuljetuksen kannattavuusrajan suoraan autokuljetukseen verrattuna 70 – 80 km. Tutkittujen kuljetusvolyymien suuremmassa päässä (15 000 m³/kk) vaikutus on lähempänä 70 km ja pienemmässä päässä (5000 m³/kk) lähempänä 80 km. Suhteellisesti kannattavuusrajan (km) nousu on kuitenkin selvästi voimakkaampaa suuremmilla volyyymeilla. Euromääräisesti tarkasteltuna alkukuljetusmatkan kasvu 10 km:stä 50 km:iin nosti molemmilla volyyymeilla

kustannuksia 3–4 € varsinaisesta kuljetusmatkasta riippumatta. Terminaali-ketjujen kilpailukyvyyn kannalta terminaalin sijainnilla on merkittävä vaikutus. Energiapuun saanti terminaalin lähialueelta on ehdottomasti varmistettava. Lisäksi kuljetusyhteyksien on syytä olla kunnossa, jotta energiapuu saadaan terminaaliin mahdollisimman suoraa ja hyväkuntoista ajoreittiä.

5.2 Tutkimuksen rajoitteet

Vaikka simulointimallit onkin pyritty tekemään todellisuutta vastaaviksi, on niissä aina yksinkertaistuksia, jotka vaikuttavat mallien todenmukaisuuteen. Tässä tutkimuksessa todennäköisesti merkittävin yksinkertaistus koskee kuljetus-kaluston odotusaikoja, jotka on otettu keskimääräisillä arvoilla huomioon malleissa käytetyissä toiminta-ajoissa, mutta ne eivät tee eroa eri hankinta-ketjujen välillä. Yleisesti kuitenkin tiedetään, että tienvarressa odotusajat venyvät terminaalia pidemmiksi. Toisaalta tutkimuksessa on tienvarresta ajettu vain täysillä kuormilla ja hakeauto on aina seurannut hakkurin perässä täydentämään vajaan kuormansa seuraavalle tienvarsivarastolle. Näin ei käytännön tilanteessa lähes täysillä kuormilla toimittaisi. Tämä tasapainottaa odotusajoissa syntyvää kustannusvääritystä. Kokonaisuutena tarkastellen malleihin sisältyvät yksinkertaistukset aiheuttavat vain vähän virhettä lopputuloksiin. Yksinkertaistukset vaikuttavat sekä kustannuksia laskevasti että nostavasti, jolloin ne kumoavat toistensa vaikutusta.

Ymmärrettävästi simulointimallit eivät pysty myöskään huomioimaan hankinta-ketjuissa ilmeneviä satunnaisia tekijöitä, kuten esimerkiksi kaluston yllättävistä hajoamisista tai sääolosuhteista aiheutuvia kustannuksia. Voidaan olettaa, että näillä olisi energiapuun laatutekijöistä, työskentelyolosuhteista ja kuuma ketju -ilmiöstä johtuen suurempi merkitys tienvarsihaketuksessa kuin terminaali-haketuksessa.

Metsäenergian hankintaketjujen osat (tienvarsivarasto, tienvarsihakeutus, kuljetus, terminaali, purkutermiinaali, käyttökohde) ovat käytännössä useiden toimijoiden hallussa, jolloin asetelman todenmukaisuuden vuoksi oli valittava kenen toimijan näkökulmasta asioita tarkastellaan. Valinta kohdistui terminaalin omistavaan toimijaan, koska terminaalin toiminta on ratkaisevassa asemassa terminaalihankintaketjujen kannattavuuden kannalta. Tästä seurasi, että ketjun muut osat asetettiin alihankkijoiden haltuun, eli niille maksettiin vain todellisista työsuoritteista. Tässä tapauksessa maksu tarkoitti todellisista työsuoritteista aiheutuvia kustannuksia ja vakioitua hallintokustannus- ja voittomarginaali-osuutta. Pääomakustannukset kohdistettiin alihankkijoiden hallussa oleville ket-

jun osille keskimääräisten vuotuisten käyttötuntien perusteella. Terminaalissa pääomakustannukset juoksisivat koko mallinnuksen ajan. Näin ollen volyymin vaikutus näkyi tarkastelussa ainoastaan terminaalissa. Volyymin tulisi kuitenkin näkyä myös alihankkijoille maksetuissa suoritteissa, koska pienillä volyymeilla alihankkijat käytännössä hinnoittelisivat voittomarginaalit korkeammiksi kuin suurilla volyymeilla. Tästä johtuen kustannukset jäävät todennäköisesti hieman liian mataliksi pienillä volyymeilla. Volyymin 15 000 m³/kk vaikutusta ei enää juuri ole. Vaikutus näkyy myös terminaalihankintaketjujen ja suoran autokuljetusketjun välisessä kannattavuusvertailussa, koska suora autokuljetusketju on kokonaisuudessaan alihankkijoiden hallussa.

Vaikka tässä tutkimuksessa onkin pyritty ottamaan huomioon kaikki hankintaketjuille kustannuksia aiheuttavat tekijät, jää joitakin merkittäviä kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä silti huomioimatta. Näistä tärkein on ehdottomasti terminaalin ansiosta paraneva toimitusvarmuus. Se on yksittäisenä, terminaalin perustamista puoltavana, tekijänä usein jopa tärkeämpi kuin terminaalilla tavoiteltavat suorat kustannussäästöt. Toimitusvarmuus on tekijä, jota on kustannusperusteisissa malleissa vaikea huomioida, koska kustannuksia aiheutuu vain, jos ketjun toimitusvarmuus pettää. Suoralle autokuljetusketjulle aiheutuu lisäkustannuksia terminaaliketjuihin verrattuna myös sellaisista tekijöistä kuin talvinen teidenauraus, logistiikan hallinta ja hakkeen heikompi laatu. Nämä kustannustekijät jäävät myös mallinnuksen ulkopuolelle.

Yksi tärkeä kustannustekijä kaikissa energiapuun hankintaketjuissa on hävikki. Hävikkiä tulee väistämättä ketjun jokaisessa vaiheessa. Tutkimuksessa tarkastellulla rangalla hävikki on selvästi pienempää kuin kokopuulla tai hakkuutahteella, koska mekaanista hävikkiä tulee vähemmän. Rangallakin sitä kuitenkin syntyy erityisesti haketustilanteissa, jolloin osa hakkeesta menee kuorman ohi. Tämä ketjujen kustannuksia lisäävä vaikutus on vähäinen. Toinen näkökulma hävikkiin on tarkasteltujen ketjujen väliset hävikkierot. Sekä mekaaninen hävikki että biologisista hajoamisprosesseista johtuva hävikki ovat todennäköisesti suurempia tienvarressa kuin terminaalissa. Tienvarressa haketuksen seurauksena haketta menee hukkaan enemmän kuin terminaalissa. Todennäköisesti tienvarren heikompi kuivuminen aiheuttaa lisäksi sen, että biologiset hajoamisprosessit hajottavat puuainesta nopeammin kuin terminaalissa.

