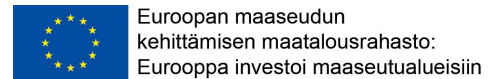


Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta. LUT Energia.
Tutkimusraportti 12

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology. LUT Energy.
Research report 12

Olli-Jussi Korpinen, Jarno Föhr, Juha Saranen, Kari Väätäinen & Tapio Ranta

Biopolttoaineiden saatavuus ja hankintalogistiikka Kaakkois-Suomessa



Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT Savo
Prikaatinkatu 3 E
50100 MIKKELI

Teknillinen tiedekunta. LUT Energia – Tutkimusraportti 12

ISBN 978-952-265-067-2
ISBN 978-952-265-068-9 (PDF)
ISSN 1798-1328

Lappeenranta 2011

TIIVISTELMÄ

"Biopolttoaineiden saatavuus ja hankintalogistiikka Kaakkois-Suomessa" -hankkeen tavoitteena oli tuottaa ajantasaista ja paikkaan sidottua tietoa energiatuotantoon soveltuvan biomassan saatavuudesta ja biomassapotentiaalin tehokkaan käytön mahdollistavasta logistiikkajärjestelmästä Kaakkois-Suomen alueella. Tarkastelussa mukana olleet polttoaineet eli metsä- ja peltobiomassat sekä turve ovat ns. paikallisia polttoaineita, joiden hankinta tapahtuu maaseudulta, ensisijaisesti mahdollisimman läheltä kutakin käyttöpaikkaa. Hankkeessa tutkittiin mahdollisuuksia lisätä paikallista polttoaineenhankintaa, kuljetusmääriä ja -kalustoa järkevästi 2010-luvulla toteutettavan energiapolitiikan myötä kasvavan polttoainetarpeen puitteissa. Rautatie- ja vesitiekuljetusten hyödyntämistä logistiikassa tutkittiin kahden tapaustutkimuksen avulla. Tutkittavia asioita olivat myös tuotantoketjujen lisääntyvä työvoimatarve sekä maantieteellisesti laajenevan raaka-ainehankinnan kasvihuonekaasupäästöistä aiheutuvat ympäristövaikutukset.

Tärkeimpinä tuloksina saatiin tietoa siitä, kuinka laajalle alueelle biopolttoaineiden hankinta eri asiantilojen vallitessa Kaakkois-Suomen alueella ulottuu, ja millaisia hankintalogistiikkaan liittyviä ratkaisuja voidaan ottaa käyttöön alueellisen polttoainepulan muodostuessa. Logistiikan kannalta Kaakkois-Suomen etuja ovat monipuoliset kuljetusverkostot, mutta toisaalta varsinkin hyvät yhteydet ulkomaille rajoittavat paikallisesti investointiaktiivisuutta bioenergian tuotanto- ja käsittelykaluston osalta. Lisäksi maaseudun yrittäjien keskuudessa epävarmuutta aiheuttavat heilahtelevat raakapuumarkkinat ja muuttuva energiatukipolitiikka.

Avainsanat: bioenergia, kuljetus, rautatie, vesitie, energiantuotanto

ABSTRACT

The aim of the project "Availability and supply logistics of biofuels in Southeastern Finland" was to study and analyse the biomass potential suitable for energy production purposes and develop biofuel supply logistics in the region of Southeastern Finland. The main focus in the project was set for forest fuels, but also other local biomass, such as agricultural products and peat, were observed.

The consequences of increasing biomass demand, transport volumes and transport units were investigated on regional level. The profitability of using logistic systems based on long-haul railway and waterway transportation was also analysed in two case-studies. The analyses were carried out by assessing both economic and environmental impacts. Additionally, labour input rates and numbers of required machinery for supply strategies were evaluated.

The key results were estimations of how widely the power plants' supply areas are spread in different scenarios of regional supply and demand. A special feature in Southern Finland is that the traffic network is well suitable for utilising long-distance transport methods in feedstock supply. On the other hand, local bioenergy producers on rural areas may find this as a threat due to end-users' good possibilities to import foreign biomass instead of local biomass.

Keywords: biofuels, transportation, railway, waterway, energy production

ALKUSANAT

”Biopolttoaineen saatavuus ja hankintalogistiikka Kaakkois-Suomessa” –hankkeen käynnistysvaiheessa oli jalo idea tuottaa Kaakkois-Suomen paikallisista raaka-ainevaroista ja toimituslogistiikasta sellaista tietoa, että maaseudun toimijoille annetaan lisää eväitä laskelmoida, millaisia mahdollisuuksia heillä on omilla reviireillään lisätä bioenergian tuotantoa kannattavasti, ja omalta osaltaan kantaa kortensa kekoon valtakunnan ”ilmastotalkoissa”. Näitä rivejä kirjoittaessa tuntuu kuitenkin, että minkä tänään toteaa, on huomenna jo vanhentunutta tietoa. Energiapuuta riittää, mutta sitä ei tarvita, koska tänään siitä tuotetulle sähkölle ei myönnetä tukea. Uusien turvetuotantoon suunniteltujen soiden ympäristölupia taas kumotaan kaiken aikaa, ja vanhaa suoalaa poistuu käytöstä. Mutta jos tuleva kesä on yhtä kuiva kuin viime kesä, niin tuotantotavoitteisiin päästään tänäkin vuonna. Epävarmuutta on siis ilmassa.

Kaikesta epävarmuudesta huolimatta kokosimme raportin, josta selviää, kuinka energiaomavarainen Kaakkois-Suomi voisi olla, kuinka paljon vaivaa energiaomavaraisuuden hyödyntäminen aiheuttaisi, ja kuinka paljon vaivannäkö loisi uusia työmahdollisuuksia maaseudulle. Raportissa keskitytään perinteiseen energiantuotantotekniikkaan sopivien paikallisten biopolttoaineiden nykyisiin kuljetus- ja käsittelymenetelmiin, mutta esitetään myös tulevan varalle uusia järjestelyitä etenkin ”risusavotassa” keskeiseen rooliin nousseen metsäpolttoaineen hankintaan.

Hankerahoituksen pääkanava oli Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahastoon kuuluva Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelma 2007-2013, ja hanketta valvovana organisaationa Kaakkois-Suomen ELY-keskus. Yksityisrahoituksesta saamme kiittää Metsäteho Oy:tä, Hyötypaperi Oy:tä, Suur-Savon energiasäätiötä ja Koneyrittäjien liittoa. Hankkeen ohjausryhmää kiitämme asiantuntevasta palautteesta ja fokuksen pitämisestä oikeilla raiteilla hankkeen ajan.

Mikkelissä maaliskuussa 2011

Olli-Jussi Korpinen

SISÄLTÖ

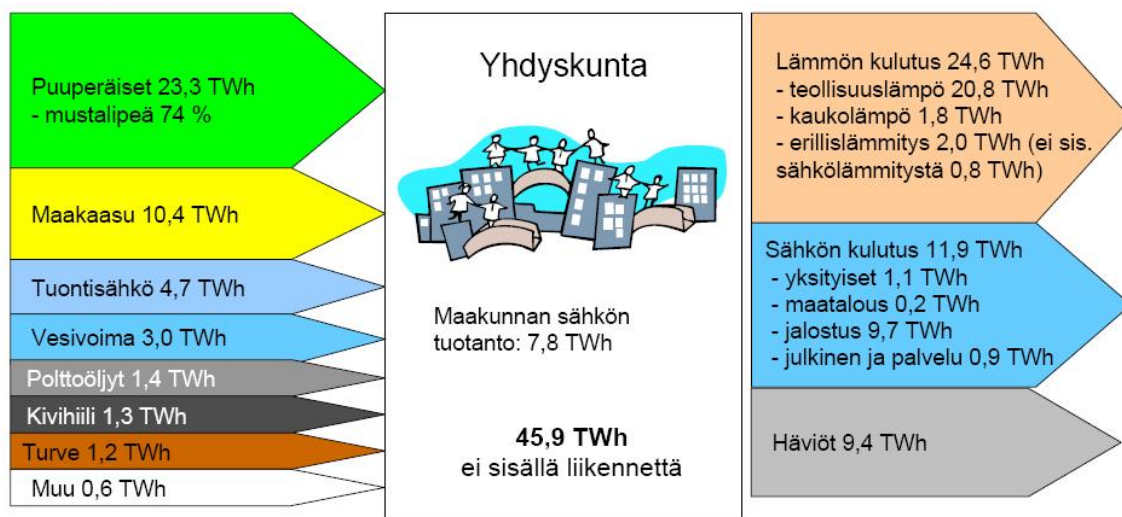
1	Johdanto	6
1.1	Tausta.....	6
1.2	Hankkeen tavoitteet.....	7
2	Paikallisten biopolttoaineiden raaka-ainevarat Kaakkois-Suomessa.....	8
2.1	Biopolttoaineet	8
2.2	Alueen kuvaus.....	9
2.3	Metsäbiomassat	9
2.4	Turve.....	11
2.5	Peltobiomassat	12
3	Biopolttoainevarat Kaakkois-Suomen kunnissa ja niiden saatavuus käyttökohteisiin	14
3.1	Metsähake	14
3.1.1	Laskentamenetelmät	14
3.1.2	Hakkuutähteet	18
3.1.3	Kannot	19
3.1.4	Pienpuu	21
3.1.5	Käyttöpaikkakohtainen laskenta	21
3.2	Turve.....	23
3.2.1	Laskentamenetelmät	23
3.2.2	Tulokset	24
3.3	Ruokohelpi	26
3.3.1	Laskentamenetelmät	26
3.3.2	Tulokset	27
3.3.3	Johtopäätökset.....	29
4	Metsäpolttoaineiden hankintalogistiikka Kaakkois-Suomessa	31
4.1	Kysyntä- ja tarjonta-aineisto	31
4.2	Hankintalogistiikan laskentamalli	33
4.3	Hankintaketjun kustannukset	35
4.4	Tulokset ja johtopäätökset	36
5	Pitkien kuljetusmatkojen hankintalogistiikka	40
5.1	Johdanto	40
5.2	Hankintaketjujen kuvaukset.....	40
5.3	Tutkimuksessa huomioidut raaka-aineet ja hankintaketjun vaiheet.....	41
5.4	Aineisto ja menetelmät	42
5.4.1	Tapahtumapohjainen simulointi tutkimusmenetelmänä.....	42
5.4.2	Simuloitu junajärjestelmä	43
5.4.3	Simuloidut alusjärjestelmät.....	45
5.4.4	Raaka-aineen kysynnän ja tarjonnan skenaariot	47
5.4.5	Simulointiajot.....	50
5.5	Tulokset	52
5.5.1	Rautatiekuljetuslogistiikka	52
5.5.2	Vesitiekuljetuslogistiikka	58
5.6	Johtopäätökset.....	59
6	Biopolttoaineterminaalit Kaakkois-Suomessa	63
6.1	Johdanto.....	63
6.2	Tutkimus energiapienpuun terminaalimurskauksesta	63
6.2.1	Aineisto ja menetelmät	64
6.2.2	Tulokset	73
6.2.3	Johtopäätökset.....	80

6.3	Terminaalitoiminnan logistinen kustannusanalyysi	83
6.3.1	Terminaalien sijainnit	83
6.3.2	Terminaalien koko ja palvelutaso	85
6.3.3	Raaka-aineen jalostuksen kustannukset	86
6.3.4	Raaka-aineen saatavuus	86
6.3.5	Kysyntäsuunnat ja -vaihtoehdot	87
6.3.6	Tulokset	88
6.3.7	Johtopäätökset	89
7	Lisääntyvien metsäpolttoainekuljetusten työllisyys- ja ympäristövaikutukset	90
7.1	Tausta	90
7.2	Hankintaketjujen työvoiman tarpeet	90
7.2.1	Aineisto ja menetelmät	90
7.2.2	Tulokset ja johtopäätökset	92
7.3	Hankintaketjujen ympäristövaikutukset	94
7.3.1	Aineisto ja menetelmät	94
7.3.2	Tulokset ja johtopäätökset	95
8	Loppusanat	98

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Kaakkois-Suomea koettelevat samat ilmasto- ja energiapoliittiset muutospaineet kuin koko maamme. Hallituksen laatimassa pitkän aikavälin ilmastostrategiassa esitetään keinoja saavuttaa valtakunnallisesti EU:n asettama uusiutuvien energianlähteiden 38 % osuus energian loppukulutuksesta (Työ- ja elinkeinoministeriö 2008). Fossiilisilla polttoaineilla tuotetun energian korvaamisessa päähuomio kohdistuu puupolttoaineiden ja erityisesti metsähakkeen käytön lisäämiseen. Kaakkois-Suomen kannalta asia on kaksijakoinen. Alueen teollisuus on hyvin energiaintensiivistä, ja varsinkin metsäteollisuuden osuus energiankuluttajana on merkittävä. Metsäteollisuus käyttää omassa energiantuotannossaan jo nyt paljon uusiutuvia energialähteitä prosessiensa sivutuotteiden, kuten hakkeen, kuoren, purun ja mustalipeän muodossa (kuva 1). Toisaalta muut teollisuudenalat, joilla biopohjaisia raaka-aineita ei ole omasta takaa, hankkivat usein tarvitsemansa energian maakaasuna, jota putket kuljettavat Venäjältä eteläisen Suomen halki. Maakaasu, jonka etuna on polttoaineen helppokäyttöisyys ja varma saatavuus, on myös monen kaakkoissuomalaisen kaukolämpöverkon pääpolttoaine (Nuutila 2009).



Kuva 1. Kaakkois-Suomen energiatase vuodelta 2007 (Karhunen ym. 2008).

Kaakkois-Suomen maaseudun asukkaiden ja elinkeinonharjoittajien kannalta viimeaikaiset energiapoliittiset linjaukset ovat olleet lupaavia. On odotettavissa, että varsinkin fossiilisilla raaka-aineilla tuotetun energian hinta tulee pitkällä aikavälillä tasaisesti nousemaan, mikä avaa uusia mahdollisuuksia tuottaa, välittää ja myydä energiantuotantoon soveltuvia

paikallisia polttoaineita entistä korkeammalla tuottajahinnalla. Tuontipolttoaineiden korvaaminen kotimaisilla bioenergianlähteillä on perusteltua paitsi ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi, myös energiaomavaraisuuden lisäämiseksi.

Suomessa tuotetusta energiasta turpeella tehdään noin 6 %. Kaakkois-Suomessa vastaava osuus on vajaa 3 %. Kansainvälisesti turve luokitellaan fossiiliseksi polttoaineeksi, ja kuuluu näin myös EU:n päästökaupassa rajattujen päästöoikeuksien piiriin. Ilmastotavoitteista huolimatta turve on kuitenkin edelleen merkittävä seospolttoaine sekä suuremmissa että pienemmissä tuotantoyksiköissä, ja sen alueellista saatavuutta tarkasteltiin myös tässä hankkeessa.

1.2 Hankkeen tavoitteet

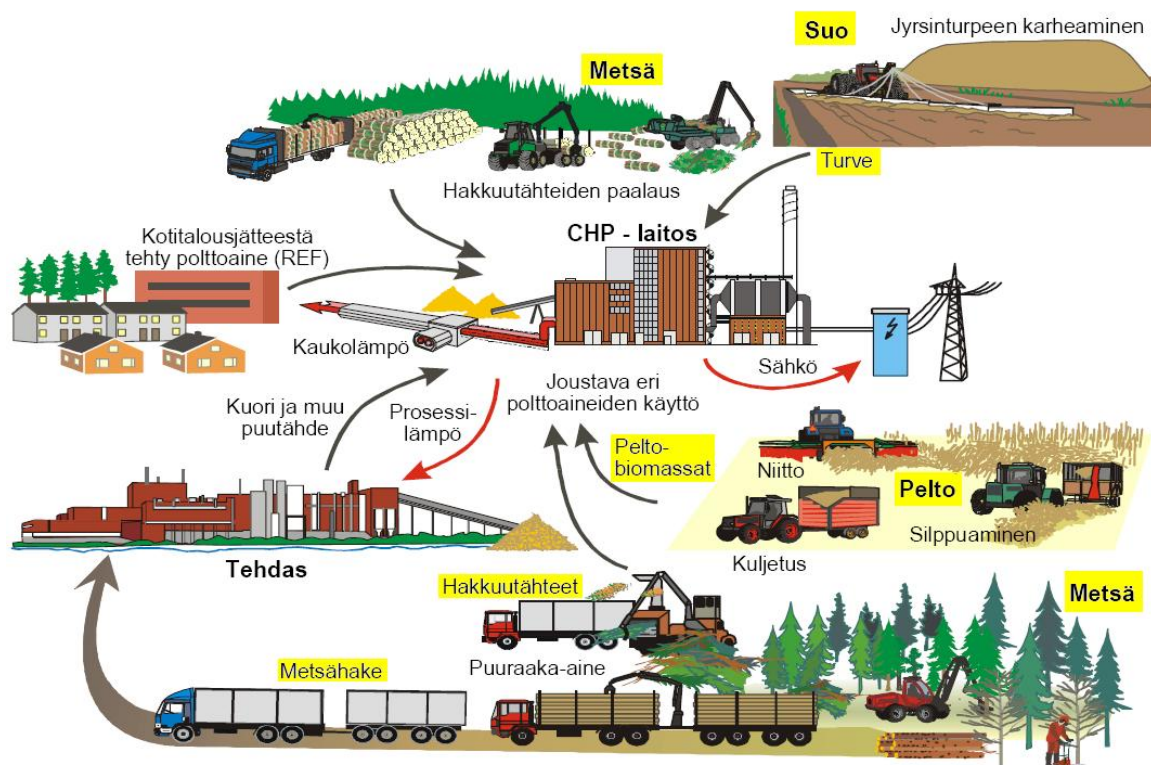
”Biopolttoaineiden saatavuus ja hankintalogistiikka Kaakkois-Suomessa” -hankkeessa tutkittiin pääasiassa taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta mahdollisuuksia lisätä bioenergian raaka-ainehankintaa maaseudulta kaakkoissuomalaisille käyttöpaikoille. Hankkeessa tutkittiin myös pitkän matkan kuljetusmuotojen (laiva ja juna) mahdollisuuksia täydentää ja korvata maantiekuljetuksia biopolttoaineiden hankinnassa. Taloudellisen kannattavuuden lisäksi vaihtoehtoisista kuljetusketjuista selvitettiin niiden kasvihuonekaasutaseet. Hankkeen tuloksina saatiin tietoa paikallisten polttoaineiden tarjolla olevasta kokonaispotentiaalista energiamääräksi muutettuna sekä biopolttoaineiden alkutuotantoon ja hankintaan liittyvistä kalustotarpeista ja työllisyysvaikutuksista.

Tavoitteena oli myös tuoda esille uusia logistiikkaratkaisuja alueellisen tapaustutkimuksen myötä. Kaakkois-Suomen mahdollisuuksia hankkia osa tarvitsemastaan metsäpolttoaineesta vesi- ja rautateitse tutkittiin kuljetussimulaatioiden avulla. Terminaalitoimintoihin perustuvan hankintalogistiikan lisääntymisen mahdollisuuksia selvitettiin myös paikkaan sidotuilla kannattavuuslaskelmilla.

2 PAIKALLISTEN BIOPOLTTOAINEIDEN RAAKA-AINEVARAT KAAKKOIS-SUOMESSA

2.1 Biopolttoaineet

Selvitys biopolttoaineiden saatavuudesta Kaakkois-Suomessa keskittyi paikallisiin polttoaineisiin, tarkemmin sanottuna metsäpolttoaineiden, turpeen ja ruokohelven saatavuuteen. Taustalla oli tarve tutkia logistiikkavaihtoehtoja, joilla energiantuotantoon soveltuvan biomassan lisääntyvä tarve saadaan tyydytettyä ensisijaisesti paikallisilla, ja toissijaisesti muilla kotimaisilla bioenergiälähteillä. Rajaus tarkasteltavista polttoaineista perustui osaltaan energiantuotannon rakenteisiin. Perusesimerkkejä polttoaineiden käyttäjistä ovat joko teollisuusintegraatteja tai kaupunkeja palvelevat energialaitokset, jotka tuottavat asiakkailleen energiaa sekä lämmön että sähkön muodossa (CHP-laitos, kuva 2). CHP-laitosten mahdollisuudet polttaa erilaisia kiinteitä polttoaineita vaihtelevat kattiloiden iän ja polttotekniikan mukaan. Edellä mainitut paikalliset polttoaineet soveltuvat kuitenkin usein CHP-laitosten polttoainejakeiksi. Toisen esimerkin muodostavat pienempien taajamien lämpölaitokset, jotka vaativat laadukkaampaa polttoainetta, kuten kuivaa ja hyvälaatuista puuhaketta. Muiden maaseudun energiaraaka-aineiden, kuten biokaasun tai eläinperäisten jätteiden jatkojalostuksessa prosessit ovat erilaiset, ja ne jätettiin tässä hankkeessa tehtyjen tarkastelujen ulkopuolelle.



Kuva 2. Kotimaisten polttoaineiden tuotanto paikallisista biomassavaroista. Hankkeessa käsitellyt polttoaineet on korostettu keltaisella. Kuva: VTT ja Suomen bioenergiayhdistys Finbio ry.

2.2 Alueen kuvaus

Kaakkois-Suomi* käsittää Etelä-Karjalan ja Kymenlaakson maakunnat, joilla molemmilla on maakunnallinen liitto. Etelä-Karjalan pinta-ala on 7 236 km² ja alueella on 11 kuntaa; Kymenlaakso on 5 588 km²:n laajuinen ja koostuu nykyään 7 kunnasta. Vuoden 2009 alussa kuntien määrä väheni, kun Kouvolan, Anjalankosken, Elimäen, Jaalan, Kuusankosken ja Valkealan kunnat yhdistyivät uudeksi Kouvolan kaupungiksi ja Joutsenon kaupunki liittyi osaksi Lappeenranta. Ylämaan kunta liitettiin Lappeenrantaan vuoden 2010 alussa. Etelä-Karjalan väkiluku oli 136 300 ja Kymenlaakson 183 521 vuonna 2007. Koko Kaakkois-Suomen asukastiheys oli 24 asukasta/km².

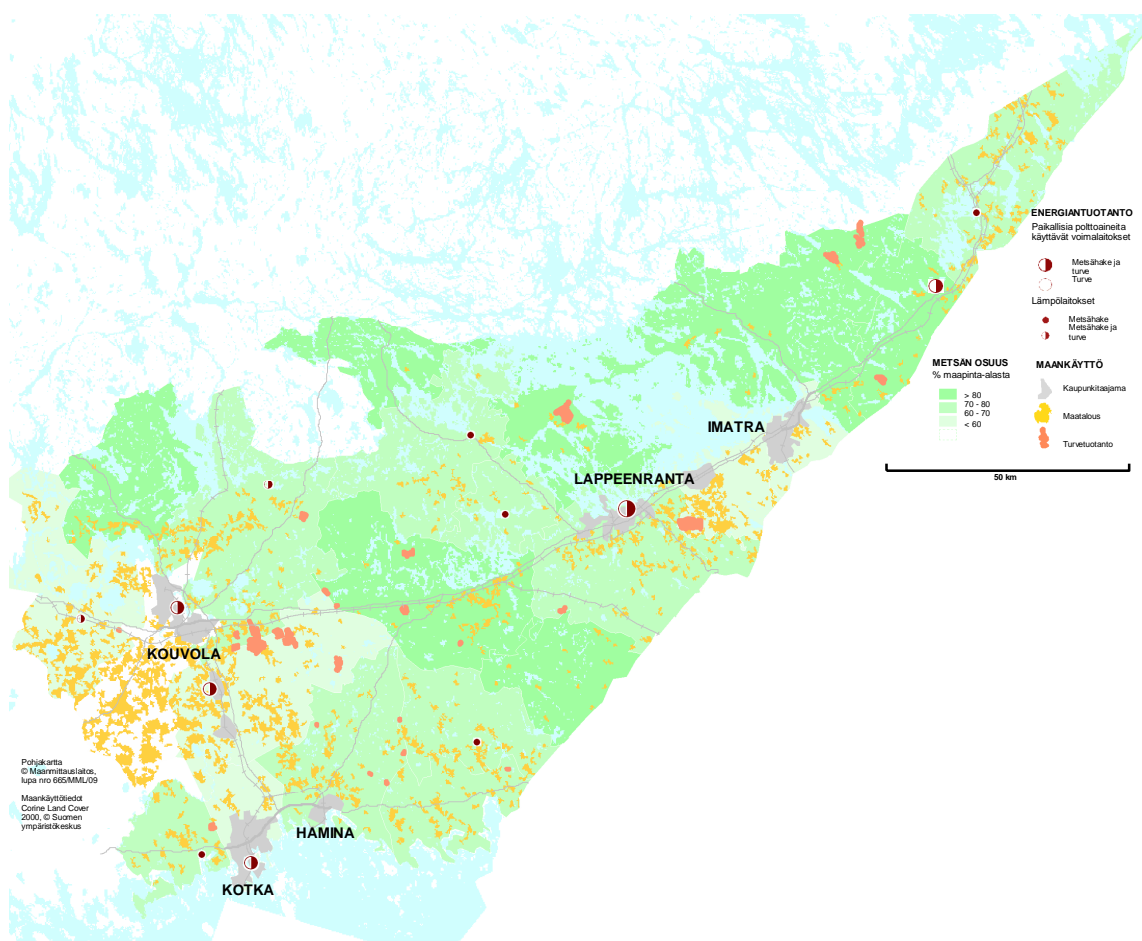
2.3 Metsäbiomassat

Vuosina 2004-2008 kerätyn inventointitiedon mukaan Kaakkois-Suomessa on metsätalousmaata 814 600 ha, josta metsämaan osuus on 74 prosenttia (Metla/Metinfo).

* Joissakin määrittelyissä myös Etelä-Savon maakunta luetaan osaksi Kaakkois-Suomea. Tässä yhteydessä Kaakkois-Suomeksi luetaan vain Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen toiminta-alue.

Kymmenennen valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) tuloksena kokonaistilavuus on 113 milj. m³, kun se edellisessä inventoinnissa oli 111 milj. m³. Yksityismetsien osuus on 84 prosenttia ja hakkuumahdollisuuksien mukaisena puuston tilavuutena mitattuna peräti 90 prosenttia.

Metsätalousmaan suhteellinen osuus vaihtelee kuntakohtaisesti (kuva 3). Vanhan kuntajaon mukaisesti Kouvolan kaupunki oli vuoden 2008 kunnista ainoa, jossa metsätalousmaan osuus maapinta-alasta oli alle 50 %. Metsäisin kunta on Suomenniemi, jossa 87 % maa-alasta on metsätalousmaata. Ensimmäinen Salpausselkä jakaa alueen niin, että sen eteläpuolella puusto on pääosin kuusivaltaista. Saimaan alueen kunnissa taas mänty on vallitseva puulaji.



Kuva 3. Kaakkois-Suomen paikallisia polttoaineita käyttävät lämpö- ja voimalaitokset sekä polttoaineen olemassa olevat (turvesuot) ja potentiaaliset (metsä ja pellot) tuotantoalueet. Turvetta käyttävistä lämpölaitoksista kartalla ovat vain ne, jotka käyttävät myös metsähaketta.

Muun maan tavoin Kaakkois-Suomen metsät ovat erittäin intensiivisessä käytössä. Puuston kokonaispoistuma vuonna 2007 oli 5,35 milj. m³, joka on 96 % metsien vuotuisesta kasvusta. Raakapuusta 50 % oli tukkipuuta. Raakapuun kysyntä alueella on korkea johtuen useista

tuotantolaitoksista etenkin paperi- ja selluteollisuudessa. Raakapuun merkittävimpiä käyttäjiä vuonna 2007 olivat paperi- ja sellutehtaat Anjalankoskella, Haminassa, Imatralla, Joutsenossa, Kotkassa, Kuusankoskella, Lappeenrannassa ja Simpeleellä. Kotimaista raakapuuta alueen metsäteollisuus käytti n. 12,7 milj. m³, ja ulkomailta tuodun puun määrä oli 7,7 milj. m³ (Metla/Metinfo). Lähes kaiken tuontipuun alkuperämaa oli Venäjä.

Raakapuun kysynnän oletetaan vähenevän metsäteollisuuden rakennemuutoksessa, mikä toisaalta avaa uusia mahdollisuuksia puun hyödyntämisessä muuhun käyttöön, kuten esimerkiksi energian tai energiajalosteiden tuotantoon. Haminassa sijaitseva Summan tehdas suljettiin vuonna 2008. Vuonna 2010 suljettiin Kaukaan vaneritehdas Lappeenrannassa sekä yksi Imatran Kaukopään paperikoneista. Lisäksi M-Real ilmoitti sulkevansa paperitehtaansa Simpeleellä.

Vuonna 2007 teollisuuden sivutuotteena syntynyttä puupolttoainetta paloi alueen laitoksissa 4,7 TWh edestä (Karhunen ym. 2009). Energiämäärä vastaa noin 10 miljoonaa kuutiometriä metsähaketta. Metsähake on suoraan metsästä tulevaa polttohaketta, jota ei ole tuotettu minkään teollisuusprosessin sivutuotteena. Metsähakkeen raaka-ainetta ovat päätehakkuualojen hakkuutähteet ja kannot sekä nuorten metsien harvennuksista saatava pienpuu. Vuonna 2008 metsähaketta käytettiin koko maassa n. 4,6 milj. m³ ja Kaakkois-Suomen lämpö- ja voimalaitoksissa n. 0,3 milj. m³. Valtaosan metsähakkeesta käyttivät Kymenlaaksossa sijaitsevat voimalaitokset. Lisäksi molempien maakuntien maaseututaajamissa on metsähaketta käyttäviä lämpökeskuksia, joiden osuus alueen kokonaiskäytöstä on alle viisi prosenttia.

2.4 Turve

Geologian tutkimuskeskuksen mukaan Kaakkois-Suomessa on 69 232 hehtaaria suota, josta noin 27 500 hehtaaria on määritelty teknisesti energiaturpeen tuotantoon soveltuvaksi alaksi. Tämä ala on n. 14,5 % alueen metsätieteellisesti luokitellusta suoalasta.

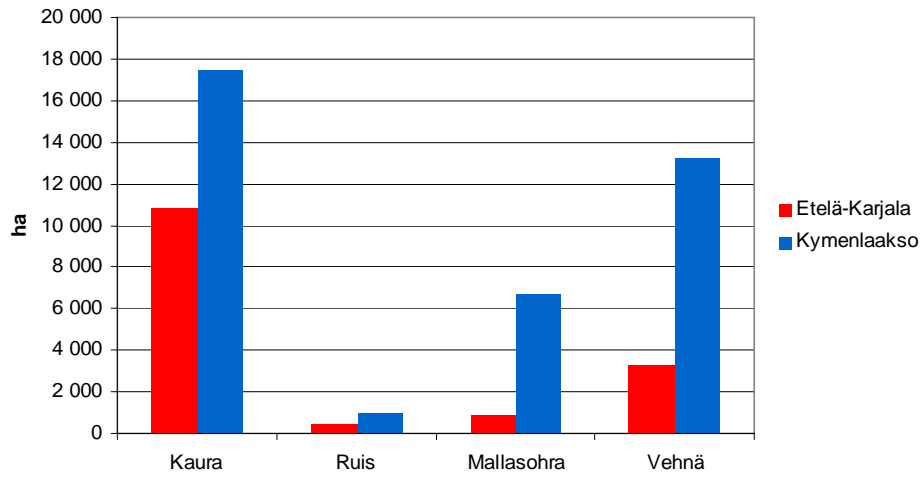
Kaakkois-Suomessa on myönnetty ympäristöluvut turvetuotannolle yhteensä noin 3800 hehtaarin suoalalle. Ala vastaa noin 4,5 prosenttia koko maan turvetuotantoalueista. Soiden hehtaarikohtaiset turvesisällöt vaihtelevat alueittain mm. turpeen kokonaispaksuuden ja turvekerrostumien suhteellisten osuuksien mukaan, jolloin myös niiden energiasisältö

vaihtelee. Flyktmanin (2005) mukaan Kaakkois-Suomen soiden pinta-alakohtainen keskimääräinen turpeen energiakertymä, 430 MWh/ha, on maan korkeimpia. Vuonna 2007 tuotantoalueiden määrällä pystyttiin tavallisissa olosuhteissa tyydyttämään maakunnan omien energiantuotantolaitosten turpeentarve sillä oletuksella, että luvitetusta kokonaisalasta on vuosittain käytettävissä n. 80 %, ja 10 % turpeesta nostetaan kasvu- ja ympäristöturpeeksi.

Energiaturvetta käytettiin Kaakkois-Suomessa vuonna 2007 kuudessa suuressa ja viidessä pienessä tai keskisuuressa laitoksessa (Karhunen ym. 2009). Jyrsinturpeella tuotetun energian määrä oli yhteensä 1 131 GWh ja palaturpeella tuotetun energian 46 GWh. Kuntia, joissa turvetta käytettiin energianlähteenä, oli vuoden 2008 kuntajaon mukaan 9. Palaturvetta käyttivät lähinnä pienet lämpölaitokset, joista suurimpana Karjalan Prikaatin varuskunnan lämpölaitos Valkealan Vekarajärvellä. Jyrsinturpeen käyttömääriin sisältyy lakkautetun Stora Enson Summan tehtaiden voimalaitoskäyttö.

2.5 Peltobiomassat

Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen vuonna 2009 keräämien viljelyalailmoitusten perusteella alueella on viljelyksessä yhteensä 134 200 hehtaaria viljelysmaata (sis. kesanto- ja luonnonhoitopellot). Alueen merkittävimmät maatalouden keskittymät sijaitsevat Kymijokilaaksossa sekä Lappeenrannassa Salpausselän eteläpuolisella alueella. Energiatuotannon kannalta lähes puolet viljelysalasta voidaan laskea potentiaaliseksi biomassalähteeksi. Tällä alalla viljellään öljykasveja, ruokohelpeä sekä ruokaviljoja, joiden oljet ovat tietyin rajoittein käytettävissä energiantuotantoon. Ruokohelppi tekee muista kasveista poikkeuksen siinä, että sitä viljellään peltojen lisäksi myös käytöstä poistuneilla turvetuotantoalueilla. Tämän tutkimuksen päähuomio peltokasvien osalta keskittyykin juuri ruokohelven tuotantoon, sillä se on hiljalleen vakiinnuttanut asemansa täydentävänä voimalaitospolttoaineena (Paappanen ym. 2008). Peltoenergian käyttömääristä ei ole ollut saatavilla kattavia tilastoja. Ruokohelven viljelyalaa on yhteensä 1 641 hehtaaria, josta Etelä-Karjalan osuus on 755 ja Kymenlaakson 886 hehtaaria (Lähde: Kaakkois-Suomen ELY-keskus). Olkikasvien viljelyalat on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Olkikasvien viljelyalat Kaakkois-Suomessa vuonna 2009. Lähde: Kaakkois-Suomen ELY-keskus.

3 BIOPOLTTOAINEVARAT KAAKKOIS-SUOMEN KUNNISSA JA NIIDEN SAATAVUUS KÄYTTÖKOHTEISIIN

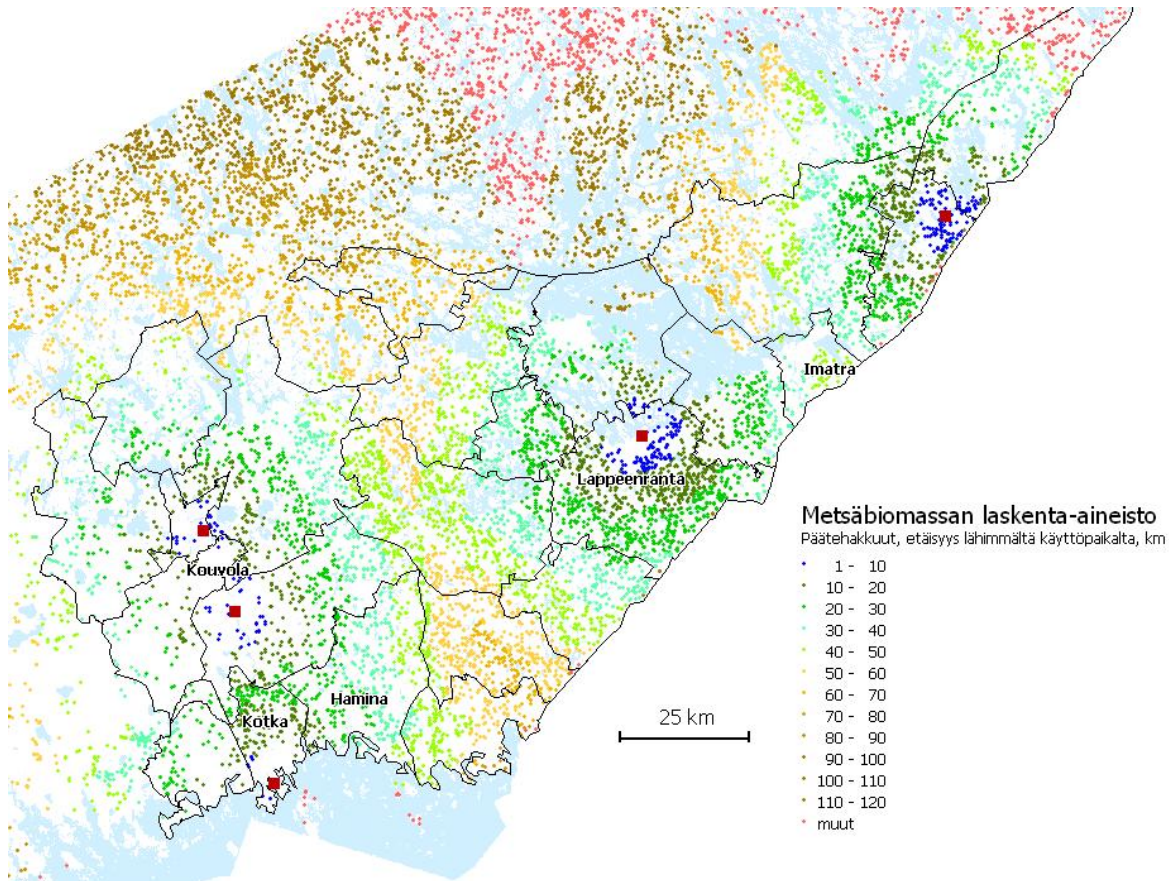
3.1 Metsähake

3.1.1 Laskentamenetelmät

Hakkuutähde ja kannot

Metsähakkeen (metsäpolttoaineiden) saatavuusarvioinnin lähtötiedot vaihtelivat energijakeittain (hakkuutähteet, kannot, pienpuu). Hakkuutähteiden ja kantojen saatavuus alueella perustui uudistushakkuiden pinta-alatietoihin sekä raakapuun korjuumääriin. Arviot hakkuualalle jätetystä energiakäyttöön soveltuvasta biomassasta muodostettiin muunnosfunktioilla (Ranta 2005, Ranta ym. 2007), joiden on suuren mittakaavan polttoainehankinnassa todettu ennustavan melko tarkkaan toteutunutta saantoa (Korpinen 2006).

Alueellisista ja kuntakohtaisista biomassavaratiedosta johdettiin edelleen maantieteellisesti tarkempaa tietoa kiinnittämällä ne tarkat koordinaatit ja metsikkötunnukset sisältäviin leimikkotietoihin (kuva 5). Leimikkotiedot oli koostettu suurimpien alueella toimivien puunhankintaorganisaatioiden uudistushakkuista vuosina 2002-2004. Tietoja hakkuumääristä korjattiin niin, että ne vastasivat kuntatasolla vuosien 2006 ja 2007 keskimääräistä tilannetta. Näin saatiin tarjontapisteet myöhemmin suoritettavaa metsäpolttoaineiden logistista kysyntä-tarjonta -mallinnusta varten. Kaakkois-Suomen alueella olleet tarjontapisteet käsittivät yhteensä noin 9 500 ha:n ja ja noin 2,2 milj. m³:n edestä uudistushakkuita (taulukko 2). Hakkuupinta-ala vastaa vuoden 2006 uudistushakkuiden yhteenlaskettua pinta-alaa Kaakkois-Suomen metsäkeskuksen alueella (Metla/Metinfo).



Kuva 5. Päätehakkuubiomassojen saatavuuslaskennassa mukana olleet tarjontapisteet ja kysyntäpisteet, jonne on arvioitu toimitettavan suuria määriä metsähaketta vuonna 2010. Kuntarajat ovat vuodelta 2008.

Kokonaispotentiaalista rajattiin teknis-taloudellinen[†] korjuupotentiaali, jossa mukaan valittiin vain sellaiset kohteet, joilta hakkuutähteiden tai kantojen korjuu on nyky menetelmillä mahdollista ja kannattavaa. Laskennassa käytetyt rajoitteet sisälsivät myös ekologisia kriteerejä, kuten korjuukauden. Esimerkiksi ainoastaan talvikorjuuseen kelpaavat päätehakkuuleimikot rajattiin potentiaalin ulkopuolelle sillä oletuksella, että niiden maaperä ei sovellu kantojen nostoon (taulukko 1).

Korjuukohdekohtaisena kantojen talteensaanto-osuutena käytettiin 70 prosenttia. Prosenttiosuus mukautuu nykyisiin energiapuun korjuusuosituksiin (Äijälä ym. 2010) paremmin kuin aiemmissa potentiaalilaskelmissa (mm. Ranta ym. 2007, Laitila ym. 2008) käytetty 95 prosentin talteensaantokerroin.

[†] Toisinaan teknis-taloudellisella potentiaalilla tarkoitetaan saatavilla olevaa raaka-ainemäärää, johon vaikuttaa myös kysyntäpisteiden vaihteleva maksukyky raaka-aineesta. Tässä yhteydessä teknis-taloudellisilla rajoitteilla tarkoitetaan vain tekijöitä, joiden avulla teoreettisesta potentiaalista karsitaan ne kohteet, joilla tienvarteen toimitetun raaka-aineen korjuukustannukset olisivat korjuuolosuhteista johtuen kohtuuttoman korkeat.