Simulointimalleissa on laskettu energiapuun varastoinnista aiheutuvat pääomakulut vuoden varastointiajan mukaan. Tämä pätee kaikkiin tarkasteltuihin hankintaketjuihin. Energiapuu tarvitsee pitkän varastointiajan, jotta se kuivuu. Näin vältytään turhan veden kuljettamiselta ja saadaan energiapuu kuivumaan polttokelpoiseksi. Mallit eivät kuitenkaan huomioi sitä, että terminaali-

ketjuissa merkittävä osa kuivumisajasta kuluu terminaalisissa. Tästä seuraa, että alkukuljetusmatkasta terminaaliin aiheutuvista kustannuksista ei aiheudu korkokustannuksia siltä ajalta, jonka varastointivaihe terminaalisissa kestää. Kustannusvaikutus on tilanteessa, jossa koko vuoden varastointi tapahtuu terminaalisissa ja alkukuljetusmatka on 10 km, noin 0,12 €/m³. Vastaavasti 50 km alkukuljetusmatkalla kustannusvaikutus olisi noin 0,25 €/m³. Ketjun kokonaiskustannuksiin suhteutettuna tällä olisi ääritapauksessakin maksimissaan vain alle 2 % vaikutus.

5.3 Tulosten yleistettävyyden ja hyödynnettävyyden

Kaikki kustannusvertailut perustuvat tiettyihin valittuihin kustannus- ja kapasiteettitekijöihin. Hankintaketjut kuitenkin eroavat paljon toisistaan esimerkiksi käytetyn kaluston suhteen. Kaluston huolto-, polttoaine- ja vakuutusmaksut, kapasiteetit, pitoajat ym. vaihtelevat. Samankin koneen hankintahinta on erilainen ostajasta riippuen. Myös terminaalien perustamiskustannukset voivat vaihdella huomattavasti sijainnista riippuen. Tästä ymmärrettävästi seuraa, etteivät tutkimuksessa esitetyt laskelmat sovi sellaisenaan yksittäisen tilanteen arviointiin. Jos tuloksia halutaan käyttää yksittäisen tapauksen arviointiin, on ensin syytä perehtyä tässä tutkimuksessa käytettyihin kustannus- ja kapasiteettitekijöihin ja arvioitava kuinka paljon ne poikkeavat tarkastelun kohteena olevasta tilanteesta. Tässä tutkimuksessa käytetyt kustannus- ja kapasiteettitekijät on pyritty valitsemaan siten, että ne edustaisivat keskimäärin kentällä vallitsevaa nykytilannetta. Tutkimustiedon puuttuessa keskimääräisyys perustuu kuitenkin usean tekijän osalta tutkijan arvioon. Tutkimuksessa esitetyt tulokset soveltuvat hankintaketjujen kilpailukyvyyn ja kustannusten arviointiin yleisellä tasolla.

Tuloksia voidaan hyödyntää erityisesti suunniteltaessa terminaalin perustamista tai arvioitaessa jo olemassa olevan terminaalin kuljetusratkaisuja. Tulosten avulla voidaan arvioida monipuolisesti volyymin, kuljetusmatkan ja alkukuljetusmatkan vaikutusta terminaalihankintaketjujen kannattavuuteen. Myös molempia kuljetustapoja hyödyntävien terminaalien kannattavuusarvioinnit ovat mahdollisia. Parhaiten tulokset soveltuvat rangan hankintaketjujen arviointiin.

Jokainen yrittäjä tekee kuitenkin lopulliset, omiin tarpeisiinsa soveltuvat, laskelmat itse ja myös vastaa niistä. Tämän tutkimuksen tulokset ovat näiden laskelmien tukena.

5.4 Luotettavuus

Tutkimuksen luotettavuutta arvioitaessa on simulointitutkimuksen kyseessä ollessa loogista jakaa tarkastelu simulointimallien luotettavuustarkasteluun ja malleihin syötettyjen lähtöarvojen luotettavuustarkasteluun. Nämä ratkaisevat sen, kuinka luotettavia mallien antamat tulokset ovat.

Simulointimallien luotettavuus perustuu huolelliseen verifiointiin ja validointiin. Verifioimalla varmistutaan, että malli toimii siten kuin sen on ajateltu toimivan. Validoinnilla taas varmistutaan, että malli vastaa todellisuutta. Validointi voidaan jakaa kahteen tekijään: riittävään tarkkuuteen ja mallin soveltuvuuteen suunniteltuun käyttötarkoitukseen. Verifiointia ja validointia on tässä tutkimuksessa tehty mallien taustalla olevien kaavojen tarkastamisen lisäksi ajamalla malleja ääriarvoilla.

Yleensä tutkimuksen luotettavuuden arvioinnissa käytetty reliabiliteetti soveltuu simulointimallien arviointiin huonosti, koska se osoittaa mittarin johdonmukaisuutta eli, että mittari antaa samasta tilanteesta eri mittauskerroilla saman lopputuloksen. Matemaattisiin yhtälöihin perustuva deterministinen simulointimalli antaa samoilla lähtöarvoilla aina saman lopputuloksen, joten tällainen arviointi ei ole tarpeellista.

Muuttamalla mallin kahden peräkkäisen vaiheen arvoja laidasta laitaaan havaitaan yleensä varsin helposti mallissa olevat puutteet. Näin on tehty tässä tutkimuksessa kaikkien simulointimallien energiapuun hankintaketjuille. Energiapuun hankintaketju on esitetty kuviossa 5 mustalla värillä. Tämä varsinainen materiaalivirtaa kuvaava mallin osa on erityisen riippuvainen edeltävästä ja seuraavasta vaiheesta. Näin myös puutteet ja epäloogisuudet tulevat selkeästi ja nopeasti esille, niin itse materiaalivirtaa kuvaavasta mallin osasta kuin sitä ohjaavista muuttujista. Mallien osia on myös ajettu itsenäisesti inaktivoimalla muut mallin osat. Näin voidaan keskittyä tarkastelemaan vain tietyn mallin osan toiminnan loogisuutta ilman, että muut osat vaikeuttavat havainnointia. Mallien antamia tuloksia on lisäksi verrattu aiemman tutkimuksen tuloksiin. Näin on tehty sekä mallien antamille kokonaistuloksille että osatuloksille.

On selvää, etteivät mallit ole huolellisen verifioinnin ja validoinnin jälkeenkään täydellisiä ja virheettömiä. Kuitenkin suurella todennäköisyydellä malleissa olevat virheet eivät ratkaisevasti heikennä lopputuloksia. Malleilla on tehty ajoja niin monilla eri arvoilla ja arvoyhdistelmillä, että suuremmat virheet ovat sinä aikana tulleet esille ja ne korjattu. Tästä kertovat myös lopputulosten loogisuus ja toisaalta yhdenmukaisuus aiemman tutkimuksen kanssa.