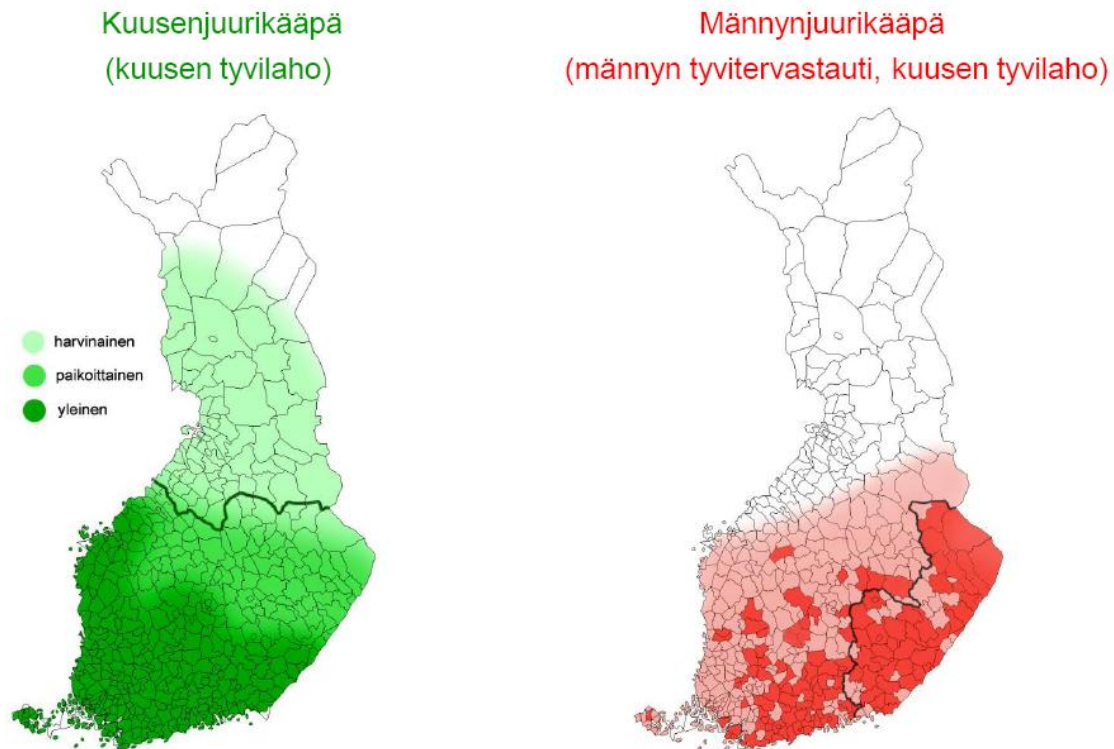
Taulukko 1. Hakkuutähteiden ja kantojen korjuun kannalta potentiaalisten kohteiden valintakriteerit sekä biomassan muuntokertoimet yleispiirteittäin.

Energiajaje	Hakkuutähteet	Kannot
Ainespuukertymä hakkuussa, m ³	≥ 200	≥ 200
Pinta-alakohtainen ainespuukertymä, m ³ /ha	≥ 150	≥ 150
Energiakertymä, m ³	≥ 40	≥ 45
Keskimääräinen metsäkuljetusmatka, m	≤ 400	≤ 400
Kuusen osuus ainespuuhakkuukertymän kokonaistilavuudesta	> 45 % kun hakkuukertymässä puulajeja kolme tai useampi; > 50 %, kun kaksi puulajia	
Korjuukausi	Kaikki	Vain kesäkorjuukelpoiset ja kelirikkoleimikot
Energiasaanto suhteessa korjattuun ainespuuhun, MWh/m ³ *		
- kuusi	0,647	0,432
- mänty	0,298	0,479
- koivu	0,361	-

*) sisältää hakkuualueen talteensaantokertoimen 0,70

Metsäntutkimuslaitos on tehnyt maanlaajuista tutkimusta kannonnoston ympäristövaikutuksista. Kantojen nostaminen aiheuttaa toisaalta maaperän ravinnetappioita ja lahottajaeliöstön vähentymistä hakkuualoilla, mutta toisaalta sillä voidaan torjua elävää puustoa lahottavan juurikäävän aiheuttamia tuhoja (Viiri & Piri 2008). Kuusen tyvilahoa (*Heterobasidion parviporum*) aiheuttava juurikääpä on yleinen koko maassa Lappia lukuun ottamatta (kuva 6). Kuusenjuurikäävän lisäksi kaakkoista Suomea vaivaa männynjuurikäävän levittämä männnytyvitervastauti (*Heterobasidion annosum*), jonka torjunta kannot nostamalla saattaa kantojen rakenteellisista eroista johtuen olla jopa tehokkaampaa kuin kuusenjuurikäävällä (Piri 2009). Koska sienen kasvullinen rihmastoleviäminen juuriyhteyksiä pitkin tapahtuu helpoimmin samaa puulajia olevien juurten välillä, ovat todennäköisimmin alttiimpia tartunnalle ne männiköt, joissa on vain vähän muita puulajeja. Männynkantojen nosto ei ole vielä yleistynyt, mutta tyvitervastaudin torjuntaa ajatellen sen voidaan olettaa yleistyvän varsinkin Kaakkois-Suomessa, mikäli nostomenetelmä osoittautuu myös taloudellisesti kannattavaksi. Toistaiseksi männynkantojen noston tuottavuuden on todettu olevan 25-30 prosenttia heikompi kuin kuusen kantojen noston (Jouhioho & Mutikainen 2010).

Männynkannoille laskettiin erillinen saatavuuspotentiaali, jossa valittavien kohteiden tuli kuitenkin olla selvästi mäntyvaltaisia. Mäntyä tuli olla vähintään 85 % osuus hakkuupoistuman kokonaistilavuudesta. Muilta osin laskentamenetelmä ja valintakriteerit olivat samat kuin taulukossa 1.



Kuva 6. Kuusen- ja männynjuurikäävän levinneisyysalueet vuonna 2008. Kuva: Metsäntutkimuslaitos.

Pitkän aikavälin ennusteiden tekeminen hakkuutähteiden ja kantojen saatavuudesta on ajoittain epävarmaa, sillä näiden energiajakeiden tuotantomahdollisuudet riippuvat täysin raakapuumarkkinoista ja puunhankinnan aktiivisuudesta. Nuorten metsien pienpuun hankinta on kytköksissä metsiköiden hoitotoimenpiteisiin, eikä raaka-aineen saatavuus ole suoranaisesti yhtä riippuvainen raakapuun hankinnasta. Markkinaheilahtelut kuitenkin vaikuttavat siihen, mikä määrittellään energiapuuksi ja mikä kuitupuuksi. Esimerkiksi leimikoilla, joille on suunniteltu yhdistetty aines- ja energiapuuharvennus, saattaa kaikki puu ajautua energialaitosten käyttöön, mikäli kuitupuun hinta kyseisellä hetkellä on alhainen. Toisaalta myös EU:n päästökaupan osittain ohjaaman energian hinnan ollessa korkea on todennäköistä, että kuitupuumittaista puuta myydään energialaitoksille.

Energiapienpuu

Pienpuun saatavuuslaskennan lähtötietoina käytettiin pitkän ajan uudistushakkuualatietoja vuosilta 1996-2008. Oletuksena oli, että kyseiset alat ovat potentiaalisia nuoren metsän hoitokohteita tai ensiharvennuskohdeita 25-30 vuoden kuluttua. Toisena oletuksena oli, että yksittäisten metsiköiden luonnolliset erot lähinnä kasvun ja järeytymisen osalta tasoittavat saatavuutta niin, että pitkän ajan ennusteissa voidaan käyttää uudistushakkuualoista kerättyjen tietojen keskimääräisiä pinta-aloja. Kaakkois-Suomen uudistushakkuualatiedoista saatu koko jaksoa vastaava keskiarvo oli 9 103 ha/vuosi. Tämä ala jyvitetiin koordinaattipisteille samalla periaatteella kuin hakkuutähteiden ja kantojen saatavuuden arvioinnissa. Koordinaattipisteet olivat tässä tapauksessa kuitenkin jo vuodelta 2000. Pienpuun kiintokuutiometrin energiasisällön oletettiin olevan keskimäärin 2,1 MWh, joka saadaan puun kosteuden ollessa n. 45 %.

Laskentamenetelmä tuotti kuntakohtaisten arvioiden lisäksi käyttöpaikkakohtaista tietoa metsäpolttoaineiden saatavuudesta suhteessa polttoaineen autokuljetusmatkaan. Tässä tarkastelussa huomioitiin myös ne naapurimaakuntien tarjontapisteet, jotka sijaitsivat korkeintaan 120 kilometrin etäisyydelle mistä tahansa kysyntäpisteestä. Kysyntäpisteitä olivat suurimmat metsähakkeen käyttöpaikat: Anjalankoski, Kuusankoski, Kotka, Lappeenranta ja Simpele.

3.1.2 Hakkuutähteet

Uudistushakkuualojen hakkuutähteiden vuotuinen saatavuus Kaakkois-Suomessa oli noin 500 GWh, joka vastaa n. 240 000 m³ oksia ja latvusmassaa. Hankintapotentiaali jakautui melko tarkkaan puoliksi molempien maakuntien kesken. Kunnista eniten hakkuutähdettä tuotti Kouvola vastaten jopa puolta Kymenlaakson raaka-ainetarjonnasta (taulukko 2). Kouvolaan kuuluvalla Anjalankoskella hakkuutähteen korjaaminen oli mahdollista joka toiselta uudistushakkuualalta. Heikoin saatavuus oli Etelä-Karjalan mäntyvaltaisten metsien kunnissa, kuten Lemillä ja Parikkalassa, joissa alle 10 prosenttia uudistushakkuista on paljon latvusmassaa tuottavia kuusivaltaisia kohteita.

Taulukko 2. Hakkuutähteiden saatavuuslaskennassa käytetyt teknis-taloudellinen korjuupotentiaali kunnittain. Kuntajako on vuodelta 2009. Vuonna 2008 lakkautetut kunnat on esitetty harmaalla värillä.

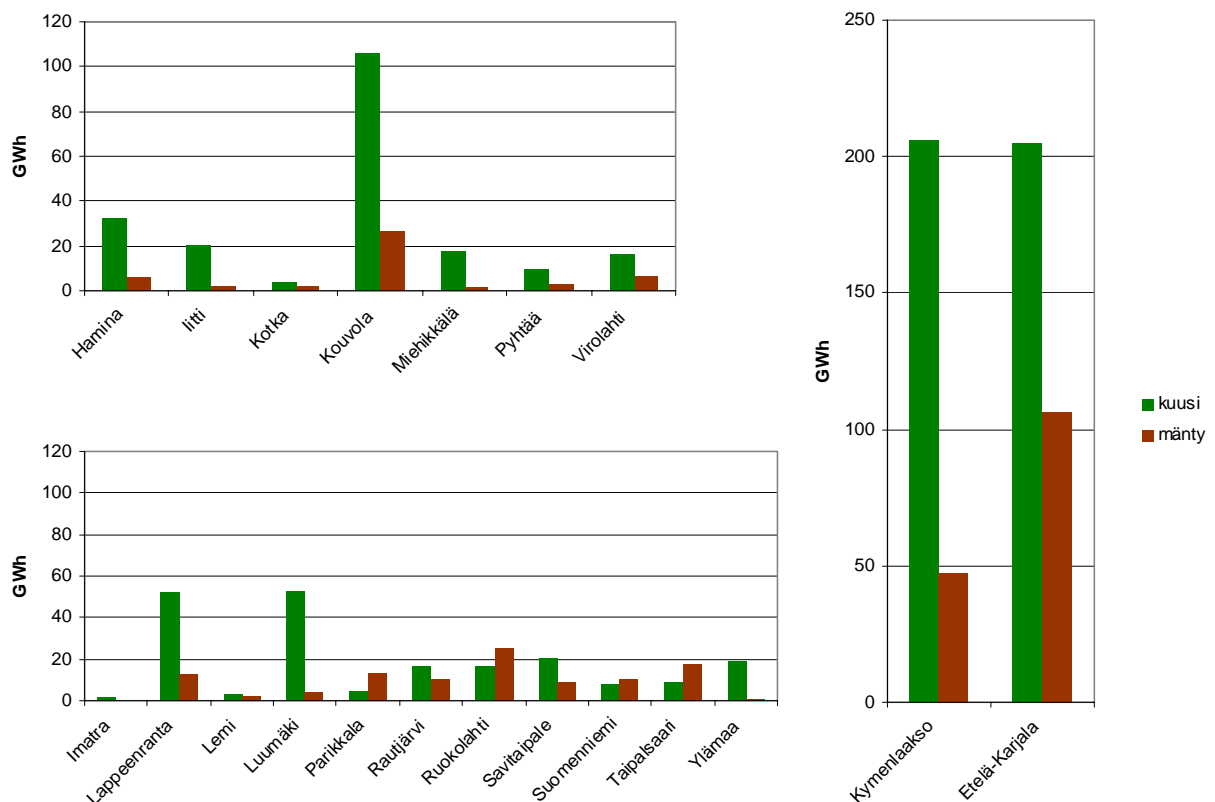
Kunta	Leimikoita			Hakkuutähde			
	lkm	ha	m ³	lkm	%	ha	MWh
Kymenlaakso	3140	3716	873 688	1062	34 %	1663	230 822
Hamina	504	571	136 484	196	39 %	294	40 945
Iitti	200	254	59 404	96	48 %	156	22 843
Kotka	198	204	44 732	28	14 %	44	5 467
Kouvola	1406	1771	418 364	549	39 %	850	115 939
<i>Anjalankoski</i>	<i>552</i>	<i>760</i>	<i>161 712</i>	<i>278</i>	<i>50 %</i>	<i>458</i>	<i>56 259</i>
<i>Elimäki</i>	<i>86</i>	<i>93</i>	<i>20 328</i>	<i>26</i>	<i>31 %</i>	<i>33</i>	<i>4 470</i>
<i>Jaala</i>	<i>199</i>	<i>248</i>	<i>64 274</i>	<i>59</i>	<i>29 %</i>	<i>81</i>	<i>11 162</i>
<i>Kouvola (2008)</i>	<i>11</i>	<i>11</i>	<i>2 967</i>	<i>3</i>	<i>31 %</i>	<i>4</i>	<i>449</i>
<i>Kuusankoski</i>	<i>28</i>	<i>28</i>	<i>7 210</i>	<i>8</i>	<i>28 %</i>	<i>11</i>	<i>1 747</i>
<i>Valkeala</i>	<i>531</i>	<i>631</i>	<i>161 872</i>	<i>175</i>	<i>33 %</i>	<i>264</i>	<i>41 852</i>
Miehikkälä	438	418	93 877	72	17 %	123	18 109
Pyhtää	93	125	37 910	42	45 %	65	10 887
Virolahti	301	373	82 917	80	26 %	130	16 631
Etelä-Karjala	5280	5767	1 367 587	925	18 %	1621	239 574
Imatra	62	82	17 712	7	12 %	18	2 864
Lappeenranta	1191	1314	321 218	229	19 %	446	65 217
<i>Joutseno</i>	<i>289</i>	<i>344</i>	<i>84 128</i>	<i>60</i>	<i>21 %</i>	<i>108</i>	<i>14 920</i>
<i>Lappeenranta (2008)</i>	<i>902</i>	<i>970</i>	<i>237 091</i>	<i>169</i>	<i>19 %</i>	<i>337</i>	<i>50 297</i>
Lemi	219	180	45 292	12	5 %	27	4 272
Luumäki	767	892	236 139	185	24 %	344	58 977
Parikkala	431	416	93 170	38	9 %	51	7 110
Rautjärvi	488	531	115 030	94	19 %	149	18 428
Ruokolahti	749	812	194 131	72	10 %	136	21 350
Savitaipale	413	502	112 510	99	24 %	173	22 896
Suomenniemi	277	302	61 720	47	17 %	64	7 839
Taipalsaari	346	375	84 625	46	13 %	72	9 235
Ylämaa	337	360	86 039	94	28 %	141	21 386
Yhteensä	8420	9483	2 241 275	1987	24 %	3284	470 396

3.1.3 Kannot

Kantojen saatavuus koko alueella oli noin 13 % heikompi kuin hakkuutähteen saatavuus. Kuntien välinen vaihtelu kantojen saatavuudessa oli samankaltaista kuin vaihtelu hakkuutähteen saatavuudessa. Kantojen saatavuus poikkesi keskiarvosta eniten pienissä kunnissa, kuten Miehkälässä, Suomenniemellä ja Taipalsaarella, joissa kantoja saadaan lähes yhtä paljon kuin hakkuutähdettä. Suurista kaupungeista Kotkassa kantojen energiasaanto oli verraten vähäinen (66 %) ja Kouvolaassa taas poikkeuksellisen suuri (92 %) hakkuutähteen saatavuuteen nähden.

Mäntyvaltaisille päätehakkuille suoritettussa laskennassa Etelä-Karjala osoittautui selvästi Kymenlaaksoa tärkeämmäksi alueeksi. Etelä-Karjalan mäntyvaltaisilta kohteilta voitaisiin nostaa kantoja jopa 100 GWh vuodessa, kun Kymenlaaksossa kantoja saataisiin 50 GWh edestä (kuva 7). Monessa Etelä-Karjalan kunnassa mäntyvaltaisia kohteita oli selvästi enemmän kuin kuusivaltaisia. Suurimmat potentiaalit olivat Kouvolassa ja Ruokolahdella. Kouvolassa energiasaanto (n. 25 GWh) oli kuitenkin huomattavasti pienempi kuusivaltaisilta kohteilta saatavaan määrään (n. 105 GWh) nähden.

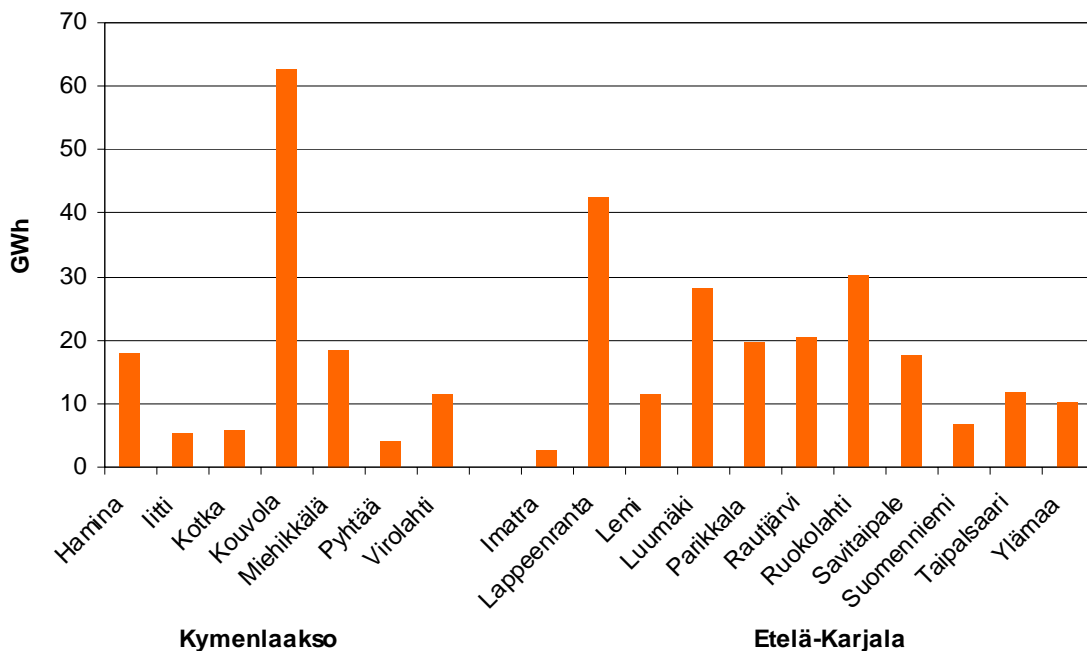
Laskennassa ei erikseen huomioitu mäntyvaltaisten kohteiden hakkuutähteiden keruusta saatavaa energiamäärää. Kerättävissä olevan hakkuutähtebiomassan osuus koko puun biomassasta on mäntyvaltaisilla kohteilla verraten pieni johtuen puun erilaisesta rakenteesta. Hakkuutähteitä voidaan likimääräisesti arvioida saatavan eteläkarjalaisilta männikkökohteilta noin 70 GWh ja Kymenlaaksosta 35 GWh.



Kuva 7. Kantojen saatavuus kuusivaltaisilta (kuusta yli 50 %) ja mäntyvaltaisilta (mäntyä yli 85 %) uudistushakkuualoilta kunnittain ja maakunnittain.

3.1.4 Pienpuu

Energiakäyttöön soveltuvan nuorten metsien pienpuun vuosittainen potentiaali oli keskimäärin 325 GWh. Kymenlaakson osuus tästä oli 38 ja Etelä-Karjalan 62 prosenttia (kuva 8). Sekä väkiluvultaan että pinta-alaltaan suuret kaupungit Kouvola ja Lappeenranta olivat myös suurimpia pienpuun tarjoajia. Kymenlaakson läntinen osa on aluetta, jolta puuta on saatavissa suhteellisen pieniä määriä. Esimerkiksi Elimäen, Iitin, Kotkan ja Pyhtään alueelta oli saatavissa pienpuuenergiaa vain noin 20 GWh. Sama määrä raaka-ainetta saataisiin pelkästään Rautjärven kunnan alueelta, jonka maapinta-ala on noin neljännes edellä mainitun alueen yhteenlasketusta alasta.

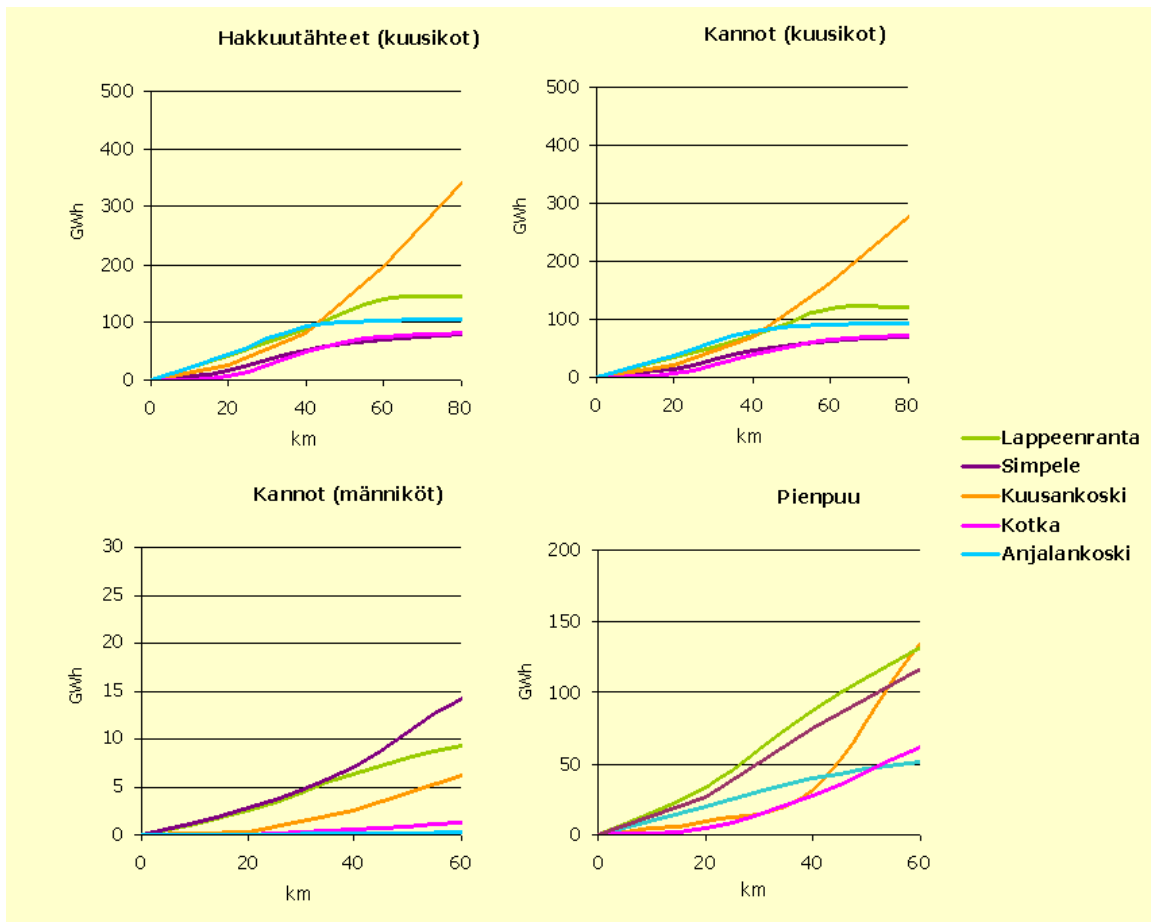


Kuva 8. Energiapienpuun saatavuus Kaakkois-Suomessa. Kymenlaakson yhteenlaskettu potentiaali oli 125 GWh ja Etelä-Karjalan 200 GWh.

3.1.5 Käyttöpaikkakohtainen laskenta

Käyttöpaikkakohtaisessa saatavuuslaskennassa tarkasteltiin raaka-ainejakeiden saatavuutta suhteessa kuljetusmatkaan. Hakkuutähteiden ja kantojen saatavuudet suurimmille metsähaketta käyttäville laitospaikkakunnille vaihtelivat 40 ja 90 GWh:n välillä, kun hankinta-alueet rajoittuivat enintään 40 km:n kuljetusetäisyyksille (kuva 9). Pidemmillä kuljetusmatkoilla kilpailu muiden haketta hankkivien laitosten kanssa rajasi hankinta-alueita varsinkin Anjalankoskella ja Kotkassa, jonka sijainti rannikolla rajoittaa jo entisestään

hankinta-alueen kokoa. Lappeenrannassa rajoittavia tekijöitä ovat mm. Venäjän rajan läheisyys ja Saimaan vesistöalue, joka osaltaan aiheuttaa pitkiä ajomatkoja joillekin lähellä sijaitseville leimikoille.



Kuva 9. Metsäpolttoaineiden saatavuus Kaakkois-Suomen merkittävimmille metsäpolttoaineen käyttöpaikoille.

Pienpuun parempi saatavuus Etelä-Karjalassa näkyy myös käyttöpaikkakohtaisissa tuloksissa. Lappeenrantaan ja Simpeleelle voidaan hankkia 50 GWh pienpuuta alle 25 kilometrin hankintasäteellä, kun muiden suurten laitosten hankinta-alueen säde on kasvatettava yli 40 kilometriin.

Mäntyvaltaisten päätehakkuuleimikoiden kantojen tarjonta on selvästi paras Lappeenrannan ympäristössä. Esimerkiksi 60 km hankintasäteellä on mahdollista hankkia kantoja yli 10 GWh vuodessa. Kuusankoskella vastaava määrä on noin 6 GWh, Kotkassa noin 1 GWh ja Anjalankoskella alle 0,5 GWh.

3.2 Turve

3.2.1 Laskentamenetelmät

Turvetuotannon teoreettinen maksimikapasiteetti saavutetaan harvoin, sillä tuotanto on hyvin altis säävaihteluille. Esimerkkeinä tästä ovat kaksi peräkkäistä sateista kesää vuosina 2007 ja 2008, joiden seurauksena turvevarastot tyhjenivät talvikauden 2008-2009 aikana kokonaan. Turvetta käyttävät voimalaitokset joutuivat korvaamaan turvetta lähinnä tuontipolttoaineilla, kuten kivihiilellä. Energiämäärässä mitattuna energiaturpeen tuotantomäärä oli vuonna 2008 vain 13,5 TWh, kun se ennätysvuonna 2006 oli 34 TWh eli 2,5-kertainen (Turveteollisuusliitto).

Turpeen saatavuuden arvioinnissa käytettiin tavanomaisia tuotanto-olosuhteita jäljittelevien perusskenaarion lisäksi kahta rinnakkaisskenaariota, joissa tarkasteltiin poikkeuksellisten sääolosuhteiden vaikutusta sekä turpeen yleiseen saatavuuteen että myös keskimääräisiin kuljetusmatkoihin käyttöpaikoille. Skenaarioissa sateinen kesä merkitsi 50 % vähennystä sadosta, kun poikkeuksellisen kuivat turpeennostokelit tekivät mahdolliseksi puolitoistakertaisen sadon.

Turpeen myynnistä ja toimituksesta käyttöpaikoille Kaakkois-Suomen alueella vastaa pääasiallisesti Vapo Oy, joka ostaa turpeennostopalveluita yksityisiltä urakoitsijoilta. Alueella on myös muita turpeen tuottajia, ja lisäksi osa turpeen käyttäjistä hankkii polttoaineensa suoraan omalla kalustollaan. Kuljetuslogistiikka on kuitenkin melko yksinkertaista verrattuna esimerkiksi raakapuun ja metsäpolttoaineiden kuljetuksiin, joissa kilpailua kysyntä- ja tarjontapisteineen on enemmän. Kuljetusmatkojen laskentaa yksinkertaistettiin ns. yhden toimittajan malliksi. Oletuksena oli, että turvetuotantoalueelta nostettu polttoaine toimitetaan aina lähimmälle käyttöpaikalle, joka polttoainetta tilaa.

Tarkastelussa oli myös logistiikkamalli, jossa ennalta valitun kysyntäpisteen turpeentarve huomioidaan vasta muiden käyttöpaikkojen jälkeen. Kyseiseen pisteeseen on siis hankittava turvetta alueen ulkopuolelta, mikäli turvetta ei pystytä tarpeeksi alueen sisällä tuottamaan. Kysyntäpisteeksi valittiin Lappeenranta, jonne turvetta voidaan toimittaa mm. rautateitse tarvittaessa suuriakin määriä.

3.2.2 Tulokset

Energiaturpeen tuotantopinta-alan Kaakkois-Suomen alueelta arvioitiin olevan 2765 ha. Perusskenaarion mukainen turvekertymä oli 430 MWh/ha ja tästä johdettu yhteenlaskettu tuotantokapasiteetti 1 188 950 MWh.

Taulukossa 3 on esitetty logistiikkatarkastelussa mukana olleet suuret laitospaikkakunnat arvioituine turpeenkäyttömäärineen sekä turpeen toimitusmäärät paikallisilta turvetuotantoalueilta eri olosuhdeskenaarioissa. Kaakkois-Suomi oli turveomavarainen vain poikkeuksellisen hyvien turvetuotantojaksojen aikana. Tällöin noin 15 000 rekkakuormallista tarvittiin kuljettamaan turve tuotantoalueilta laitoksille. Keskimääräinen edestakainen kuljetusmatka oli hieman alle 60 kilometriä. Matka vaihteli kuitenkin laitospaikoittain. Esimerkiksi Anjalankosken laitokselle tarvitsiturvetta kuljettaa keskimäärin vain 35 kilometriä.

Keskimääräiset kuljetusmatkat muuttuivat hyvin vähän, kun hyvän ja kuivan tuotantokauden vaihtoehtoa verrattiin muihin skenaarioihin. Sateisen ja normaalin tuotantokauden skenaarioissa keskimääräiset kuljetusmatkat olivat hieman lyhyemmät, mutta toisaalta myös kokonaiskuljetusmäärät jäivät kysyntämäärien alle.

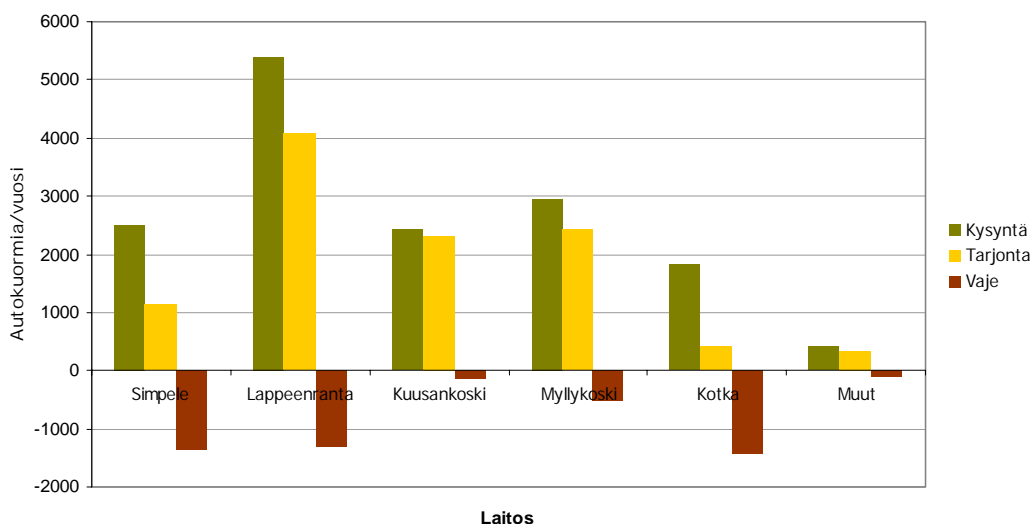
Taulukko 3. Kaakkois-Suomen energiaturvetta käyttävät suuret laitokset ja turpeen paikallinen saatavuus laitospaikkakunnille eri olosuhteissa.

Skenaario		Sateinen kausi (-50%)		Normaali kapasiteetti		Kuiva kausi (+50%)	
Kysyntäpiste	Kysyntä GWh	Tarjonta GWh (kuormaa) km		Tarjonta GWh (kuormaa) km		Tarjonta GWh (kuormaa) km	
Anjalankoski	327	135 (1211)	42	269 (2422)	42	327 (2944)	35
Kotka	204	24 (212)	40	47 (423)	40	204 (1833)	78
Kuusankoski	271	114 (1021)	64	256 (2306)	67	271 (2437)	48
Lappeenranta	600	224 (2016)	60	453 (4076)	60	600 (5396)	71
Rautjärvi	280	63 (563)	60	127 (1143)	60	280 (2513)	60
Muut	46	36 (325)	54	36 (325)	43	46 (416)	81
Yhteensä	1 728	595 (5348)	54	1189 (10695)	56	1728 (15539)	59

Skenaario		Täydentävä hankinta	
Kysyntäpiste	Kysyntä GWh	Tarjonta GWh (kuormaa) km	
Anjalankoski	327	327 (2944)	65
Kotka	204	204 (1833)	192
Kuusankoski	271	271 (2437)	69
Lappeenranta	600	61 (552) + 539*	26
Rautjärvi	280	280 (2513)	119
Muut	46	46 (416)	107
Yhteensä	1 728	1189 (10695) + 539* = 1728	98

*alueen ulkopuolinen hankinta

Logistiikkavaihtoehdossa, jossa Lappeenranta jätettiin ulkopuolisten turvetoimitusten varaan, pystyttiin muiden laitosten turpeen kysyntään vastaamaan tavanomaisissa tuotantolosuhteissa. Tällöin turvekuormia kulki Kaakkois-Suomen teillä noin 10 000 vuodessa, ja alueen ulkopuolella tuotetun turpeen tarve oli hieman yli 500 GWh. Tämä merkitsi kuitenkin keskimääräisiin autokuljetusmatkoihin selkeää lisäystä, sillä Lappeenrannan ympäristössä tuotettua turvetta ohjautui kauempana sijaitseville laitoksille huomattava määrä. Keskimääräinen kuljetusmatka oli lähes 100 kilometriä. Varsinkin Kotka ja Rautjärvi (Simpele) olivat paikkakuntia, joiden ympäristössä ei ollut riittävästi turvetta tarjolla normaalilla tuotantokapasiteetilla (kuva 10).



Kuva 10. Energiaturpeen saatavuus Kaakkois-Suomen turvetuotantoalueilta alueen turvetta käyttäville lämpö- ja voimalaitospaikkakunnille normaalilla tuotantokapasiteetilla.

3.3 Ruokohelppi

3.3.1 Laskentamenetelmät

Arvio ruokohelven saatavuudesta perustui Kaakkois-Suomen ELY-keskukselle toimitettuihin energiakasvituki-ilmoituksiin. Tilakohtaisten, tarkat koordinaatit sisältävien tietojen puuttuessa ruokohelven tuotantopotentiaali kartoitettiin käyttäen kunnittaisia viljelyalatietoja vuodelta 2008.

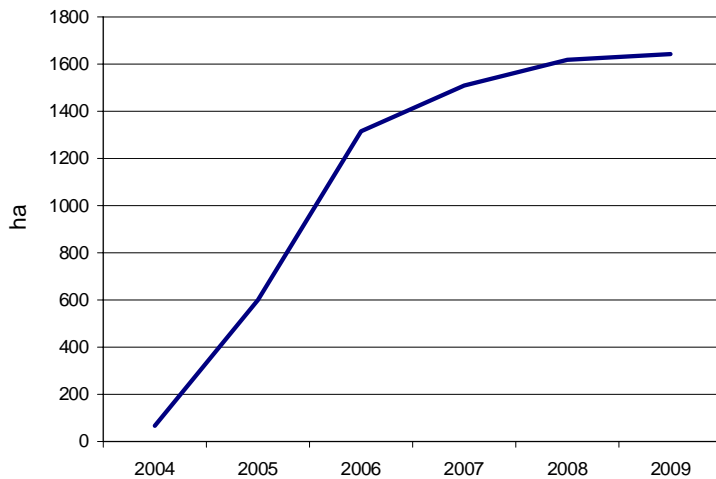
Kuten muille polttoainelajeille, myös ruokohelvelle toteutettiin paikkatietoihin perustuva analyysi havainnollistamaan ruokohelven saatavuutta sitä käyttäville voimalaitoksille. Todellisten tarjontapisteiden sijaan laskennassa luotiin kunkin kunnan alueelle tiloja vastaava määrä virtuaalisia tarjontapisteitä. Pisteiden koordinaatit arpoi satunnaislukugeneraattori. Arvonnassa ehtona oli, että pisteen oli sijaittava joko viljelysmaalla tai turvetuotantoalueella. Soveltuvan maan osuus koko Kaakkois-Suomen maapinta-alasta oli noin 8 %. Kullekin muodostetuista tarjontapisteistä laskettiin ajoetäisyydet lähimmälle voimalaitokselle. Voimalaitosten hankinta-alueet muodostettiin puolestaan laskettujen ajoetäisyyksien perusteella.

Kokonaistuotantokapasiteetti laskettiin käyttämällä kolmea eri pinta-alakohtaista satoennustetta, jotka olivat 4, 5 ja 6 kuiva-ainetonna hehtaarilla. Pahkalan ym. (2002) mukaan ruokohelpeä saadaan kevätkorjuuna savimailta 6-8 t/ha, mutta on myös huomioitava,

että sadot ovat pienempiä viljelykierron alussa olevilla mailla sekä ravinnetasoltaan heikommilla aloilla. Ruokohelven keskimääräiseksi energiasisällöksi oletettiin 4,5 MWh/t.

3.3.2 Tulokset

Ruokohelven viljely energiakasviksi on varsin uutta toimintaa. Vuonna 2004 kasvia viljeltiin Kaakkois-Suomessa 7 tilalla, mutta tilojen ja viljelyalan määrä lähes kymmenkertaistui seuraavana vuonna. Nopea kasvu jatkui vuodelle 2006, jolloin viljelyalat vielä kaksinkertaistuivat edellisestä vuodesta. Sen jälkeen tilanne on vakiintunut noin 120 tilan ja 1 500 hehtaarin tasolle. (kuva 11)



Kuva 11. Ruokohelven viljelyalat Kaakkois-Suomessa 2004-2009. Lähde: Kaakkois-Suomen ELY-keskus.

Helven viljely on voimakkaasti keskittynyt Kymenlaaksossa Kouvolan alueelle ja Etelä-Karjalassa Lappeenrannan seudulle. Kaupunkien yhteenlaskettu viljelyala on noin 800 hehtaaria. Maaseudun kunnista Pyhtäällä, Luumäellä ja Parikkalassa helpeä viljellään yli 100 hehtaarin alalla (taulukko 4). Suurin keskimääräinen tilakoko, 21 hehtaaria, on Ruokolahdella. Pienin puolestaan Ylämaalla, jossa viljelypinta-alaa on tilaa kohti noin 3,3. Iitti ja Suomenniemi olivat vuonna 2008 kuntia, joiden alueella ei ruokohelpeä viljelty.

Taulukko 4. Ruokohelven kuntakohtaiset viljelyalat Kaakkois-Suomessa vuonna 2008. Lähde: Kaakkois-Suomen ELY-keskus.

Kunta	Tiloja kpl	Viljelypinta-ala ha	Kunta	Tiloja kpl	Viljelypinta-ala ha
Kymenlaakso	56	828	Etelä-Karjala	60	789
Hamina	6	80	Imatra	3	21
Iitti	0	0	Lappeenranta	23	334
Kotka	6	39	Joutseno	5	58
Kouvola	29	457	Lappeenranta (2008)	18	276
Anjalankoski	17	235	Lemi	2	23
Elimäki	0	0	Luumäki	9	172
Jaala	1	9	Parikkala	11	121
Kouvola (2008)	0	0	Rautjärvi	4	34
Kuusankoski	0	0	Ruokolahti	2	42
Valkeala	11	213	Savitaipale	1	7
Miehikkälä	2	39	Suomenniemi	0	0
Pyhtää	8	155	Taipalsaari	2	27
Virolahti	5	60	Ylämaa	3	10
Kaakkois-Suomi yhteensä	116	1617			

Taulukko 5 esittää Kaakkois-Suomen ruokohelpitilojen tuotantokapasiteetin voimalaitosten muodostamiin hankinta-alueisiin jaettuna. Parhaimmat mahdollisuudet käyttää ruokohelpeä olivat Lappeenrannassa, jonne laskentaoletusten mukaan voidaan toimittaa polttoainetta vuosittain yli 10 GWh. Kymijokilaaksossa saatavuus oli myös korkea, mutta toisaalta myös useamman laitoksen muodostama korkea käyttöpotentiaali rajoitti laitokohtaisen tarjonnan Lappeenrantaa pienemmäksi. Arvion mukaan pisimmät kuljetusetäisyydet olivat Kotkan ja Rautjärven laitoksille. Rautjärven suunnalla ruokohelpitiloja on vähän, ja Kotkassa matkoja pidentää laitoksen sijainti meren rannalla.

Taulukko 5. Ruokohelven energiakäyttöön soveltuvat voimalaitokset ja helven arvioitu tuotantokapasiteetti laitosten hankinta-alueilla eri satokeskiarvoilla (suluissa). Kuljetusetäisyys on likimääräinen arvio keskimääräisestä yhdensuuntaisesta ajomatkasta viljelyalalta laitokselle.