Malleissa on tarkoituksellisia yksinkertaistuksia, jotka jossain määrin vaikuttavat lopputulosten luotettavuuteen. Lopputulosten kannalta merkityksellisimmät tarkoitukselliset yksinkertaistukset ovat jo aiemmin mainitut autojen odotusaikojen huomioiminen keskimääräisinä ja se, että tienvarsivarastoilta on aina ajettu käyttökohteelle täysillä kuormilla. Hankintaketjut ovat perustoimintaperiaatteeltaan suhteellisen selkeitä, joten tahottomia yksinkertaistuksia ei malleissa todennäköisesti juuri ole. Monimutkaisuutta malleihin tuovat pääasiassa kustannusmuuttujien suuri määrä ja jossain määrin varsinaisen materiaalivirtaa kuvaavan osan ohjaamiseen käytettyjen muuttujien dynaaminen monimutkaisuus.

Lisäksi on vielä myös luotettavuuden näkökulmasta korostettava, että malleihin syötetyt lähtöarvot ovat aina tapauskohtaisia. Ei voida määrittää yleispäteviä "oikeita" arvoja. Tutkimuksen tavoitteena oli käyttää kustannusarvoja, jotka edustaisivat keskimäärin nykyään kentällä vallitsevaa tilannetta. Keskimääräisyys perustui kuitenkin usean tekijän osalta tutkijan arviointiin. Tällä ei ole luotettavuuden kannalta suurta merkitystä, koska käytetyt arvot on esitetty ja niiden pohjalta on mahdollista arvioida tutkimustulosten luotettavuutta eri tilanteissa. Silloin, kun tuloksia halutaan käyttää keskimääräiseen arviointiin, on hyväksyttävä, että kaikki käytetyt lähtöarvot eivät ole tutkitusti keskimääräisiä, vaan perustuvat arviointiin. Lähtöarvojen oikeellisuutta on pyritty varmistamaan useammasta lähteestä, jotta arviolle keskimääräisyydestä olisi paremmat lähtökohdat. Pienen virheen mahdollisuus tässä on kuitenkin hyväksyttävä.

Kokonaisuutena tarkastellen tämän tutkimuksen tuloksia voidaan pitää varsin luotettavina.

5.5 Jatkotutkimustarpeet

Tärkeimmät jatkotutkimuskohteet löytyvät tämän tutkimuksen rajoitteista. Toimitusvarmuuden euromääräiselle arvottamiselle olisi hyvä löytää jatkossa joitain työkaluja, jotta terminaalitoiminnan kannattavuudesta saataisiin selkeämpi kokonaiskuva. Toinen merkittävä tutkimuskohde olisi terminaalista ja tienvarresta tulevan hakkeen laadun vertaaminen, mikä edelleen tarkentaisi tienvarsihankintaketjun ja terminaalihankintaketjujen välistä kilpailuasetelmaa. Lisäksi olisi tarpeellista tehdä laskelmia tienvarsihaketuksen lisäkustannuksista, kuten teiden aurauksesta, logistiikan hallinnasta ja kuuma ketju -ilmiön vaikutuksista ja arvioida tämän jälkeen uudestaan tienvarsihaketuksen kannattavuutta. Myös odotusaikoja eri hankintaketjuissa voisi olla hyödyllistä selvittää.

Meno-paluukuljetukset parantavat merkittävästi hankintaketjujen kannattavuutta. Tällainen tarkastelu voisi olla mielekästä tehdä esimerkiksi case-tyyppisenä. Terminaalitoimintaan yhdistettynä meno-paluukuljetuksilla on paremmat toimintaedellytykset kuin tienvarresta lähteviin kuljetuksiin yhdistettynä.

Viime aikoina on pohdittu ja myös tutkittu maantiekuljetuksissa sallittavien kuormakokojen kasvattamista. Voisi olla mielekästä tarkastella kuormakokojen kasvattamisen vaikutusta maantiekuljetusten kilpailukykyyn esimerkiksi simulointimenetelmää hyödyntäen.

Terminaalien yhteiskäyttöä aines- ja energiapuun sekä mahdollisesti muiden biopolttoaineiden ja turpeen varastointiin ja jalostukseen olisi tarpeen selvittää. Näiden raaka-aineiden käsittelyyn soveltuvat monilta osin samat koneet, jolloin tuomalla näiden käsittely samalle terminaalialueelle voitaisiin mahdollisesti saavuttaa synergia- ja volyymietuja.

Volyymin vaikutusta bioenergian hankintaketjujen kannattavuuteen voisi terminaalin ohella tarkastella myös muilla ketjun osilla eli lähinnä kuljetuksissa ja tienvarsihaketuksessa. Myös yhdistelmät, joissa pidempi osa ketjua (esim. alkukuljetus ja terminaalitoiminnot) olisi yhden toimijan hallussa, olisivat volyymin vaikutuksen kannalta mielenkiintoisia.

Tarpeellisia olisivat edelleen myös eri metsäenergiamuotojen (karsittu ranka, kokopuu, kannot, hakkuutähteet) hankintaketjujen kustannusvertailut eri haketus- ja varastointipaikoilla sekä kuljetustavoilla. Lähes kaikista näistä löytyy tutkimustietoa, mutta samassa tutkimuksessa ei yleensä ole tarkasteltu kuin muutamaa yhdistelmää. Eri tutkimusten kustannuslaskelmien vertaaminen ei useinkaan ole aivan yksinkertaista eri lähtökohdista ja laskentaperusteista johtuen.

KIITOKSET

Tämän tutkimuksen tekemisessä ovat auttaneet niin monet henkilöt, etten kaikkia lähde enkä edes pysty luettelemaan. Joukossa on paljon myös yritysten edustajia, jotka ovat halunneet pysyä nimettöminä. Suuret kiitokset kaikille teille eri yritysten edustajille, jotka olette suhtautuneet myönteisesti tutkimukseni aineiston keruuseen. Tämän tutkimuksen tekeminen ei olisi onnistunut ilman teidän apuanne.

Lisäksi haluan kiittää Seinäjoen ammattikorkeakoulua ja Kestävä metsäenergia hanketta sekä erityisesti hankkeemme rahoittajaa Manner-Suomen maaseutu-ohjelmaa. Lopuksi vielä kiitokset seuraaville käsikirjoitusta kommentoineille ja siihen parannusehdotuksia tehneille henkilöille: professori Jari Juga (Oulun yliopisto), dosentti Risto Lauhanen (SeAMK), tutkijatohtori Jouni Juntunen (Oulun yliopisto) ja vastuututkija Jussi Laurila (SeAMK). Jouni Juntuselle lisäksi kiitos simulointimenetelmään ja -ohjelmaan liittyvistä vinkeistä ja neuvoista.