Voimalaitos- paikkakunta	Viljelyala area, ha	Tuotantokapasiteetti, MWh/a			Kuljetus- etäisyys, km
		(4 t/ha)	(5 t/ha)	(6 t/ha)	
Anjalankoski	352	6 339	7 924	9 509	15
Kotka	293	5 277	6 596	7 915	30
Kuusankoski	183	3 295	4 119	4 942	20
Lappeenranta	585	10 535	13 168	15 802	25
Rautjärvi	203	3 660	4 575	5 490	35
Yhteensä	1 617	29 106	36 382	43 659	25

3.3.3 Johtopäätökset

Paikallisten biopolttoaineiden käyttömahdollisuudet Kaakkois-Suomessa paranevat sitä mukaa kun olemassa olevaa energiantuotannon laituskantaa uudistetaan, ja päätöksiä uusista biopolttoaineista käyttävistä energialaitoksista tehdään. Mitä enemmän käyttöpotentiaalia alueelle syntyy, sitä kovemaksi kilpailu polttoaineesta muodostuu. Polttoaineen korkeampi hinta puolestaan tekee raaka-aineen tuotannosta houkuttelevampaa liiketoimintaa. Tulevaisuudessa merkittävimmät yksittäiset vaikutukset paikallisten polttoaineiden tuotantoon on biojalostamoilla, joiden on laskettu vuodessa tarvitsevan metsäperäistä raaka-ainetta vähintään miljoona kuutiometriä täydellä tuotantokapasiteetilla toimiessaan. Kaakkois-Suomessa suuren mittakaavan biojalostamon rakentamispäätös tarkoittaisi merkittäviä muutoksia polttoaineiden kysynnän ja tarjonnan tasapainoon sekä logistiikan että polttoaineen hintakehityksen näkökulmasta tarkasteltuna.

Tässä raportissa esitetyt tulokset polttoainejakeiden saatavuuksista perustuvat eri laskenta-aineistoihin ja -menetelmiin. Turpeen ja ruokohelven saatavuuksia laskettaessa suoritettiin herkkyysanalyysit, joiden perusteella molempien polttoaineiden yhteisen tuotantokapasiteetin voidaan todeta olosuhteista riippuen vaihtelevan noin 0,6 ja 1,8 TWh:n välillä. Metsähakkeella herkkyysanalyysiä ei tehty. Käyttöön saatavan metsäpolttoaineen määrä riippuu enemmän sen markkinahinnasta kuin tuotanto-olosuhteista, joten herkkyystarkastelua tulisikin tehdä energiantuotannon ja metsäteollisuuden puustamaksukyvyyn perusteella.

Hakkuutähteen ja kantojen potentiaaleja laskettaessa mukaan seulottiin vain korjuukustannusten kannalta kaikkein kannattavimmat leimikot, eikä saatavuuden muutoksia tarkasteltu tekemällä muutoksia esimerkiksi pinta-ala- tai kertymärajoitteisiin. Kilpailun lisääntyminen kuitenkin vääjäämättä johtaa siihen, että potentiaaliin tulee huomioida myös sellaisia kysyntäpisteiden läheisyydessä sijaitsevia kohteita, joissa korjuukustannukset ovat muita korkeampia, ja kaikki leimikkokohtaiset kriteerit (taulukko 1) eivät täyty. Kaakkois-Suomen yhteenlaskettu teknis-taloudellinen metsähakepotentiaali oli n. 1,5 TWh, kun esimerkiksi Metsäntutkimuslaitos on arvioinut metsähaketta saatavan n. 2,2 TWh (Laitila ym. 2008). Kärhän ym. (2010) mukaan vuonna 2020 teknis-ekologinen metsähakepotentiaali olisi 2,3-3,0 TWh riippuen kotimaisen raakapuun kysynnän tasosta. Varsinkin sellu- ja paperiteollisuuden tuotantokapasiteetin väheneminen Suomesta seuraavan kymmenen vuoden

aikana vaikuttaisi metsähakepotentiaaliin kasvattaen pieniläpimittaisen energiapuun saatavuutta huomattavasti.

Kokonaispotentiaalin rinnalla on tärkeää kiinnittää huomiota saatavuuden suhteelliseen vaihteluun alueen sisällä. Erityisesti Etelä-Karjalan metsien mäntyvaltaisuus vaikuttaa eri metsähakejakeiden saatavuuksiin käyttöpaikkakohtaisissa tarkasteluissa. Esimerkiksi nuorten metsien energiapuuta on korjattavissa Etelä-Karjalasta huomattavasti Kymenlaaksoa enemmän. Seuraavissa kappaleissa esitetään raaka-aineen sijainnin maantieteellisen jakautumisen vaikutuksia siitä käytävään kilpailuun sekä menetelmiä suuren mittakaavan hankintalogistiikkaan.

4 METSÄPOLTTOAINEIDEN HANKINTALOGISTIIKKA KAAKKOIS-SUOMESSA

4.1 Kysyntä- ja tarjonta-aineisto

Yksi hankkeen merkittävimpiä haasteita oli selvittää metsäpolttoaineiden kuljetuksen ja logistiikkatoimintojen parhaita mahdollisuuksia Kaakkois-Suomen olosuhteet ja infrastruktuuri huomioiden. Koska turpeen kuljetuksella on jo pitkä historia, ja hankintalogistiikka on vuosien saatossa hyvin hioutunut, pääpaino tutkimuksessa asetettiin metsäpolttoaineiden hankintalogistiikan mallintamiseen.

Mallinnuksessa käytettiin raaka-ainetarjonnan lähtötietoina kappaleissa 2 ja 3 esitettyjä tuloksia raaka-ainevarojen jakautumisesta alueen eri osiin. Teknis-taloudellista korjuupotentiaalia rajattiin edelleen niin, että yksityismetsänomistajien myyntihalukkuuden puute rajaa markkinoilta pois 50 % kannoista, 25 % hakkuutähteestä ja 20 % pienpuusta. Lisäksi energiapienpuun korjuuseen ja haketukseen saatavan Kemera-tuen arvioitiin riittävän vain 50 prosenttiin jäljelle jäävästä potentiaalista.

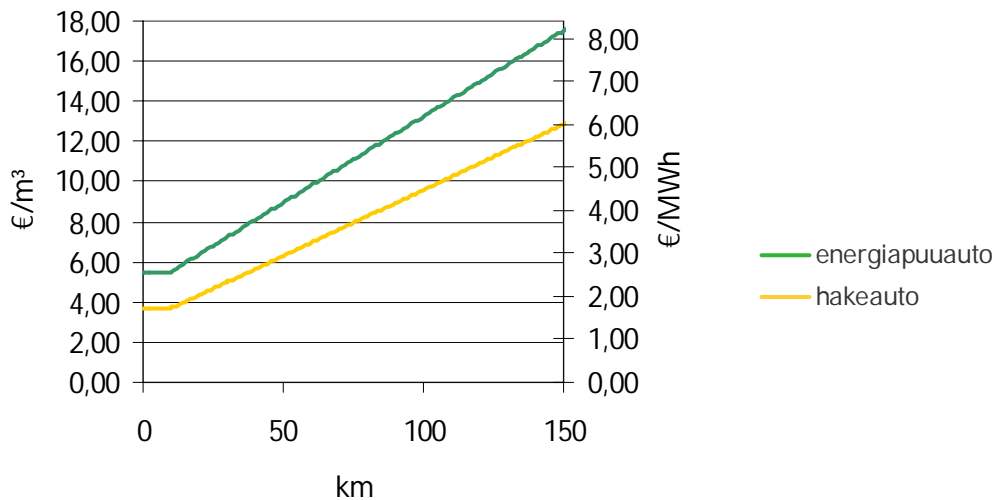
Metsähaketta käytettiin Kaakkois-Suomen alueella vuonna 2009 noin 450 000 m³ eli noin 900 GWh (Ylitalo 2010), mutta vuonna 2010 kasvaneen käyttöpotentiaalin myötä metsäpolttoaineiden käyttömäärä voisi ylittää jopa 1 400 GWh:iin. Taulukossa 6 on eritelty metsähakkeen käyttöarvioita voima- ja lämpölaitospaikkakunnittain.

Taulukko 6. Metsäpolttoaineiden käyttö Kaakkois-Suomessa ja lähimaakunnissa vuonna 2010 (Karhunen 2011).

Kysyntäpiste	Lämpö- / voimalaitos	Käyttöarvio [GWh]
Etelä-Karjala		
Lappeenranta	voimalaitos	200 – 400
Rautjärvi	voimalaitos	100 - 200
Savitaipale	lämpölaite	10
Parikkala	kylien lämpölaitokset	yht. 10
Taipalsaari	lämpölaite	3 – 5
Kymenlaakso		
Kouvola (1)	voimalaitos	300 – 400
Kouvola (2)	voimalaitos	200
Kotka	voimalaitos	50 – 150
Iitti	lämpölaite	10
Valkeala	lämpölaite	5 – 10
Pyhtää	lämpölaite	4
Miehikkälä	lämpölaite	3
Lähialueet		
Mikkeli	voimalaitos	400
Kerava	voimalaitos	100 – 200
Savonlinna	voimalaitos	130
Joensuu	voimalaitos	120
Loviisa	lämpölaite	30
Mäntyharju	lämpölaite	25
Heinola	lämpölaite	20
Heinävesi	lämpölaite	20

Metsäpolttoaineiden hankintamenetelmät nimetään usein sen mukaan missä raaka-aineen jalostaminen hakkeeksi tapahtuu. Yleisimpiä menetelmiä ovat nykyään tienvarsihaketus, terminaalihaketus tai -murskaus ja käyttöpaikkamurskaus (Kärhä 2010). Tienvarsihaketusta sovelletaan selvästi eniten, kun haketettava raaka-aine on hakkuutähdettä tai pienpuuta. Kantojen käsittelyyn tarvitaan joko sähköllä toimiva järeä käyttöpaikkamurskain tai dieselmoottorikäyttöinen mobiilimurskain. Mobiilimurskain operoi joko käyttöpaikalla tai terminaalissa. Tienvarsimurskaus on koneen tilantarpeesta johtuen harvinaista.

Käyttöpaikkamurskausmenetelmässä kuljetusvälineeksi tarvitaan kiinteällä kuormatilalla varustettu energiapuukuorma-auto, joka kykenee kuljettamaan noin 30 m³ hakettamatonta biomassaa kerralla. Tienvarsihaketuksessa kuljetusväline on hakeauto, jossa kuljetettavan hakkeen kiintotilavuus saattaa ylittää jopa 50 m³:een. Erot kuormien tiheyksissä ovat syynä siihen, että yksikkökustannuksiltaan hakeautolla kuljettaminen on energiapuuautolla kuljettamista edullisempaa (kuva 12). Terminaalitoiminnot sisältävissä hankintaketjuissa tarvitaan molempia kuljetusvälineitä.



Kuva 12. Hakeauton ja energiapuuauton kustannukset kuljetusmatkan suhteen (Ranta & Rinne 2006). Kustannukset on päivitetty vuoden 2010 tasolle ajoneuvoyhdistelmien kustannusindeksillä (Tilastokeskus).

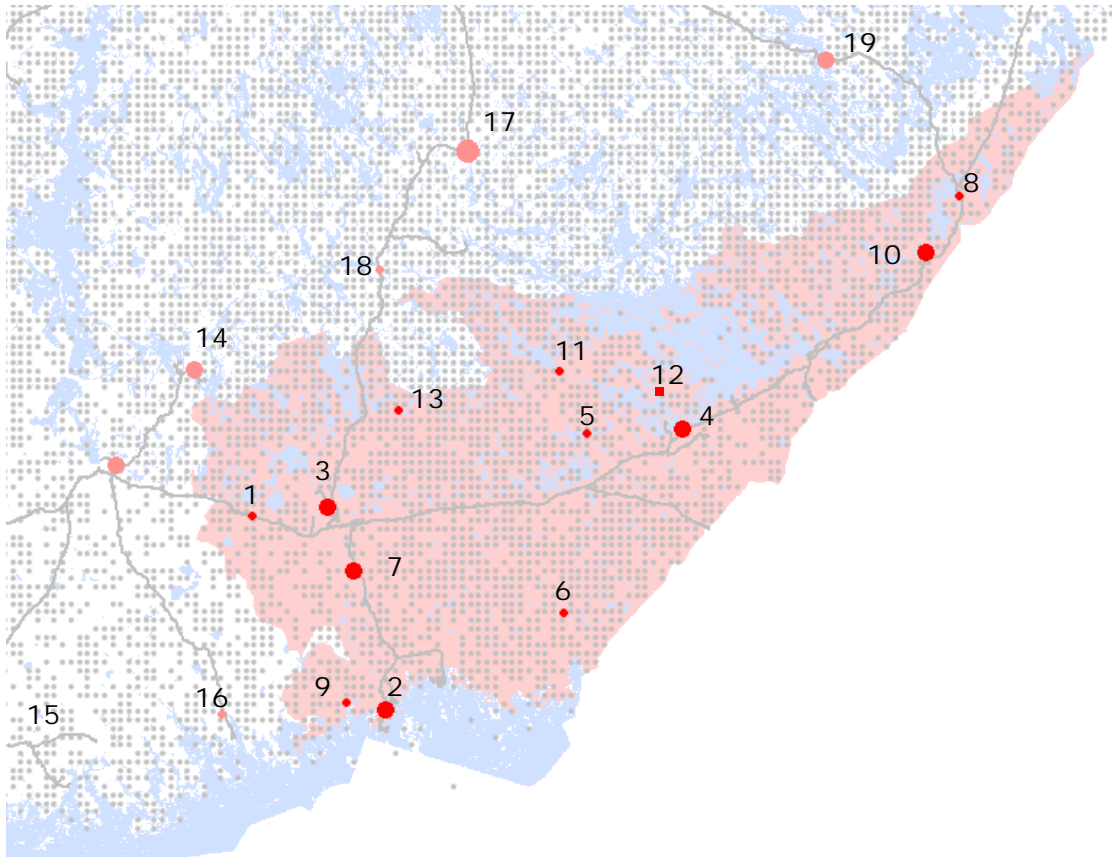
4.2 Hankintalogistiikan laskentamalli

Metsäenergiavarojen analyysin pohjalta Etelä-Karjalan, Kymenlaakson ja näitä ympäröivien maakuntien alueelle luotiin hankintalogistiikan ja -kustannusten laskentamalli, jonka avulla voidaan kiinnittää saatavuusarvioiden paikkatieto valmiiseen logistiikkatietokantaan. Kiinteät koordinaattipisteet (tarjontapisteet) sisältävässä tietokannassa pisteille on laskettu kuljetusetäisyydet valittuihin kysyntäpisteisiin, joita käyttöpaikkojen lisäksi ovat mm. erityyppiset terminaalit. Mallin etuna on, että siihen voidaan syöttää erityyppisiä aineistoja, ja että laskenta muuttuu nopeammaksi kuin esimerkiksi suoraan leimikkoaineistoista laskettaessa. Laskentamalliin on kytketty polttoainehankinnan eri vaiheiden kustannustieto, ja se antaa myös mahdollisuuden tehdä herkkystarkasteluja muuttamalla kustannustietoja.

Tässä tarkastelussa malliin syötetty tietokanta raaka-aineesta kilpailevista kysyntäpisteistä sisälsi seuraavat laitospaikkakunnat, joiden oletettiin vaikuttavan metsähakkeen kysyntään Kaakkois-Suomen alueella (kuva 13):

- 1) Iitti
- 2) Kotka
- 3) Kuusankoski, Kouvola
- 4) Lappeenranta
- 5) Lemi
- 6) Miehikkälä
- 7) Anjalankoski (Myllykoski), Kouvola
- 8) Parikkala
- 9) Pyhtää
- 10) Simpele, Rautjärvi
- 11) Savitaipale
- 12) Taipalsaari
- 13) Valkeala
- 14) Heinola
- 15) Kerava
- 16) Loviisa
- 17) Mikkeli
- 18) Mäntyharju
- 19) Savonlinna

Pienimpien käyttöpaikkojen (1, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 16 ja 18) vuotuinen metsähakkeen kysyntä oli arviolta 3-10 GWh (taulukko 6). Pienpuun hankintalogistiikan mallinnuksessa nämä käyttöpaikat priorisoitiin niin, että kaikki näiden laitosten ympäristössä (enintään 20 km kuljetusmatka lämpölaitokselle) tarjolla oleva pienpuu ei olisi tarjolla suurille käyttöpaikoille. Perusteluna oli, että pienten laitosten maksukyky hyvälaatuisesta pienpuuhakkeesta on usein suurten käyttöpaikkojen maksukykyä selvästi korkeampi. Maatilojen hakekatiloita ja tätä pienempien yksiköiden muodostaman metsähakkeen hajakäytön oletettiin jakautuvan alueella niin tasaisesti, että metsähakkeen ns. pienkäyttö jätettiin tarkastelussa huomioimatta.



Kuva 13. Kaakkois-Suomen metsähaketta käyttävien laitosten sekä alueelta raaka-ainetta hankkivien naapurimaakuntien laitosten sijainnit. Pienemmät pisteet ovat lämpölaitoksia.

Suurten käyttöpaikkojen välisen kilpailun kuvaamista varten kullekin suurkanikäpaikalle laskettiin hankinta-alueet edellä mainituin perustein rajatusta tarjontapotentiaalista. Käyttöpotentiaaleina olivat keskiarvot laitosten vuotuisista käyttöarvioista (taulukko 6). Hankinta-alueita kasvatettiin lisäämällä siihen aina hankintakustannuksiltaan seuraavaksi edullisin tarjontapiste. Hankinta-alueen kasvattaminen lopetettiin, kun käyttöpotentiaali tuli täyteen. Hankintamenetelminä käytettiin tienvarsihaketusmenetelmää (hakkuutähde ja pienpuu) sekä käyttöpaikkamurskausmenetelmää (kannot).

4.3 Hankintaketjun kustannukset

Hankintaketjujen kustannuksina käytettiin kuvassa 12 esitettyjä kuljetuskustannuksia sekä kuljetusmatkasta riippumattomia kustannuksia, jotka ovat taulukossa 7. Kustannukset perustuvat hankintaketjun eri vaiheista tehtyihin tutkimuksiin (mm. Laitila ym. 2004, Ryymin ym. 2008 ja Rinne 2010) sekä käytännön kokemuksiin aiemmissa tutkimushankkeissa. Pienpuun hankintaketjun kustannuksissa oletuksena oli, että kaikki pienpuu hankitaan kokopuuna, vaikka todellisuudessa osa pienpuuhakkeesta tuotetaan rankapuusta.

Rankapuusta maksettava metsänomistajakorvaus eli kantohinta on tavallisesti kokopuun kantohintaa korkeampi, mutta toisaalta sen kuljettaminen puutavara-autolla on kokopuuna kuljettamiseen nähden kannattavampaa.

Taulukko 7. Laskentamalliin syötetyt kuljetusmatkasta riippumattomat kustannukset.

€/m ³	Hakkuutähde	Kanto	Pienpuu
Organisaatio + muut	3,50	3,50	4,00
Metsänomistaja (kantohinta)	1,70	1,50	5,00
Hakkuu	1,20	5,50	13,50
Metsäkuljetus	6,50	8,00	6,00
Kemera			-11,25
Tienvarsikustannus	12,90	18,50	17,25
Tienvarsihaketus	6,50		5,50

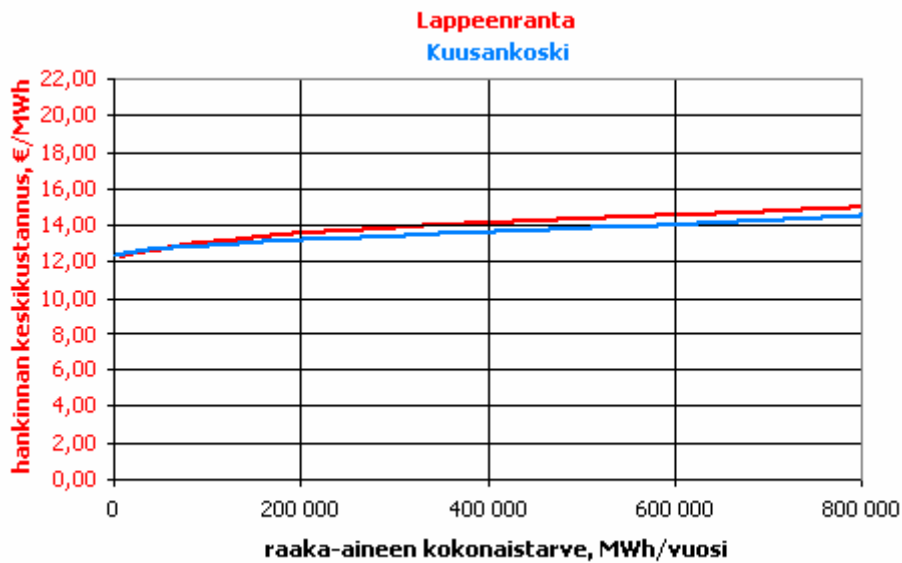
Koska kantojen hankintaketju sisälsi tienvarsihaketuksen sijaan käyttöpaikkamurskauksen, lisättiin taulukossa 7 esitettyihin kustannuksiin murskauskustannukset. Kustannusperusteena käytettiin terminaalimurskaukselle ominaista murskauskustannusta 6,75 €/m³, koska kaikilla tarkastelluilla käyttöpaikoilla ei kiinteää murskainta ole. Tehokkaassa käytössä olevalla käyttöpaikkamurskaimella yksikkökustannus voisi olla jopa alle 3,50 €/m³ (Rinne 2008). Vuotuisten käyttömäärien perusteella tähän olisi mahdollista päästä Lappeenrannassa ja Kuusankoskella.

Metsähakkeen keskimääräisen energiasisällön oletettiin olevan hakkuutähdeellä 2,10 MWh kiintokuutiometriä kohden. Kannolla vastaava oletus oli 2,30 MWh/m³ ja pienpuulla 2,13 MWh/m³. Laskennassa energiajakeita arvotettiin energiasisällön perusteella, mikä teki kantojen hankinnasta kannattavampaa kuin kiintotilavuuteen perustuvassa vertailussa.