LÄHTEET

- Allen, J., Browne, M., Hunter, A., Boyd, J. & Palmer, H. 1998. Logistics management and costs of biomass fuel supply. *International journal of physical distribution & logistics management* 28 (6), 463–477.
- Anerud, E. & Jirjis, R. 2011. Fuel quality of Norway spruce stumps – influence of harvesting technique and storage method. *Scandinavian journal of forest research* 26, 257–266.
- Asikainen, A. 1995. Discrete-event simulation of mechanized wood-harvesting systems. Joensuu: University of Joensuu. Tiedonantoja. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Diss.
- Asikainen, A. 1998. Chipping terminal logistics. *Scandinavian journal of forest research* 13, 386–391.
- Asikainen, A. & Nuuja, J. 1999. Palstahaketuksen ja hakkeen kaukukuljetuksen simulointi. *Metsätieteen aikakauskirja* 3, 479–490.
- Asikainen, A., Ranta, T., Laitila, J. & Hämäläinen, J. 2001. Hakkuutähdehakkeen kustannustekijät ja suurimittakaavainen hankinta. Joensuu: Joensuun yliopisto. Tiedonantoja. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta 131.
- Banks, J. 1998. Principles of simulation. In: J. Banks (ed.) *Handbook of simulation*. New York: Wiley, 3–30.
- Christopher, M. 2005. *Logistics and supply chain management: Creating valueadding networks*. Harlow: Financial Times Prentice Hall.
- Crill, P., Hargreaves, K. & Korhola, A. 2000. Turpeen asema Suomen kasvihuonekaasutaseissa. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö.
- Enström, J. 2009. Terminalhantering för effektivare järnvägstransporter av skogsbränsle. Uppsala: Skogforsk. Resultat 13.
- Fogelholm, J. 1997. Tuotantolaitosten laskentajärjestelmät ja niiden kehittäminen. Espoo: Suomen ATK-kustannus.
- Fredriksson, T., Hartikainen, H., Jauhiainen, M., Luoma, K., Marjamäki, M., Nuutila, M., Rautanen, J., Sirén, P. & Yrjölä, J. Satakunnan ammattikorkeakoulu. 2002. Hakelämpökeskuksen hankinta. Helsinki: Suomen kuntaliitto.
- Gudehus, T. & Kotzab, H. 2009. *Comprehensive logistics*. Berlin: Springer.
- Haikonen, T. 2005. Tutkimus biopolttoaineen aumakuivauksesta. Helsinki: Motiva.
- Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999–2003: Metsähakkeen tuotantoteknologia: loppuraportti. Helsinki: Tekes. Teknologiaohjelma-raportti 5.
-

- Hakkila, P. 2006. Selvitys energiapuun mittauksen järjestämisestä ja kehittämisestä. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. Työryhmämuistio 8.
- Halonen, P. & Vesisenaho, A. 2002. Hakeautoseuranta: Hankeraportti. Jyväskylä: VTT Prosessit.
- Harrington, H. J. & Tumay, K. 2000. Simulation modeling methods. New York: McGraw-Hill.
- Heikkilä, J., Laitila, J., Tantt, V., Lindblad, J., Sirén, M., Asikainen, A., Pasanen, K. & Korhonen, K. T. 2005. Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos. Metlan työraportteja 10.
- Ihalainen, T. & Niskanen, A. 2010. Kustannustekijöiden vaikutukset bioenergian tuotannon arvoketjuissa. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos. Metlan työraportteja 166.
- Ilikkanen, P. & Siren, J. 2005. Rautatiekuljetusten kilpailukyky Suomessa. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 44.
- Ikäheimo, J. & Asikainen, A. 1999. Polttihakkeen tuotantomenetelmien tuottavuus ja kustannukset. Metsätieteen aikakauskirja 3, 491 – 503.
- Impola, R. & Tiihonen, I. 2011. Biopolttoaineterminaalit: Ohjeistus terminaalien perustamiselle ja käytölle. Jyväskylä: VTT.
- Karjalainen, T. 2006. Kainuun bioenergiaohjelma 2006 – 2010. Kajaani: Oulun yliopisto. Working Papers 57.
- Karttunen, K., Föhr, T. & Ranta, T. 2010. Energiapuuta Etelä-Savosta. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Tutkimusraportti. Teknillinen tiedekunta, LUT Energia 7.
- Kelton, W., Sadowski, R. & Sadowski, D. 2002. Simulation with Arena. New York: McGraw-Hill.
- Kiema, M., Pasanen, K. & Parviainen, J. 2005. Bioenergian logistiikka: Loppuraportti. Kuopio: Kuopion yliopisto, ympäristötieteiden laitos.
- Kuitto, P.-J. 2005. Hakeautokalustosta. Teoksessa: P.-J. Kuitto (toim.) Metsästä poltto-aineksi: Polttihakkeen tuotannon puoli vuosisataa. Jyväskylä: FINBIO – Suomen Bioenergiayhdistys, 305 – 306.
- Kuitto, P.-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Vantaa: Metsäteho. Metsätehon tiedotus 410.
- Kärhä, K. 2010. Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa vuonna 2009. Vantaa: Metsäteho. Metsätehon tulostulosarja 9.
- Kärhä, K. 2011. Industrial supply chains and production machinery of forest chips in Finland. Biomass & Bioenergy 35, 3404 – 3413.
-

-
- Kärhä, K., Elo, J., Lahtinen, P., Räsänen, T., Keskinen, S., Saijonmaa, P., Heiskanen, H., Strandström, M. & Pajuoja, H. 2010a. Kiinteiden polttoaineiden saatavuus ja käyttö Suomessa vuonna 2020. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 66.
- Kärhä, K., Elo, J., Lahtinen, P., Räsänen, T. & Pajuoja, H. 2009. Puupolttoaineiden saatavuus ja käyttö Suomessa 2020. Vantaa: Metsäteho. Metsätehon katsaus 40.
- Kärhä, K., Hautala, A. & Mutikainen, A. 2011. Jenz HEM 581 DQ hakkuutähteiden ja pienpuun tienvarsihaketuksessa. Vantaa: Metsäteho. Metsätehon tulosalvosarja 5.
- Kärhä, K. & Mutikainen, A. 2011. Jenz HEM 820 DL runkopuun terminaali-haketuksessa. Vantaa: Metsäteho. Metsätehon tulosalvosarja 13.
- Kärhä, K., Mutikainen, A. & Hautala, A. 2010b. Vermeer HG6000 terminaali-haketuksessa ja -murskauksessa. Vantaa: Metsäteho. Metsätehon tulosalvosarja 15.
- Laitila, J., Asikainen, A. & Anttila, P. 2008. Energiapuutarat. Teoksessa: M. Kuusinen & H. Ilvesniemi (toim.) Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset: Tutkimusraportti. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos ja Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, 6 – 12. [Viitattu 17.1.2013]. Saatavana: http://www.metsavastaa.net/files/metsavastaa/Energiaseminaari%2020112007/Energiapuun_korjuun_ymparistovaikutukset.pdf
- Laitila, J., Asikainen, A., Sikanen, L., Korhonen, K. & Nuutinen, Y. 2004. Pienpuuhakkeen kustannustekijät ja toimituslogistiikka. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos. Metlan työraportteja 3.
- Laitila, J., Leinonen, A., Flyktman, M., Virkkunen, M. & Asikainen, A. 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. Espoo: VTT. VTT tiedotteita 2564.
- Laitila, J. & Väättäin, K. 2011. Kokopuun ja rangan autokuljetus ja haketus-tuottavuus. Metsätieteen aikakauskirja 2, 107 – 126.
- Laurila, J. & Lauhanen, R. 2010. Moisture content of Norway spruce stump wood cutting areas and roadside storage sites. *Silva Fennica* 44(3), 427 – 434.
- Laurila, J. & Lauhanen, R. 2012. Weight and volume of small-sized whole trees at different phases of the supply chain. *Scandinavian journal of forest research* 27, 46 – 55.
- Law, A. & Kelton, W. 2000. Simulation modeling and analysis. New York: McGraw-Hill.
- Metsäkonealan työehtosopimus. [Verkkajulkaisu]. 2011. Helsinki: Puuliitto. [Viitattu 19.6.2012]. Saatavana: http://www.puuliitto.fi/files/932/Metsakonealan_tyoehtosopimus_1_03_2011-31_01_2014.pdf
-

- Oksanen, R. 2003. Kuljetusten toimintolaskennan sovellukset ja toteutus. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 17.
- Pajuoja, H. & Kärhä, K. 2011. Kesla C645A pienpuun tienvarsihaketuksessa. Vantaa: Metsäteho. Metsätehon tulostusjulkaisu 17.
- Perälä, T., Perälä, M. & Myllylä, M. 2011. Bioterminaalien liiketoimintaselvitys: Loppu-raportti. Maaseudun kehittämissyhteistyö Viisari.
- Pettersson, M. & Nordfjell, T. 2007. Fuel quality changes during seasonal storage of compacted logging residues and young trees. *Biomass & Bioenergy* 31, 782 – 792.
- Pihlajamäki, P. & Salo, T. 2010. Kainuun biomassaterminaalihankkeen toteuttavuus selvitys. Vantaa: Pöyry Management Consulting. Kainuun Etu.
- Pundoor, G. & Herrmann, J. W. 2006. A hierarchical approach to supply chain simulation modeling using the Supply Chain Operations Reference model. *International journal of simulation and process modelling* 2(3/4), 124 – 132.
- Ranta, T. 2002. Logging residues from regeneration fellings for biofuel production: A GIS-based availability and supply cost analysis. Lappeenranta: Lappeenranta University of Technology. *Acta Universitatis Lappeenrantaensis* 128. Diss.
- Rautateiden verkkoselostus 2013. [Verkköjulkaisu]. 2011. Helsinki: Liikennevirasto. Liikenneviraston väylätietoja 2. [Viitattu 17.1.2013]. Saatavana: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lv_2011-02_rautateiden_verkkoselostus_web.pdf
- Rimpiläinen, T. 2007. Sairaalan materiaalivirtojen mallintaminen ja simulointi. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, systeemitekniikan laboratorio. Diplomityö.
- Rinne, S. 2010. Energiapuun haketuksen ja murskauksen kustannukset. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, energiatekniikan osasto. Diplomityö.
- Rinne, S., Karttunen, K., Korpinen, O.-J., Ranta, T. & Handelberg, J. 2010. Terminaali liiketoimintana. Teoksessa: K. Karttunen, T. Föhr & T. Ranta (toim.) Energiapuuta Etelä-Savosta. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, teknillinen tiedekunta. *Tutkimusraportti* 7, 125 – 145.
- Robinson, S. 2004. *Simulation: The practice of model development and use*. Chichester: Wiley.
- Ryymän, R., Pohto, P., Laitila, J., Humala, I., Rajahonka, M., Kallio, J., Selosmaa, J., Anttila, P. & Lehtoranta, T. 2008. Metsäenergian hankinnan uudistaminen. Loppuraportti 12. Jyväskylä: Metsäntutkimuslaitos.
-

-
- Saranen, J. 2009. Enhancing the efficiency of freight transport by using simulation. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Acta Universitatis Lappeenrantaensis 342. Diss.
- Savon Voima Oy:n bioenergiaohjelma. 2001. Kuopio: Savon Voima.
- Searcy, E., Flynn, P., Ghafoori, E. & Kumar, A. 2007. The Relative cost of biomass energy transport. Applied biochemistry and biotechnology 2007 (137 – 140), 639 – 652.
- Seppänen, N. 2011. Valtimon biotermiinaali. Valtimo: Pielisen Karjalan Kehittämiskeskus.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. & Simchi-Levi, E. 2008. Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies and case studies. New York: McGraw-Hill.
- Solakivi, T., Ojala, L., Lorentz, H., Laari, S. & Töyli, J. (2012) Logistiikkaselvitys 2012. Julkaisuja 11/2012. Liikenne- ja viestintäministeriö, Helsinki.
- Solakivi, T., Ojala, L., Töyli, J., Hälinen, H.-M., Lorentz, H., Rantasila, K., Huolila, K. & Laari, S. 2010. Logistiikkaselvitys 2010. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö. Julkaisuja 36.
- Strandström, M. 2012. Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa vuonna 2011. Vantaa: Metsäteho. Metsätehon tulosalvosarja 4.
- Tahvanainen, T. & Anttila, P. 2011. Supply chain cost analysis of long-distance transportation of energy wood in Finland. Biomass & bioenergy 35, 3360 – 3375.
- Tietoa bioenergiasta. Biomassasta energiaa. 2010. [Verkkosivu]. [Viitattu 24.11.2011]. Saatavana: http://www.bioenergia.fi/default/www/etusivu/tietoa_bioenergiasta
- Torvelainen, J. 2011. Puun korjuu ja kuljetus. Teoksessa: E. Ylitalo (toim.) Metsätilastollinen vuosikirja 2010. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos, 195 – 214.
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2010. Uusiutuvan energian velvoitepaketti. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 31.8.2011]. Saatavana: http://www.tem.fi/files/26643/UE_lo_velvoitepaketti_Kesaranta_200410.pdf
- Väkevä, J., Pennanen, O. & Örn, J. 2004. Puutavara-autojen polttoaineen kulutus. Vantaa: Metsäteho. Metsätehon raportti 166.
- Väätäinen, K., Asikainen, A. & Sikanen, L. 2006. Metsäkoneiden siirtokustannusten laskenta ja merkitys puunkorjuun kustannuksissa. Metsätieteen aikakauskirja 3, 391 – 397.
- Ylitalo, E. 2011. Energia. Teoksessa: E. Ylitalo (toim.) Metsätilastollinen vuosikirja 2011. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos, 289 – 314.
- Ympäristöministeriö. 2008. Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia. Ympäristöministeriön sektoriselvitys. Helsinki: Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön raportteja 19.
-