4.4 Tulokset ja johtopäätökset

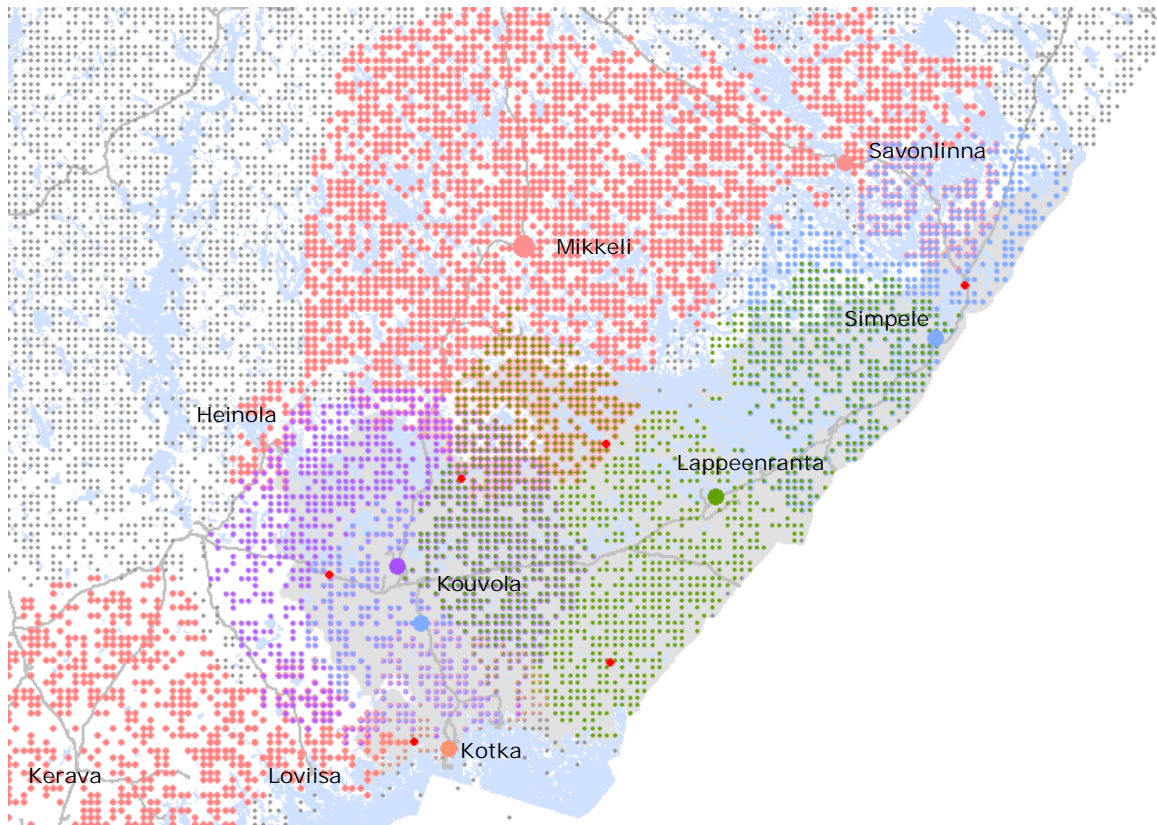
Metsäpolttoaineiden laskennalliset hankintakustannukset olivat keskimäärin 12-14 €/MWh riippuen vuotuisesta raaka-ainetarpeesta. Kuvassa 14 näkyvät keskimääräiset hankintakustannukset kahdelle suurimmalle käyttöpaikkakunnalle. Maantieteelliset erot näkyvät keskikustannuksissa niin, että Kuusankoskelle sama raaka-ainetta saadaan hieman edullisemmilla kustannuksilla kuin Lappeenrantaan. Eroa selittää osittain myös se, että lähellä sijaitsevien tarjontapisteiden suuremman määrän lisäksi myös hankintakustannuksiltaan edullisen hakkuutähteen saatavuus on puuston kuusivaltaisuudesta johtuen Kuusankoskella parempi (kuva 9). Muiden suurten käyttöpaikkojen osalta raaka-aineiden

hankintakustannusten kasvu kokonaistarpeen suhteen osui Lappeenrannan ja Kuusankosken kustannusten väliin.



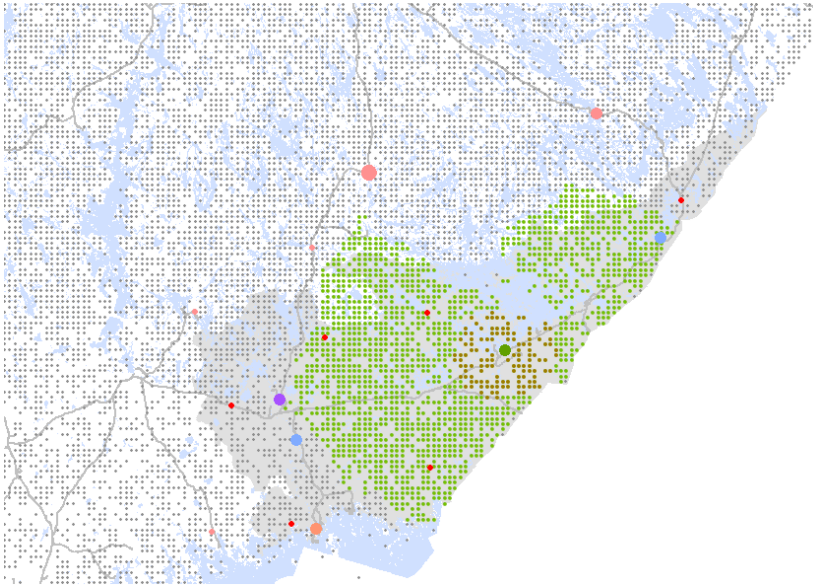
Kuva 14. Metsäpolttoaineen keskimääräisen hankinnan laskennallinen kustannuskehitys metsähakkeen kokonaistarpeen mukaan Lappeenrannan ja Kuusankosken laitospaikkakunnilla.

Kuvassa 15 näkyvät tarkastelussa mukana olleiden voimalaitosten hankinta-alueet, kun metsähaketta käytetään kaikilla laitoksilla niiden korkeimman käyttöarvion (taulukko 6) mukaan. Hankinta-alueiden sisällä energijakeiden hankinta vaihtelee niin, että voimalaitoksia lähimpinä olevilta tarjontapisteiltä hankitaan kaikkia raaka-ainejakeita ja uloimmilta pisteiltä ainoastaan edullisinta eli hakkuutähdettä. Hankinta-alueet on erotettu omiksi väreikseen niin, että Lappeenrannan alue on kuvattu vihreällä, Simpeleen sinisellä, Kotkan oranssilla, Anjalankosken sinisellä, Kuusankosken violetilla ja ulkopuolisten laitosten alueet vaaleanpunaisella. Tummemmat värisävyt kertovat alueista, joilla muodostuu kovempaa kilpailua hankinta-alueiden päällekkäin menosta johtuen. Kovinta kilpailu on Kymijoen idänpuoleisella kaistalla sekä toisaalta Etelä-Karjalassa Venäjän rajan läheisyydessä. Kotkan hankinta-alueella kilpailijoita löytyy lähes jokaiselle alueen tarjontapisteelle. Ulkopuolisista laitoksista Mikkelin ja Savonlinnan hankinta-alueet ulottuvat eniten Kaakkois-Suomen puolelle.



Kuva 15. Kaakkois-Suomen ja lähimaakuntien suurten käyttöpaikkojen laskennalliset metsäpolttoaineiden hankinta-alueet, kun kaikki laitokset käyttävät metsähaketta suurimman arvioidun käyttöpotentiaalin mukaan.

Venäjän raja vaikuttaa sen läheisyydessä oleviin käyttöpisteisiin niin, että hankinta-alueet leviävät pidemmälle vapaisiin suuntiin. Lappeenrannan käyttöpisteen osalta tilannetta korostaa vielä Suur-Saimaan vesialueen vaikutus (kuva 16). Kuten edellä esitetystä hankinta-alueiden kartasta (kuva 15) voidaan havaita, muiden laitosten alueet tulevat vastaan kaikilla teoriassa vapailla hankintasuunnilla. Rajoitettu hankinta-alue tarkoittaa sitä, että laitos joutuu korvaamaan edullisemmän hakkuutähteen hankintaa kustannuksiltaan kalliimmilla kannoilla ja pienpuulla.



Kuva 16. Lappeenrannan käyttöpaikan laskennallinen hankinta-alue (vihreä), kun metsäpolttoaineen vuotuinen hankinta on 400 GWh. Ruskealla kuvatun alueen säde on 25 kilometriä, jonka jälkeen hankinta-alueen muoto muuttuu selvästi epäyhtenäisemmäksi.

Tulokset viittaavat siihen, että Kaakkois-Suomen itse tuottamasta metsäpolttoaineesta syntyy pula silloin, kun sen tarve on laitosten käyttökapasiteetti huomioiden korkeimmillaan. Kilpailu korjuukustannuksiltaan edullisesta hakkuutähteestä on kovaa jo vähäisemmälläkin käyttömäärillä, ja kilpailu pienpuusta kovenee kysynnän kasvaessa. Vaikka tässä tarkastelussa kantojen kysyntää ei eritelty metsähakkeen kokonaiskysynnästä, on kilpailu kannoista käytännössä vähäisempää johtuen pienemmästä määrästä potentiaalisia käyttökohteita. Toisaalta myös hakkuutähteiden saatavuus eri kohteisiin vaihtelee käytännössä huomattavasti enemmän johtuen sen saatavuuden sidonnaisuudesta raakapuun kauppoihin.

5 PITKIEN KULJETUSMATKOJEN HANKINTALOGISTIikka

5.1 Johdanto

Juna- ja aluskuljetuksiin perustuvien metsäpolttoaineen hankintalogistiikkajärjestelmien kannattavuuden selvittämisen tarpeet ovat nousseet esille samalla, kun perinteisten hankintamenetelmien autokuljetusmatkat ovat kasvaneet metsähakkeen käytön yleistyttyä. Energiakäyttöön ohjattua metsäbiomassaa on kuljetettu rautateillämme noin puolen vuosikymmenen ajan, mutta suuri osa kuljetuksista on ollut kokeilumuotoista tai korkeintaan kausiluontoista ilman säännöllisiä toimitusaikatauluja. Vesitiekuljetusten osalta on järjestetty joitakin kuljetuskokeiluja (mm. Karttunen, ym. 2008) mutta käytännössä kuljetuskalusto on ollut lähinnä puunjalostusteollisuuden raaka-ainehuollon käytössä. ”Biopolttoaineiden saatavuus ja hankintalogistiikka Kaakkois-Suomessa” -hankkeen valmistelun yhteydessä nousi esille vaihtoehtoja, joilla hankkeen kohdealueella kasvavaan metsähakkeen kysyntään voitaisiin vastata niin, että energiaraaka-aine ei lopu kesken. Ulkomaisen raaka-ainehankinnan ohella oleellisena vaihtoehtona nähtiin kotimaisen raaka-aineen toimittaminen Kaakkois-Suomeen rautateitse ja vesiteitse sellaisilta alueilta, joilla paikallinen kysyntä on hyvin vähäistä tai olematonta.

Toistaiseksi julkista tietoa rautateiden kuljetuspalvelujen kustannuksista ja hinnoitteluperusteista on erittäin vähän johtuen mm. vähäisestä palveluntarjonnasta. Vaikka tavaraliikenne rautateillä vapautettiin kilpailulle vuonna 2007, on VR-konserniin kuuluva VR Transpoint edelleen ainoa tavarakuljetusta kiskoilla tarjoava yritys. Tässä tutkimuksessa ei pyritty selvittämään rautatiekuljetusten kannattavuutta VR:n hinnoittelupolitiikkaan perustuen, vaan käytettiin vaihtoehtoista palvelukonseptia, jonka kannattavuutta on tutkittu aiemmin mm. raakapuun rautatiekuljetusten osalta (Saranen & Hilmola 2007). Niin ikään vesitiekuljetusten palvelumalli oli sama kuin aiemmassa kuljetuskokeiluja sisältäneessä tutkimuksessa (Karttunen ym. 2008). Tavoitteena oli saada vertailukelpoista tietoa edullisimmista tavoista hankkia raaka-ainetta lisää Kaakkois-Suomen ulkopuolelta, ja kyetä arvioimaan missä määrin ulkopuolinen hankinta sekoittaisi paikallisen bioenergian raaka-ainetuotannon markkinoita.

5.2 Hankintaketjujen kuvaukset

Suoriin autokuljetuksiin perustuvien hankintaketjujen etuna on, että sama kuljetusväline pääsee raaka-aineen käyttöpaikalta hyvin lähelle, käytännössä alle puolen kilometrin metsäkuljetusmatkan päähän raaka-aineen lähteestä. Toisaalta kuljetusten ohjausjärjestelmältä edellytetään, että se optimoi myös tienvarsivarastojen välillä operoivan hakkuriauton liikkeen niin, että odotusajat jäävät mahdollisimman lyhyiksi.

Rautatiekuljetuksiin perustuvassa logistiikkajärjestelmässä juna liikennöi käyttöpaikalta rataverkolla sijaitsevalle lastauspaikalle, jonne irtaimen biomassan kuljettamiseen soveltuvat kuorma-autot (ns. energiapuuautot) kuljettavat tienvarresta kerätyn biomassan. Useimmissa tapauksissa biomassaa ei kannata hakettaa tienvarressa, vaan se kulkee auton kyydissä hakettamattomana, ja murskataan terminaalilla ennen junaan lastausta. Lisäksi kannot vaativat raskaampaa murskaavaa käsittelykalustoa, jonka kuljettaminen tienvarseen on usein hankalaa. Terminaalilla tarvitaan hakkurin ja/tai murskaimen lisäksi pyöräkuormaajaa aumaamista ja lastausta varten.

Vesitiekuljetuksiin perustuva logistiikkajärjestelmä on rakenteeltaan rautatielogistiikkajärjestelmän kaltainen muutamien poikkeuksin. Yhtenäisellä kuljetustilalla varustetun ruumaproomun lastaamiseen ja purkamiseen tarvitaan tavallisesti järeämpää ja tehokkaampaa kalustoa, kuten materiaalinkäsittelykone tai hihnakuljetin. Toisaalta samaa laivakalustoa voidaan käyttää myös muun materiaalin, kuten esimerkiksi raakapuun kuljettamiseen, jolloin logistiikkakustannusten osalta on mahdollisuus saavuttaa merkittäviäkin synergiaetuja.

5.3 Tutkimuksessa huomioidut raaka-aineet ja hankintaketjun vaiheet

Metsähaketta valmistetaan pääosin kolmeksi energiajakeeksi: hakkuutähdehakeeksi, pienpuuhakeeksi ja kantomurskeeksi. Pienpuuhake voidaan edelleen jakaa kokopuu- ja rankahakeeksi riippuen siitä onko puu karsimatonta vai karsittua. Tässä tutkimuksessa mukaan laskettiin vain päätehakuubiomassat, joiden tarjonta todellisuudessa riippuu paljon ainespuun hakkuumääristä. Näiden jakeiden, eli hakkuutähteen ja kantopuun hankinta ei kuitenkaan riipu valtion tuista, kuten esimerkiksi pienpuulla.

Tutkimuksessa tarkasteltuja junakuljetusta ja laivakuljetusta edeltävät hankintaketjun päävaiheet olivat hakkuutähteen puinti/kannon nosto, metsäkuljetus ja kuljetus

energiapuuautolla terminaaliin. Kuljetuksen simulointi sisälsi kuljetuksen lisäksi ainoastaan lastauksen ja purun alukseen tai junaan. Junan lastauksen tuottavuuden arvioitiin olevan lastauskalustosta riippumatta 200 tonnia tunnissa ja purun 300 tonnia tunnissa. Aluksen lastaukseen ja purkuun simuloitiin vaihtoehtoisia käsittelymenetelmiä, joissa lastaustuottavuudet olivat 100-190 t/h ja purkutuottavuudet 55-180 t/h (liite 1).

Tietoa lastauksen ja purun järjestelyistä ja niiden ajanmenekistä saatiin mm. Ruotsissa tehdyistä demonstraatioista (Enström 2009) sekä Suomessa demonstroituista metsähakkeen laivakuljetuksista (Karttunen ym. 2008).

5.4 Aineisto ja menetelmät

5.4.1 Tapahtumapohjainen simulointi tutkimusmenetelmänä

Simuloinnin avulla voidaan tutkia mm. läpimenoaikoja, jonossa vietettävää aikaa, jonojen kokoa, toimituksen ajoitusta sekä laitteiden käyttöastetta ja henkilöstön työmäärää. Simuloinnilla on monia etuja muihin tutkimusmenetelmiin nähden: Simuloinnilla voidaan tosielämän monimutkaisia järjestelmiä kuvata yksityiskohtaisilla malleilla, kun taas monien analyttisten menetelmien käyttö vaatii realismia rajoittavia oletuksia. Muutosvaihtoehtoja voidaan vertailla, jolloin simuloimalla nähdään, mikä vaihtoehto parhaiten täyttää tavoitteet. Simuloimalla on mahdollista tarkastella pitkän aikavälin tapahtumia lyhyessä ajassa, tai vaihtoehtoisesti tarkastella yksityiskohtaisesti ja rauhassa toimintoja, jotka oikeasti tapahtuvat nopeasti (Law & Kelton 1997). Simuloinnin heikkoutena on usein monimutkaisissa malleissa tarvittavan lähtötiedon puute, joskus joudutaan tekemään karkeitakin yleistyksiä. Materiaalilogistiikkaan ja operaatioihin liittyvä simulointi saattaa johtaa liian optimistisiin tuloksiin, jos laskennan lähtötietoina käytetään valmiiksi kaikkein ihanteellisimpia arvoja, eikä operaatioihin liittyviä keskeytyksiä ja häiriöitä ole otettu malliin mukaan riittävällä kattavuudella.

Logistiikkajärjestelmän mallinnus toteutetaan usein tapahtumapohjaisena (engl. discrete-event) simulointina, jossa simuloinnille annetaan kiinteä, osiin jaettavissa oleva seurantajakso. Toteutetuissa simulointitutkimuksissa tarkasteltiin junakuljetussysteemin toimintaa vuoden ajan ja aluskuljetussysteemin toimintaa 8 kuukauden ajan. Tarkasteluajan lisäksi systeemeille oli annettu kiinteät kuljetusverkot, joilla kokonaiskuljetussuoritteet (tonnia/vuosi)

muodostuivat. Kokonaissuoritteen lisäksi tarkasteltavat asiat olivat kuljetusvälineiden ajankäytön sekä kustannusten jakautuminen eri osiin.

5.4.2 Simuloitu junajärjestelmä

Junasysteemissä tarkasteltiin junakokoonpanoa, joka kuljetti metsähaketta Kuusankoskella sijaitsevalle vastaanottopisteelle kolmelta Itä-Suomessa sijaitsevalta lastausterminalilta. Lastausterminalit oli valittu alueilta, joilla nykyinen metsähakkeen hankinta on verraten vähäistä. Suuria metsähakkeen käyttöpisteitä ei terminaalien välittömässä läheisyydessä ole. Terminalipaikkojen valinnassa käytettiin tausta-aineistona Ratahallintokeskuksen (nyk. Liikennevirasto) tekemää selvitystä puutavaran lastauspaikkojen kehittämiskohteista (Iikkanen ym. 2009). Toimituskohteeksi valittiin Kuusankoski, jossa on metsähaketta käytävä suuri voimalaitos. Kouvolan kaupungin alueella on lisäksi muita potentiaalisia metsähakkeen toimituskohteita, joille tämän tutkimuksen tuloksia voidaan myös soveltaa.