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULUN JULKAISUSARJA

A. TUTKIMUKSIA

1. Timo Toikko. Sosiaalityön amerikkalainen oppi: Yhdysvaltalaisen caseworkin kehitys ja sen yhteys suomalaiseseen tapauskohtaiseen sosiaalityöhön. 2001.
 2. Jouni Björkman. Risk Assessment Methods in System Approach to Fire Safety. 2005.
 3. Minna Kivipelto. Sosiaalityön kriittinen arviointi: Sosiaalityön kriittisen arvioinnin perustelut, teoriat ja menetelmät. 2006.
 4. Jouni Niskanen. Community Governance. 2006. (verkkojulkaisu)
 5. Elina Varamäki, Matleena Saarakkala & Erno Tornikoski. Kasvu-yrittäjyyden olemus ja pk-yritysten kasvustrategiat Etelä-Pohjanmaalla. 2007.
 6. Kari Jokiranta. Konkretisoituva uhka: Ilkka-lehden huumekirjoitukset vuosina 1970–2002. 2008.
 7. Kaija Loppela. Ryhmässä oppiminen – tehokasta ja hauskaa: Arviointitutkimus PBL-pedagogiikan käyttöönotosta fysioterapeuttikoulutuksessa Seinäjoen ammattikorkeakoulussa vuosina 2005–2008. 2009.
 8. Matti Ryhänen & Kimmo Nissinen (toim.). Kilpailukykyä maidontuotantoon: Toimintaympäristön tarkastelu ja ennakointi. 2011.
 9. Elina Varamäki, Juha Tall, Kirsti Sorama, Aapo Länsiluoto, Anmari Viljamaa, Erkki K. Laitinen, Marko Järvenpää & Erkki Petäjä. Liiketoiminnan kehittyminen omistajanvaihdoksen jälkeen: Case-tutkimus omistajanvaihdoksen muutostekijöistä. 2012
 10. Merja Finne, Kaija Nissinen, Sirpa Nygård, Anu Hopia, Hanna-Leena Hietaranta-Luoma, Harri Luomala, Hannu Karhu & Annu Peltoniemi. Eteläpohjalaiset elintavat ja terveyskäyttäytyminen: TERVAS: Terveelliset valinnat ja räätälöidyt syömisen ja liikkumisen mallit 2009–2011. 2012.
 11. Elina Varamäki, Kirsti Sorama, Anmari Viljamaa, Tarja Heikkilä & Kari Salo. Eteläpohjalaisten sivutoimiyrittäjien kasvutavoitteet sekä kasvun mahdollisuudet. 2012.
 12. Janne Jokelainen. Hirsiseinän tilkemateriaalien ominaisuudet. 2012.
-

B. RAPORTTEJA JA SELVITYKSIÄ

1. Seinäjoen ammattikorkeakoulusta soveltavan osaamisen korkeakoulu: Tutkimus- ja kehitystoiminnan ohjelma. 1998.
 2. Elina Varamäki, Ritva Lintilä, Taru Hautala & Eija Taipalus. Pk-yritysten ja ammattikorkeakoulun yhteinen tulevaisuus: Prosessin kuvaus, tuotokset ja toimintaehdotukset. 1998.
 3. Elina Varamäki, Tarja Heikkilä & Eija Taipalus. Ammattikorkeakoulusta työelämään: Seinäjoen ammattikorkeakoulusta 1996 – 1997 valmistuneiden sijoittuminen. 1999.
 4. Petri Kahila. Tietoteollisen koulutuksen tilanne- ja tarveselvitys Seinäjoen ammattikorkeakoulussa: Väkiraportti. 1999.
 5. Elina Varamäki. Pk-yritysten tuleva elinkaari: Säilykö Etelä-Pohjanmaa yrittäjämaakuntana? 1999.
 6. Seinäjoen ammattikorkeakoulun laatujärjestelmän auditointi 1998 – 1999: Itsearviointiraportti ja keskeiset tulokset. 2000.
 7. Heikki Ylihärsilä. Puurakentaminen rakennusinsinöörien koulutuksessa. 2000.
 8. Juha Ruuska. Kulttuuri- ja sisältötuotannon koulutus selvitys. 2000.
 9. Seinäjoen ammattikorkeakoulusta soveltavan osaamisen korkeakoulu: Tutkimus- ja kehitystoiminnan ohjelma 2001. 2001.
 10. Minna Kivipelto (toim.). Sosionomin asiantuntijuus: Esimerkkejä kriminaalihuolto-, vankila- ja projektityöstä. 2001.
 11. Elina Varamäki, Tarja Heikkilä & Eija Taipalus. Ammattikorkeakoulusta työelämään: Seinäjoen ammattikorkeakoulusta 1998 – 2000 valmistuneiden sijoittuminen. 2002.
 12. Tapio Varmola, Helli Kitinoja & Asko Peltola (ed.). Quality and new challenges of higher education: International Conference 25. – 26. September, 2002. Seinäjoki Finland. Proceedings. 2002.
 13. Susanna Tauriainen & Arja Ala-Kauppi. Kivennäisaineet kasvavien nautojen ruokinnassa. 2003.
 14. Päivi Laitinen & Sanna Välisaari. Staphylococcus aureus -bakteerien aiheuttaman utaretulehduksen ennaltaehkäisy ja hoito lypsykarjatiljoilla. 2003.
 15. Riikka Ahmaniemi & Marjut Setälä. Seinäjoen ammattikorkeakoulu: Alueellinen kehittäjä, toimija ja näkijä. 2003.
 16. Hannu Saari & Mika Oijennus. Toiminnanohjaus kehityskohteena pk-yrityksessä. 2004.
-

17. Leena Niemi. Sosiaalisen tarkastelua. 2004.
 18. Marko Järvenpää (toim.) Muutoksen kärjessä: Kalevi Karjanlahti 60 vuotta. 2004.
 19. Suvi Torkki (toim.). Kohti käyttäjäkeskeistä muotoilua: Muotoilukoulutuksen painotuksia SeAMK:ssa. 2005.
 20. Timo Toikko (toim.). Sosiaalialan kehittämistyön lähtökohta. 2005.
 21. Elina Varamäki, Tarja Heikkilä & Eija Taipalus. Ammattikorkeakoulusta työelämään: Seinäjoen ammattikorkeakoulusta v. 2001 – 2003 valmistuneiden sijoittuminen opiskelun jälkeen. 2005.
 22. Tuija Pitkähkoski, Sari Pajuniemi & Hanne Vuorenmaa (ed.). Food Choices and Healthy Eating: Focusing on Vegetables, Fruits and Berries: International Conference September 2nd – 3rd 2005. Kauhajoki, Finland. Proceedings. 2005.
 23. Katariina Perttula. Kokemuksellinen hyvinvointi Seinäjoen kolmella asuinalueella: Raportti pilottihankkeen tuloksista. 2005.
 24. Mervi Lehtola. Alueellinen hyvinvointitiedon malli: Asiantuntijat puhujina. Hankkeen loppuraportti. 2005.
 25. Timo Suutari, Kari Salo & Sami Kurki. Seinäjoen teknologia- ja innovaatiokeskus Frami vuorovaikutusta ja innovatiivisuutta edistävänä ympäristönä. 2005.
 26. Päivö Laine. Pk-yritysten verkkosivustot: Vuorovaikutteisuus ja kansainvälistyminen. 2006.
 27. Erno Tornikoski, Elina Varamäki, Marko Kohtamäki, Erkki Petäjä, Tarja Heikkilä & Kirsti Sorama. Asiantuntijapalveluyritysten yrittäjien näkemys kasvun mahdollisuuksista ja kasvun seurauksista Etelä- ja Keski-Pohjanmaalla: Pro Advisor -hankkeen esiselvitystutkimus. 2006.
 28. Elina Varamäki (toim.) Omistajanvaihdosnäkymät ja yritysten jatkuvuuden edistäminen Etelä-Pohjanmaalla. 2007.
 29. Thorsten Beck, Henning Bruun-Schmidt, Helli Kitinoja, Lars Sjöberg, Owe Svensson & Alfonsas Vainoras. eHealth as a facilitator of transnational cooperation on health: A report from the Interreg III B project "eHealth for Regions". 2007.
 30. Anmari Viljamaa & Elina Varamäki (toim.) Etelä-Pohjanmaan yrittäjyyskatsaus 2007. 2007.
 31. Elina Varamäki, Tarja Heikkilä, Eija Taipalus & Marja Lautamaja. Ammattikorkeakoulusta työelämään: Seinäjoen ammattikorkeakoulusta v. 2004 – 2005 valmistuneiden sijoittuminen opiskelujen jälkeen. 2007.
 32. Sulevi Riukulehto. Tietoa, tasoa, tekoja: Seinäjoen ammattikorkeakoulun ensimmäiset vuosikymmenet. 2007.
-