Junakokoonpano toimi simuloinnissa kokojunaperiaatteella eli kalustoa ei muutettu, eikä juna käytetty myöskään muuhun kuin metsähakkeen kuljetukseen. Juna operoi samalla periaatteella kuin aiemmassa raakapuun hankintaan keskittyneessä tutkimuksessa (Saranen & Hilmola 2007) on esitetty. Junassa oli kaksitoiminen veturi, jota voidaan ajaa sekä sähköllä että dieselpolttoaineella (kuva 17). Vaunujen määrä vaihteli simulointivaihtoehtojen mukaan. Jokaisessa vaunussa oli kolme hakekonttia, jotka voidaan purkaa esimerkiksi haarukkatrukilla ylösalaisin kääntämällä (kuva 18). Hakekonttien kuljettamiseen sopii esimerkiksi VR:n Sgn-vaunumalli. Seuraavassa on tärkeimpiä simulointiin annettuja lähtötietoja junan kokoonpanosta:

- Maksimi hyötykuorma: 60 tonnia/vaunu
- Lastausnopeus: 200 tonnia/h
- Purkunopeus: 300 tonnia /h
- Työaikasäännökset: 115 h/ 3 viikkoa sis. tarvittavat tauot
- Kuljettajan palkka: 27,7 €/h
- Polttoaineen kulutus: VTT:n RAILI tietokannasta
- Sähkön hinta: 0,112 €/kWh
- Dieselin hinta: 1,27 €/l
- Radankäyttömaksut: Ratahallintokeskuksen antamat
- Veturin hankintahinta: 2 200 000 €
- Vaunun hinta: 80 000 €
- Pitoaika: 25 vuotta
- Korko: 4 %

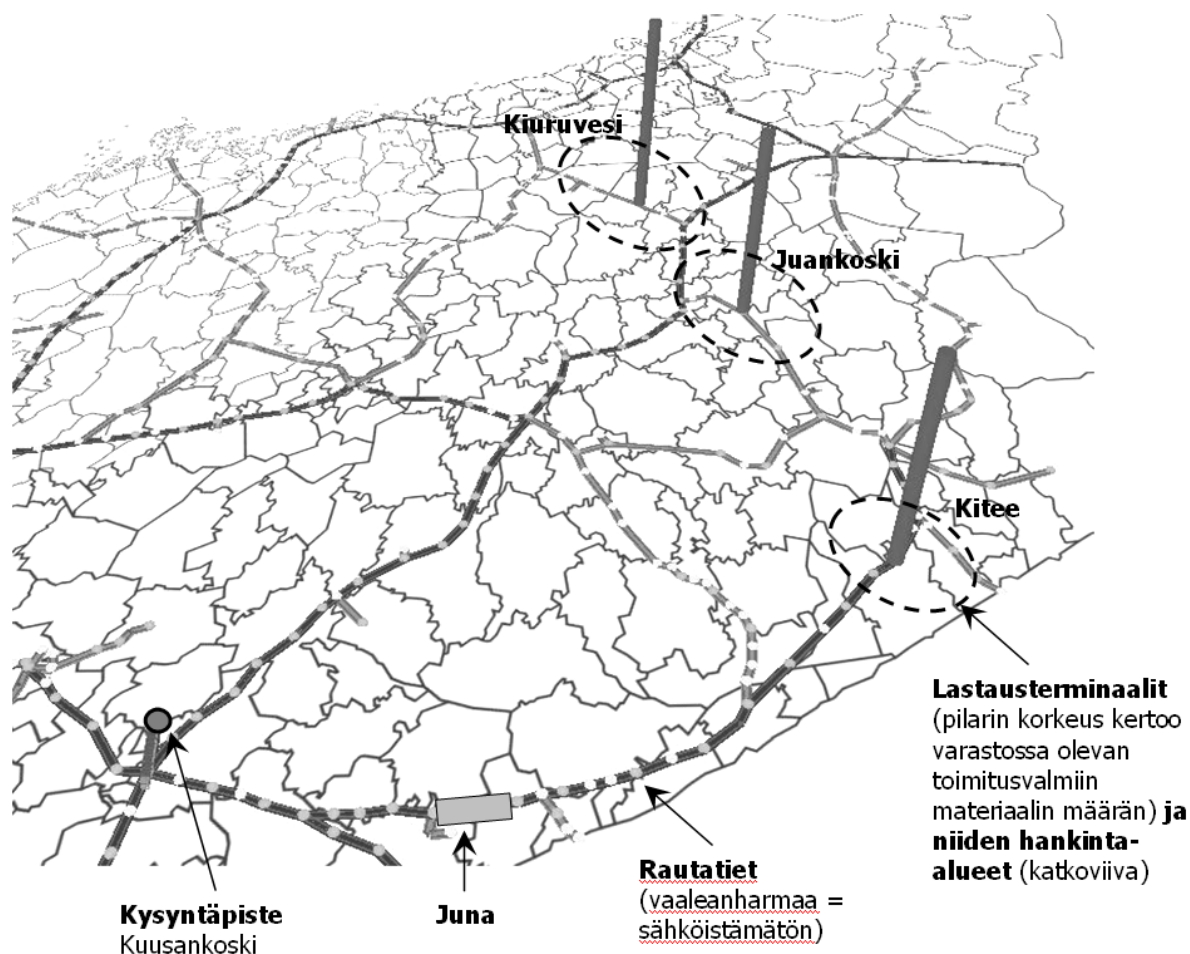


Kuva 17. DM30AC – veturi, joka kulkee vaihtoehtoisesti joko sähköllä tai dieselillä. Kuva: Siemens AG, Transportation Systems.



Kuva 18. Hakekonttien purkua haarukkatrukilla. Kuva: Innofreight Speditions GmbH.

Simulointiympäristönä käytettiin Quest-simulointialustaa, jonka graafisesta käyttöliittymästä on esimerkki kuvassa 19. Kuljetusreitinä toimi Suomen rautatieverkko, jonka tiedot mm. keskimääräisine ajonopeuksineen ja painorajoituksineen saatiin RHK:n verkkoselostuksesta. Kuljetusetäisyys Kiuruvedeltä Kuusankoskelle oli 402 km, Juankoskelta 356 km ja Kiteeltä 269 km. Näistä Kitee oli ainoa sähköistetyin radan varrella sijaitseva lastaustermiinaali.



Kuva 19. Graafinen esimerkki Quest-ohjelmoinnilla laaditusta simulointimallista.

5.4.3 Simuloidut alusjärjestelmät

Vesitiekuljetusjärjestelmän simulointi tapahtui maantieteellisesti samalla alueella kuin rautatiekuljetuslogistiikan simulointi. Lastauspaikkoja oli kuitenkin vain kaksi, ja niiden sijainnit poikkesivat hieman rautatiesimuloinnissa käytetyistä. Lastauspaikoista toinen sijaitsi Siilinjärven Kuuslahdessa, josta matka syväväylää pitkin Lappeenrantaan on 333 km, ja toinen Savonlinnan Vihtakannassa, josta vastaava kuljetusmatka on 220 km (kuva 22).

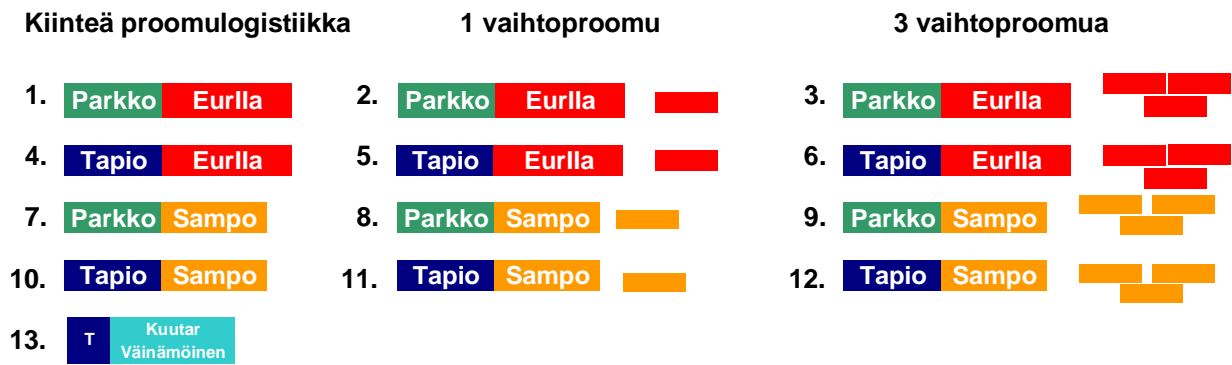
Simulointimalliin luotiin kuljetusvaihtoehtoja, jotka sisälsivät Saimaalla operoivien hinaajien ja proomujen kytkyeitä (kuva 20). Proomut olivat erikokoisia ruumaproomuja, joiden ruumissa voidaan kuljettaa metsähaketta arviolta 360 (Kuutar ja Väinämöinen), 630 (Sampo) tai 1200 (Eurooppa Iia) tonnia. Hakkeen oletuskosteutena käytettiin 40 prosenttia, jolloin hakkeen energiasisältö on noin 2,9 MWh/t. Hinaajavaihtoehdot olivat Parkko, jonka konetehto on 535 kW sekä Tapio, koneteholtaan 342 kW. Kalusto on metsäyhtiö UPM:n omistuksessa lukuun ottamatta Tapiota ja Eurooppa Iia:ta, joka on tyyppinimi suurimmalle Saimaan vesistöissä liikennöivälle proomutyypille.

Kuljetus tapahtui proomua työntämällä, paitsi yhdistelmässä 5., jossa Tapion konetehon ja ohjaamon korkeuden ei uskottu riittävän täyden hakekuorman työntämiseen, vaan täysi kuorma kuljetettiin hinaamalla.



Kuva 20. Hinaajan ja proomun muodostama työntökytkye. Kuva: Kalle Karttunen.

Vaihtoehtoisten kytkyeiden lisäksi simulointiin sisältyi myös logistiikkamalli, jossa käsiteltiin eri logistiikkavaihtoehtoja käytössä olevien proomujen mukaan (kuva 21). Kiinteä proomulogistiikka merkitsi sitä, että hinaaja on koko ajan kytkettynä yhteen tai kahteen proomuun, jolloin hinaaja joutuu odottamaan satamassa myös lastauksen ja purun ajan. Simuloitavana olivat myös kaksi tai neljä proomua sisältävät vaihtoproomujärjestelmät, joissa hinaaja kuljetti täyttä tai tyhjää proomua muiden proomujen ollessa lastattavana tai purettavana. On huomioitava, että olemassa olevan kuljetuskaluston lisäksi mahdollisten lisäproomujen hankintaan ei tässä tutkimuksessa otettu kantaa muuten kuin laskennallisten pääomakustannusten muodossa (Hiltunen 2010). Esimerkiksi vaihtoehtoissa 7.-12. (kuva 21) oletettiin, että liikenteeseen saataisiin Sammon lisäksi yksi tai kolme proomua, joiden koko, hankintakustannus ym. ominaisuudet ovat täysin samat kuin Sammolla. Käytännössä useamman vaihtoproomun sisältävät logistiikkajärjestelyt ovat vaikeimpia toteuttaa alusten rajallisen saatavuuden takia.



Kuva 21. Simuloidut alus- ja logistiikkajärjestelmävaihtoehdot.

Vesitiekuljetusten simulointiin sisältyi myös satamatoimintojen käytännön järjestelyjen huomiointi. Vaihtoehtoisina lastausmenetelminä käytettiin materiaalinkäsittelykonetta ja hihnakuljetinta, joista hihnakuljettimen käytön tulkittiin olevan riippumaton satamatyövuoroista. Satamien oletettiin toimivan arkisin kahdessa vuorossa. Materiaalinkäsittelykoneen sisältäneissä simulointimenetelmissä alus ohjelmoitiin odottamaan sataman avautumista, mikäli se saapuisi satamaan yöllä tai viikonloppuna. Tarkat tiedot mm. alusten pääoma- ja käyttökustannuksista, kuljetuksen nopeusvaihteluista, satamatoimintojen ajanmenekeistä, keskimääräisistä odotusajoista on raportoitu tutkimuksen yhteydessä toteutetussa opinnäytetyössä (Hiltunen 2010) ja liitteessä 1.

Koska simulointimallissa oli vain kaksi lastauspaikkaa, oli oletettavissa, että joidenkin logistiikkavaihtoehtojen yhteydessä alusten käyttöasteet jäävät alhaisiksi pelkällä metsähakkeen kuljettamisella. Näiden vaihtoehtojen osalta oletettiin, että metsähaketta voidaan ajoittain korvata kuitupuulla esimerkiksi kesäkuukausina, jolloin lämmitystarve ja hakkeen kysyntä ovat alimmillaan. Liikennöintikauden pituudeksi asetettiin kahdeksan kuukautta, joka vastaa sulan veden aikaa.

5.4.4 Raaka-aineen kysynnän ja tarjonnan skenaariot

Junien ja alusten lastaustermiinaaleille muodostetuille hankinta-alueille laskettiin saatavissa oleva metsäbiomassan määrä suhteessa kuljetusmatkaan kappaleessa 2 esitellyn laskentamenetelmän mukaan. Junatermiinaaleja ympäröivien hankinta-alueiden yhteenlasketuksi teknis-taloudelliseksi potentiaaliksi saatiin 40 km hankintasäteellä noin 550 GWh metsäenergiaa, josta hakkuutähteen osuus oli noin 55 ja kantojen noin 45 prosenttia. Puuaineksena mitattuna tämä vastaa noin 250 000 kuutiometriä. Ainespuun hakkuuta tarvittiin

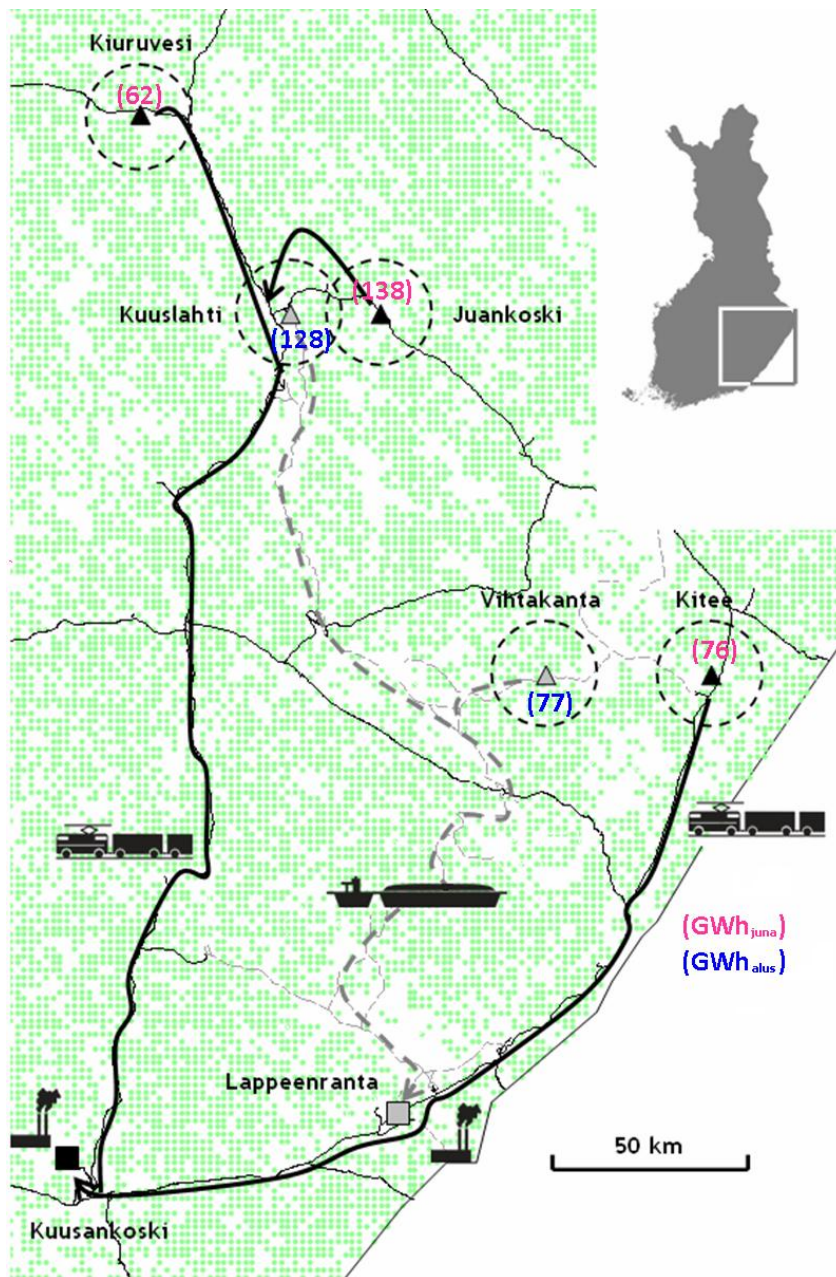
tarkastelualueille kyseisen energiapotentiaalin muodostamiseksi n. 1,3 milj. m³ edestä noin 6000 ha alalta. Tästä alasta 20-40 prosenttia valikoitui leimikkokriteerien perusteella korjuukelpoisiksi kohteiksi. Lisäksi saatavuudessa huomioitiin energiapuun korjuuohjeet, joiden mukaan hakkuualalle on jätettävä vähintään 30 % ainespuun korjuun jäljiltä jääneestä biomassasta. Samoin laskentaperiaattein saatu raaka-aineen saatavuus alusten lastauspaikoille oli noin 420 GWh.

Metsähakkeen kysynnän osalta laadittiin rautatiekuljetusten simulointiin kaksi vaihtoehtoista toimitusmallia, joista toisessa kuljetukset painottuivat lämmityskaudelle ja toisessa kuljetusvirrat olivat tasaisia ympäri vuoden (taulukko 8). Vaihtoehtoista ensimmäinen kuvasi tyypillisen yhdyskuntalämmitykseen keskittyvän laitoksen polttoaineentarpeen vaihtelua, kun taas jälkimmäinen kuvasi esimerkiksi biojalostamon raaka-aineentarvetta.

Vaihtoehtoisia tarjontaskenaarioita muodostui kolme. Perusskenaariossa (1) oletettiin hankinta-alueen rajoittuvan 40 kilometriin ja arvioitiin, että 50 % teknis-taloudellisesta potentiaalista voisi olla yhden toimijan hankittavissa (taulukko 8). Tämä tarkoittaa, että toimijalla olisi merkittävä markkina-asema alueen ainespuukaupoista, jolloin se pystyisi neuvottelemaan metsänomistajien kanssa myös huomattavasta määrästä energiapuunkorjuuoptioita. Lisäksi toimija voisi ostaa energiapuuta alueen muilta toimijoilta. Skenaariolla 2 haluttiin selvittää, kuinka paljon hankintakustannukset nousisivat, jos hankinta-alue laajennettaisiin 60 kilometriin. Käytännössä tämä tarkoittaisi biomassapotentiaalin kaksinkertaistumista. Skenaario 3 poikkesi skenaariosta 1 niin, että alueellinen kilpailu raaka-aineista jätettiin huomioimatta. Tällöin saatiin vertailukohdaksi hankintakustannukset teoreettisella 100 % markkinaosuudella.

Vesitiekuljetusten simulointi piti sisällään herkkyystarkastelua kuljetus- ja materiaalinkäsittelykaluston osalta, joten raaka-aineen kysynnän ja tarjonnan analysointiin kiinnitettiin vähemmän huomiota kuin rautatiekuljetusten simuloinnissa. Vesitiekuljetusten simuloinnissa tarjonnan oletettiin vastaavan rautatiekuljetusten perusskenaariota, jolloin raaka-aineen laskennallinen saatavuus vesitiekuljetuksiin oli 210 GWh eli noin 72 000 tonnia (kuva 22). Vastaavasti kysynnän osalta kuljetusvirtojen vaihtelua ei mallinnettu samalla tavalla kuin junakuljetuksissa, koska samalle kuljetuskalustolle ja -reiteille soveltuvien

kuitupuun kuljetusten oletettiin kompensoivan kaluston heikommasta käyttöasteesta aiheutuvat kustannukset.



Kuva 22. Rautatie- ja vesitiekuljetusten simulointitapaukset. Suluissa ilmoitetut energiamäärät ovat perusskenaarion mukaisia arvioita metsäpolttoaineen vuotuisesta saatavuudesta junien (punainen) ja alusten (sininen) lastauspaikoille. Vihreä pisterasteri kuvaa alueen metsävaltaisuutta.

Taulukko 8. Kysynnän ja tarjonnan skenaariot.

Rautatiesimulointi

Tarjonta	“Kustannus- tehokas”	“Maksimaalinen”		Kysyntä	“CHP”	“Biojalostamo”
Skenaario	1	2	3	Skenaario	A	B
Etäisyys terminaalille (max)	40 km	60 km	40 km	Rautateitse hankittava määrä / vuosi	Kaikki saatavilla oleva	Kaikki saatavilla oleva
Markkinaosuus teknis- taloudellisesta saatavuudesta	50% (275 GWh/a)	50% (520 GWh/a)	100% (550 GWh/a)	Kuljetus- määrien kuukausi- vaihtelu (osuus koko vuoden hankinnasta)	Vaihteleva, esim. 0% heinäkuussa, 20% tammikuussa	Tasainen (8,3% × 12 kk)

Vesitiesimulointi

Tarjonta		Kysyntä	
Etäisyys terminaalille (max)	40 km	Vesiteitse hankittava määrä / vuosi	Kaikki saatavilla oleva + jäljelle jäävä kuljetuskapasiteetti kuitupuun kuljetusta
Markkinaosuus teknis- taloudellisesta saatavuudesta	50% (210 GWh/a)	Kuljetus- määrien kuukausi- vaihtelu	Vaihteleva, mutta kuljetuskapasiteetin oletettu muu käyttö tasaa vaihtelun

5.4.5 Simulointiajot

Rautatiekuljetusten kysynnän ja tarjonnan eri vaihtoehtojen (taulukko 8) myötä muodostui kuusi simulointiskenaariota: 1A, 1B, 2A, 2B, 3A ja 3B. Näistä A-skenaariot edustivat vaihtelevaa kysyntää ja B-skenaariot tasaista kysyntää. Simulointiajoja varten luotiin kuukausikohtaiset toimitusohjelmat terminaaleilta käyttöpaikalle. Taulukossa 9 on esitetty skenaarion 1A mukainen toimitusohjelma.