-
33. Risto Lauhanen & Jussi Laurila. Bioenergian hankintalogistiikka: Tapaustudkimuksia Etelä-Pohjanmaalta. 2007. (verkkojulkaisu).
 34. Jouni Niskanen (toim.). Virtuaalioppimisen ja -opettamisen Benchmarking Seinäjoen ammattikorkeakoulun, Seinäjoen yliopistokeskuksen sekä Kokkolan yliopistokeskuksen ja Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakouluun Averkon välillä keväällä 2007. Loppuraportti. 2007. (verkkojulkaisu).
 35. Heli Simon & Taina Vuorela. Ammatillisuus ammattikorkeakoulujen kielten- ja viestinnänopetuksessa: Oulun seudun ammattikorkeakoulun ja Seinäjoen ammattikorkeakoulun kielten- ja viestinnänopetuksen arviointi- ja kehittämishanke 2005–2006. 2008. (verkkojulkaisu).
 36. Margit Närvä, Matti Ryhänen, Esa Veikkola & Tarmo Vuorenmaa. Esiselvitys maidontuotannon kehittämiskohteista. Loppuraportti. 2008.
 37. Anu Aalto, Ritva Kuoppamäki & Leena Niemi. Sosiaali- ja terveysalan yrittäjyyspedagogisia ratkaisuja: Seinäjoen ammattikorkeakoulun Sosiaali- ja terveysalan yksikön kehittämishanke. 2008. (verkkojulkaisu)
 38. Anmari Viljamaa, Marko Rossinen, Elina Varamäki, Juha Alarinta, Pertti Kinnunen & Juha Tall. Etelä-Pohjanmaan yrittäjyyskatsaus 2008. 2008. (verkkojulkaisu).
 39. Risto Lauhanen. Metsä kasvaa myös Länsi-Suomessa: Taustaselvitys hakkuumahdollisuuksista, työmääristä ja resurssitarpeista. 2009. (verkkojulkaisu).
 40. Päivi Niiranen & Sirpa Tuomela-Jaskari. Haasteena ikäihmisten päihdeongelma?: Selvitys ikäihmisten päihdeongelman esiintyvyydestä pohjalaismaakunnissa. 2009. (verkkojulkaisu).
 41. Jouni Niskanen. Virtuaaliopetuksen ajokorttikonsepti: Portfoliotyyppinen henkilöstökoulutuskokonaisuus. 2009. (verkkojulkaisu)
 42. Minttu Kuronen-Ojala, Pirjo Knif, Anne Saarijärvi, Mervi Lehtola & Harri Jokiranta. Pohjalaismaakuntien hyvinvointibarometri 2009: Selvitys pohjalaismaakuntien hyvinvoinnin ja hyvinvointipalveluiden tilasta sekä niiden muutossuunnista. 2009. (verkkojulkaisu).
 43. Vesa Harmaakorpi, Päivi Myllykangas & Pentti Rauhala. Seinäjoen ammattikorkeakoulu: Tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoiminnan arviointiraportti. 2010.
 44. Elina Varamäki (toim.), Pertti Kinnunen, Marko Kohtamäki, Mervi Lehtola, Sami Rintala, Marko Rossinen, Juha Tall & Anmari Viljamaa. Etelä-Pohjanmaan yrittäjyyskatsaus 2010. 2010.
 45. Elina Varamäki, Marja Lautamaja & Juha Tall. Etelä-Pohjanmaan omistajanvaihdosbarometri 2010. 2010.
 46. Tiina Sauvula-Seppälä, Essi Ulander & Tapani Tasanen (toim.). Kehittyvä metsäenergia: Tutkimusseminaari Seinäjoen Framissa 18.11.2009. 2010.
-

47. Veli Autio, Jouni Björkman, Peter Grönberg, Markku Heinisuo & Heikki Ylihärtilä. Rakennusten palokuormien inventaariotutkimus. 2011.
 48. Erkki K. Laitinen, Elina Varamäki, Juha Tall, Tarja Heikkilä & Kirsti Sorama. Omistajanvaihdokset Etelä-Pohjanmaalla 2006–2010: Ostajaryitysten ja ostokohteiden profiilit ja taloudellinen tilanne. 2011.
 49. Elina Varamäki, Tarja Heikkilä & Marja Lautamaja. Nuorten, aikuisten sekä ylempien tutkinnon suorittaneiden sijoittuminen työelämään: Seurantatutkimus Seinäjoen ammattikorkeakoulusta v. 2006–2008 valmistuneille. 2011.
 50. Vesa Harmaakorpi, Päivi Myllykangas & Pertti Rauhala. Evaluation report for research, development and innovation activities. 2011.
 51. Ari Haasio & Kari Salo (toim.) AMK 2.0: Puheenvuoroja sosiaalisesta mediasta ammattikorkeakouluissa. 2011.
 52. Elina Varamäki, Tarja Heikkilä, Juha Tall & Erno Tornikoski. Eteläpohjalaiset yrittäjät liiketoimintojen ostajina, myyjinä ja kehittäjinä. 2011.
 53. Jussi Laurila & Risto Lauhanen. Pienen kokoluokan CHP-tekniologiasta lisää voimaa Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueelle. 2011.
 54. Tarja Keski-Mattinen, Jouni Niskanen & Ari Sivula. Ammattikorkeakouluopintojen ohjaus etätyömenetelmillä. 2011.
 55. Tuomas Hakonen & Jussi Laurila. Metsähakkeen kosteuden vaikutus polton ja kaukokuljetuksen kannattavuuteen. 2011.
 56. Heikki Holma, Elina Varamäki, Marja Lautamaja, Hannu Tuuri & Terhi Anttila. Yhteistyösuhteet ja tulevaisuuden näkymät eteläpohjalaisissa puualan yrityksissä. 2011.
 57. Elina Varamäki, Kirsti Sorama, Kari Salo & Tarja Heikkilä. Sivutoimiyrittäjyyden rooli ammattikorkeakoulusta valmistuneiden keskuudessa. 2011.
 58. Kimmo Nissinen (toim.). Maitilan prosessien kehittäminen: Lypsy-, ruokinta- ja lannankäsittely- sekä kuiritusprosessien toteuttaminen: Maitohygienian turvaaminen maitotiloilla: Teknologisia ratkaisuja, rakiennuttaminen ja tuotannon ylösajo. 2012.
 59. Matti Ryhänen & Erkki Laitila (toim.). Yhteistyö ja resurssit maitotiloilla: Verkostomaisen yrittämisen lähtökohtia ja edellytyksiä. 2012.
 60. Jarkko Pakkanen, Kati Katajisto & Ulla El-Bash. Verkostoitunut älykkäiden koneiden kehitysympäristö: VÄLKKEY-projektin raportti. 2012.
 61. Elina Varamäki, Tarja Heikkilä, Juha Tall, Aapo Länsiluoto & Anmari Viljamaa. Ostajien näkemykset omistajanvaihdoksen toteuttamisesta ja onnistumisesta. 2012
-

-
62. Minna Laitila, Leena Elenius, Hilikka Majasaari, Marjut Nummela & Annu Peltoniemi (toim.). Päihdetyön oppimista ja osaamista ammattikorkeakoulussa. 2012
 63. Ari Haasio (toim.). Verkko haltuun!: Nätet i besittning!: Näkökulmia verkostoituvaan kirjastoon. 2012
 64. Anmari Viljamaa, Sanna Joensuu, Beata Taijala, Seija Råttts, Tero Turunen, Kaija-Liisa Kivimäki & Päivi Borisov. Elävästä elämästä: Kumppaniyrityspedagogiikka oppimisympäristönä. 2012.
 65. Kirsti Sorama. Klusteriennakointimalli osaamistarpeiden ennakointiin: Ammatillisen korkea-asteen koulutuksen opetussisältöjen kehittäminen. 2012.
 68. Ari Sivula, Risto Lauhanen, Anna Saarela, Tiina Ahtola & Antti Pasila. Bioenergia-asiantuntijuutta kehittämässä Etelä-Pohjanmaalla. 2013.

C. OPPIMATERIAALEJA

1. Ville-Pekka Mäkeläinen. Basics of business to business marketing. 1999.
2. Lea Knuuttila. Mihin työohjausta tarvitaan?: Oppimateriaalia sosiaalialan opiskelijoiden työnohjauskurssille. 2001.
3. Mirva Kuni, Petteri Männistö & Markus Välimaa. Leikkauspelot ja niiden hoitaminen. 2002.
4. Ilpo Kempas & Angela Bartens. Johdatus portugalin kielen ääntämiseen: Portugalí ja Brasília. 2011.
5. Ilpo Kempas. Ranskan kielen prepositio-opas: Tavallisimmat tapaukset, joissa adjektiivi tai verbi edellyttää tietyn preposition käyttöä tai esiintyy ilman prepositiota. 2011.

D. OPINNÄYTETÖITÄ

1. Hanna Halmesmäki & Merja Halmesmäki. Työvoiman osaamistarvekartoitus Etelä-Pohjanmaan metalli- ja puualan yrityksissä. 1999.
 2. Tiina Kankaanpää, Maija Luoma-aho & Heli Sinisalo. Kymmenen metrin kävelytestin suoritusohjeet CD-rom levyllä: Aivoverenkiertohäiriöön sairastuneen kävelyn mittaaminen. 2000.
 3. Laura Elo. Arvojen rooli yritysmaailmassa. 2001.
 4. Nina Anttila. Päälle käyvää: Vaatemallisto ikääntyvälle naiselle. 2002.
 5. Jaana Jeminen. Matkalla muotoiluyrittäjyyteen. 2002.
-

6. Päivi Akkanen. *Lypsääkö meillä tulevaisuudessa robotti?* 2002.
 7. Johanna Kivioja. *E-learningin alkutaival ja tulevaisuus Suomessa.* 2002.
 8. Heli Kuntola & Hannele Raukola. *Naisen kokemuksia minäkuvan muuttumisesta rinnanpoistoleikkauksen jälkeen.* 2003.
 9. Jenni Pietarila. *Meno-paluu -lauluilla tuottaminen: Produktion tuottajan käsikirja.* 2003.
 10. Johanna Hautamäki. *Asiantuntijapalvelun tuotteistaminen case: Avaimet markkinointiin, kehittyvän yrityksen asiakasohjelma -pilotti projekti.* 2003.
 11. Sanna-Mari Petäjästä. *Teollinen tuotemuotoiluprosessi: Sohvapöydän ja sen oheistuotteiden suunnittelu.* 2004.
 12. Susanna Patrikainen. *Nuorekkaita asukokonaisuuksia Mode LaRose Oy:lle: Vaatemallien suunnittelu teolliseen mallistoon.* 2004.
 13. Tanja Rajala. *Suonikohjuleikkauksen tulevan potilaan ja hänen perheensä ohjaus päiväkirurgisessa yksikössä.* 2004.
 14. Marjo Lapiolahti. *Maksuvalmiuslaskelmien toteutuminen sukupolvenvaihdoilla.* 2004.
 15. Marjo Taittonen. *Tutkimusmatka syrjäytymisen maailmaan.* 2004.
 16. Minna Hakala. *Maidon koostumus ja laatutekijät.* 2004.
 17. Anne Uusitalo. *Tuomarniemen ympäristöohjelma.* 2004.
 18. Maarit Hoffrén. *Vaihtelua kasviksilla: Kasvisruokalistan kehittäminen opiskelijaravintola Risettiin.* 2004.
 19. Sami Karppinen. *Tuomarniemen hengessä: Arkeista antologiaksi.* 2005.
 20. Elina Syrjänen & Anne-Mari Uschanoff. *Messut – ideasta toimintaan: Messutoteutus osana yrityksen markkinointiviestintää.* 2005.
 21. Ari Sivula. *Metahakemiston ja LDAP-hakemiston asennus, konfigurointi ja ohjelmointi Seinäjoen koulutuskuntayhtymälle.* 2006. (verkkojulkaisu).
 22. Johanna Väliniemi. *Suorat kaaret: kattaustekstiilien suunnittelu yhteistyössä tekstiiliteollisuuden kanssa.* 2006. (verkkojulkaisu).
-



Seinäjoen ammattikorkeakoulu
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Seinäjoen korkeakoulukirjasto
Kalevankatu 35, PL 97, 60101 Seinäjoki
puh. 020 124 5040 fax 020 124 5041
seamk.kirjasto@seamk.fi

ISBN 978-952-5863-50-5
ISSN 1795-5565