Taulukko 9. Rautatiekuljetusten kuukausikohtaiset kuljetusvolyymit (t) ja sitä vastaavat energiamäärät (MWh) perusskenaarion (1A) mukaisessa toimitusohjelmassa.

t	Juankoski	Kitee	Kiuruvesi	MWh	Juankoski	Kitee	Kiuruvesi
Tammi	9 374	5 086	4 242	Tammi	27 626	15 201	12 428
Helmi	7 228	3 900	3 278	Helmi	22 101	12 161	9 943
Maalis	4 518	2 438	2 049	Maalis	13 813	7 601	6 214
Huhti	3 103	1 669	1 409	Huhti	9 669	5 320	4 350
Touko	1 432	779	647	Touko	4 144	2 280	1 864
Kesä	1 039	572	467	Kesä	2 763	1 520	1 243
Heinä	0	0	0	Heinä	0	0	0
Elo	1 039	572	467	Elo	2 763	1 520	1 243
Syys	3 067	1 684	1 381	Syys	8 288	4 560	3 728
Loka	3 518	1 928	1 586	Loka	9 669	5 320	4 350
Marras	6 031	3 304	2 718	Marras	16 576	9 121	7 457
Joulu	7 539	4 130	3 398	Joulu	20 720	11 401	9 321
Yhteensä	47 889	26 061	21 644	Yhteensä	138 130	76 005	62 141

Simulointiajot suoritettiin kullekin kysynnän ja tarjonnan määrittämälle skenaariolle niin, että pyrittiin löytämään optimaalisin junakokoonpano eli junassa olevien vaunujen määrä. Lastauspaikkojen ominaisuudet huomioon ottaen pisin juna sai olla enintään 450 metriä pitkä, jolloin suurimmaksi vaunumääräksi sallittiin 20 vaunua. Täten koko junan suurin hyötykuorma oli noin 900 tonnia haketta, joka kiintotilavuudeksi muutettuna tarkoittaa noin 1 200 m³ puuta, ja energiana noin 2 500 MWh polttoainetta (taulukko 10).

Taulukko 10. Simuloinnissa käytetyn junakaluston kuljetuskapasiteetti sekä junasysteemin lastaukseen ja purkuun tarvittavan raiteen pituus skenaariossa 1A simuloitujen kokoonpanojen mukaan.

Osa	Malli	Tilavuus			Taara, t	Netto, t	Brutto, t
		Pituus, m	m ³ _{kehys}	m ³ _{kiinto}			
Veturi	Dual-mode	22,9			83		
Vaunu	Sgn	20,7			19,2		
Kontti	Hake, 1kpl	20 jalkaa	48	19,8	2,95	16,3	19,2
Vaunuja yht	10	230	1440	595,0	364	487,9	576,4
	12	271	1728	714,0	420	585,5	691,7
	15	333	2160	892,6	504	731,9	864,7
	20	437	2880	1190,1	644	975,9	1152,9

Vesitiekuljetusten simulointiajoja toteutettiin yhteensä 26 eri skenaariolla. Määrä oli suuri johtuen kaluston monipuolisista käyttömahdollisuuksista. Koska alusjärjestelmälle ei toteutettu samanlaista vaihtelevan kysynnän skenaariota kuin junajärjestelmälle, ei myöskään kuukausikohtaisella toimitusohjelmalla ollut suurta merkitystä. Vertailun vuoksi taulukossa 11 on esitetty esimerkit kuljetusmääristä kahdessa skenaariossa. Kolme vaihtoproomua säästäisi satamien odotusajoissa niin paljon, että vuotuinen kokonaiskuljetusmäärä tulisi

täyteen 3 kuukautta nopeammin kuin logistiikkamallissa, jossa hinaaja työntää koko ajan yhtä ja samaa proomua.

Taulukko 11. Vesitiekuljetusten kuukausikohtaiset kuljetusvolyymit (t) ja sitä vastaavat energiamäärät (MWh) kahta eri logistiikkamallia noudattavassa simulointivaihtoehdossa, joissa kummassakin hinaajana Parkko ja proomutyypinä Eurooppa IIa.

t	Proomulogistiikat				MWh	Proomulogistiikat			
	Kiinteä proomu		3 proomua			Kiinteä proomu		3 proomua	
kk	Kuus-lahti	Vihta-kanta	Kuus-lahti	Vihta-kanta	kk	Kuus-lahti	Vihta-kanta	Kuus-lahti	Vihta-kanta
Tammi	0	0	0	0	Tammi	0	0	0	0
Helmi	0	0	0	0	Helmi	0	0	0	0
Maalis	0	0	0	0	Maalis	0	0	0	0
Huhti	6370	3877	11147	6784	Huhti	18422	11305	32239	19784
Touko	6370	3877	kuitu	kuitu	Touko	18422	11305	kuitu	kuitu
Kesä	6370	3877	kuitu	kuitu	Kesä	18422	11305	kuitu	kuitu
Heinä	kuitu	kuitu	kuitu	kuitu	Heinä	kuitu	kuitu	kuitu	kuitu
Elo	6370	3877	kuitu	kuitu	Elo	18422	11305	kuitu	kuitu
Syys	6370	3877	11147	6784	Syys	18422	11305	32239	19784
Loka	6370	3877	11147	6784	Loka	18422	11305	32239	19784
Marras	6370	3877	11147	6784	Marras	18422	11305	32239	19784
Joulu	0	0	0	0	Joulu	0	0	0	0
Yht.	44589	27137	44589	27137	Yht.	128954	79137	128954	79137

5.5 Tulokset

5.5.1 Rautatiekuljetuslogistiikka

Vaihtelevan kysynnän simulointiskenaarioissa junakokoonpano oli mitoitettava niin, että kuljetuskapasiteetti riittäisi kiireisempinäkin kuukausina vastaamaan käyttöpaikan kysyntään. Tästä johtuen junan käyttöaste oli varsinkin simulointiskenaariossa 1A huomattavan alhainen, ja seurauksena olivat myös verraten korkeat yksikkökustannukset (taulukko 12). Kuljetuskustannukset olivat tarkastelluista vaihtoehdoista pienimmät 10 vaunun junalla.

Taulukko 12. Kuljetuskustannukset ja käyttöaste eripituisilla junilla simulointiskenaariossa 1A.

Vaunuja	10	12	15	20
Kuljetuksia / vuosi	158	132	105	78
Käyttöaste (%)	30,2	26,7	23,2	19,4
Kuljetuskustannus €/tonni	6,88	6,90	7,09	7,56
Kuljetuskustannus €/MWh	2,41	2,42	2,48	2,65
Muuttuvia kustannuksia (%)	45	41	37	32
Kiinteitä kustannuksia (%)	55	59	63	68

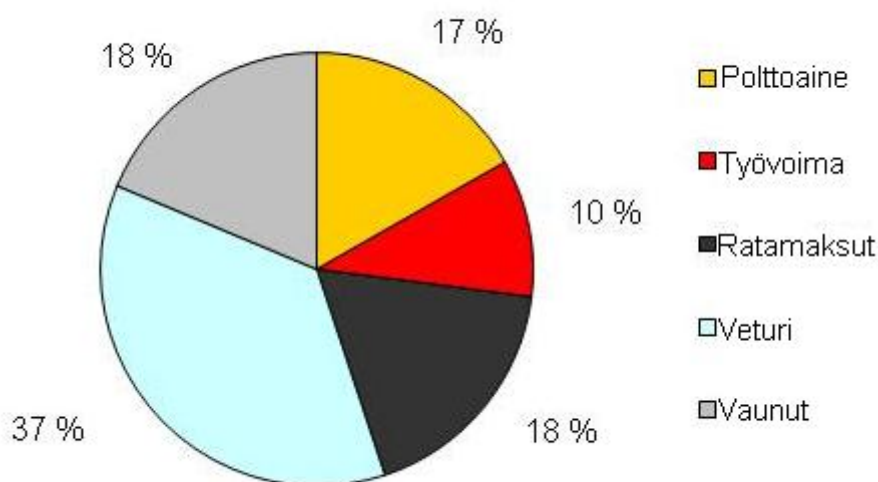
Skenaarioissa 2A ja 3A kuljetettavana oli kaksinkertainen määrä haketta, jolloin simuloinneissa tarkasteltiin myös pidempiä junia. Vaunujen määrä oli optimiajolla 18 kpl, jolloin kuljetuskapasiteetti riitti kattamaan myös tammikuun kuljetustarpeen eli 20 % koko vuoden tarpeesta. Taulukosta 13 näkyy, että kuljetuskustannukset eivät muutu paljon vaikka juna olisi lyhyempikin. Tällöin kuitenkin haketettua polttoainetta jäisi odottamaan terminaalille pidemmäksi aikaa, ja esimerkiksi tammikuun kuljetuksista osa jouduttaisiin ajamaan helmikuulla, jonka osuus vuoden toimituksista oli 16 %.

Taulukko 13. Kuljetuskustannukset ja käyttöaste eripituisilla junilla simulointiskenaarioissa 2A ja 3A.

Vaunuja	15*	16*	18	20
Kuljetuksia / vuosi	210	198	176	158
Käyttöaste (%)	46,1	44,6	41,6	39,2
Kuljetuskustannus €/tonni	4,92	4,93	4,93	5,01
Kuljetuskustannus €/MWh	1,72	1,73	1,73	1,75
Muuttuvia kustannuksia (%)	55	54	51	49
Kiinteitä kustannuksia (%)	45	46	49	51

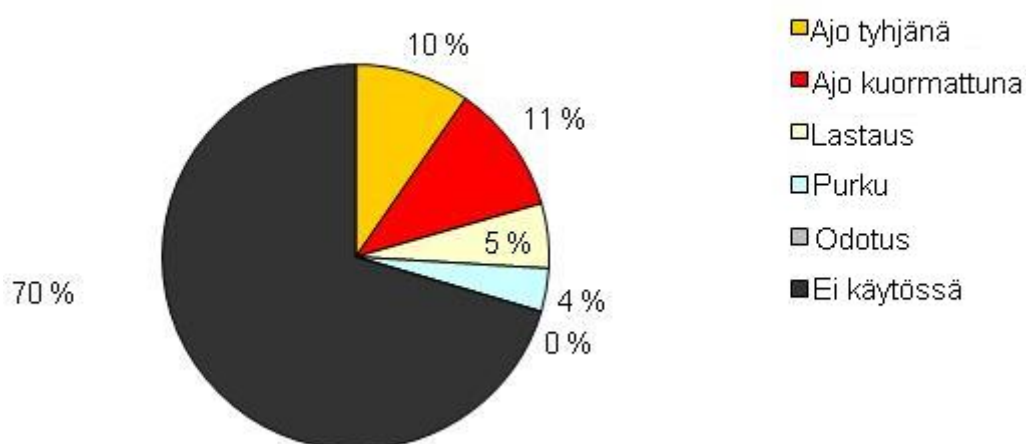
*) vaunumäärä ei riitä kattamaan kokonaan tammikuun toimitustarvetta

Kuvassa 23 on esitetty 10 vaunun junan kustannusrakenne skenaariossa 1A. Kiinteät kustannukset eli kuljetuskalusto kattavat yli 55 prosenttia kustannuksista. Muuttuvat kustannukset jakaantuvat niin, että polttoaineiden eli sähkön ja dieselin kustannukset ovat samaa luokkaa kuin liikennöintimaksujen, ja työvoiman osuus kaikista kustannuksista noin kymmenesosa.



Kuva 23. Kymmenen vaunun junan kustannusrakenne simulointiskenaariossa 1A.

Junan ajankäyttö simulointiskenaariossa 1A, niin ikään 10 vaunun kokoonpanolla, on vaihtelevasta kysynnästä johtuen pääosin toimetonta (kuva 24). Aika, jolloin juna on käytössä, jakaantuu lähes tasan tyhjänä ajon, kuormattuna ajon sekä lastaus- ja purkuvaiheiden kesken. Simuloinnin asetuksiin ei annettu erillistä odotusaikaa, vaan lastaus- ja purkuajat olivat junalle itse asiassa odotusta. Lisäksi junalle tulee ajon aikana varsinkin vilkkailla yksiraiteisilla rataosuuksilla paljon pysähdyksiä, kuten esimerkiksi junakohtaamisia. Tällaiset pysähdykset on kuitenkin huomioitu rataosuuksien keskimääräisissä liikennöintinopeuksissa, eli ne sisältyvät ajoaikoihin.



Kuva 24. Kymmenen vaunun junan ajankäytön jakautuminen simulointiskenaariossa 1A.

Simulointi tasaisella kysynnällä

Tasaisen kysynnän simulointiskenaarioissa 1B-3B junan käyttö tehostui, koska sitä voitiin ajaa ympäri vuoden täytenä. Kysynnän jakautuminen tasaisesti tarkoitti, että sama junakokoonpano pystyi kuljettamaan vuoden aikana yli kaksinkertaisen määrän polttoainetta kuin vaihtelevalla kysynnällä toimiva kuljetusjärjestelmä.

Skenaariossa 1B vuotuisen tarjonnan määrä 95 tonnia voitiin kuljettaa jopa alle 5 vaunun kokoonpanolla. Näin pienellä vaunumäärällä suuri kuljetuskertojen määrä kuitenkin söi kannattavuutta. Yksikkökustannusten kannalta optimaalinen vaunujen määrä oli 9 vaunua (taulukko 14). Junan käyttöaste pysyi kuitenkin edelleen melko alhaisena ollen vain 33 prosenttia.

Taulukko 14. Kuljetuskustannukset ja käyttöaste eripituisilla junilla simulointiskenaariossa 1B. Keskimääräinen kuljetusmatka 342 km.

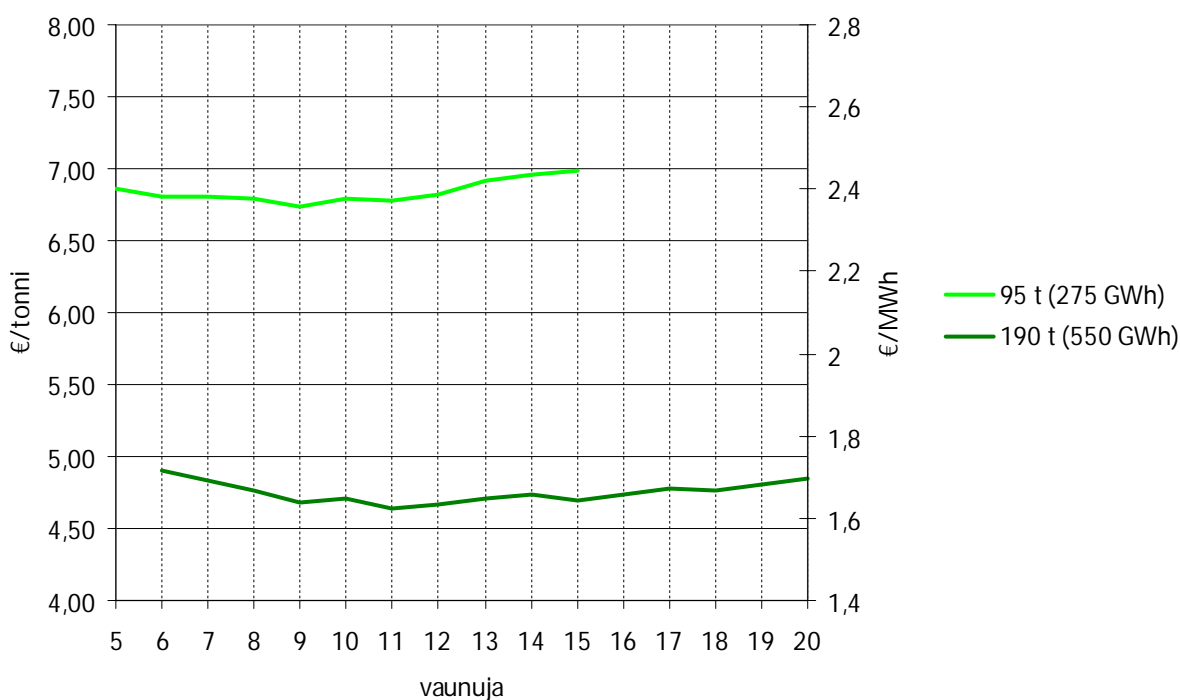
Vaunuja	5	7	9	11	13	15
Kuljetuksia / vuosi	317	227	176	143	121	105
Käyttöaste (%)	52,7	40,3	33,3	28,6	25,6	23,5
Kuljetuskustannus €/tonni	6,86	6,81	6,73	6,78	6,91	6,99
Kuljetuskustannus €/MWh	2,40	2,38	2,36	2,37	2,42	2,45
Muuttuvia kustannuksia (%)	54	50	46	42	39	36
Kiinteitä kustannuksia (%)	46	50	54	58	61	64

Kuljetettavan materiaalin määrän kaksinkertaistuttua myös junan käyttöaste kaksinkertaistui (taulukko 15). Samalla muuttuvien kustannusten osuus oli kannattavimmilla junakokoonpanovaihtoehdoilla (9-15 vaunua/juna) yli puolet kustannusrakenteesta. Kaikista simuloituista skenaarioista edullisin vaihtoehto olisi järjestelmä, jossa 11 vaunun juna toimittaa 190 tonnia haketta käyttöpaikalle tasaisena virtana.

Taulukko 15. Kuljetuskustannukset ja käyttöaste eripituisilla junilla simulointiskenaariossa 2B ja 3B. Keskimääräinen kuljetusmatka 342 km.

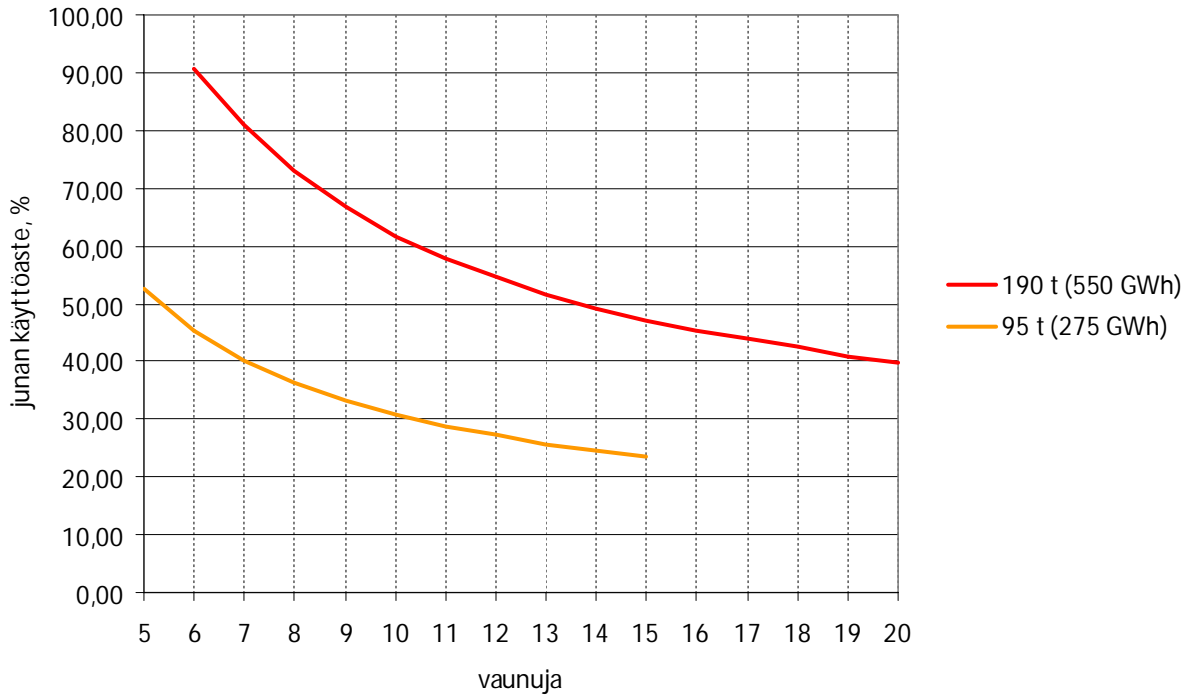
Vaunuja	7	9	11	13	15	17	19
Kuljetuksia / vuosi	455	353	288	243	211	186	166
Käyttöaste (%)	80,8	66,7	57,7	51,4	47,2	43,8	40,9
Kuljetuskustannus €/tonni	4,84	4,68	4,64	4,71	4,70	4,78	4,81
Kuljetuskustannus €/MWh	1,69	1,64	1,62	1,65	1,65	1,67	1,68
Muuttuvia kustannuksia (%)	65	61	58	56	53	51	48
Kiinteitä kustannuksia (%)	35	39	42	44	47	49	52

Kuvassa 25 on esitetty vaunujen määrän vaikutus keskimääräisiin yksikkökohtaisiin kuljetuskustannuksiin tasaisen kysynnän simulointimallissa. Kuten kuvasta näkyy, vaunujen määrällä ei ole niin suurta merkitystä kuin raaka-aineen riittävyydellä lastausterminalilla. Kaksinkertainen kuljetusmäärä laskee keskimääräistä kuljetuskustannusta noin 2 eurolla per tonni tai 70 sentillä per megawattitunti. Laskennassa on käytetty VTT:n ylläpitämän RAILI-tietokannan tietoja, joissa polttoaineen kulutus jaettu painoluokittain. Kuvassa näkyvät ”notkahdukset” johtuvat siitä, että vaunujen määrän lisääntyminen vähentää junan tonnikohtaista polttoaineen kulutusta noin joka kolmannen lisävaunun kohdalla.



Kuva 25. Vaunujen määrän vaikutus kuljetuksen kokonaiskustannuksiin tasaisen kysynnän simulointiskenaarioissa. Ylempi käyrä kuvaa skenaariota 1B ja alempi skenaarioita 2B ja 3B.

Mitä enemmän junassa oli vaunuja, sitä pienemmäksi muodostui junan käyttöaste (kuva 26). Käytännössä junan käyttöaste ei voi olla 100 %, jolloin koko logistiikkaketju ylikuumentuu. Jos tavoiteltava käyttöaste olisi esimerkiksi 60 %, vaadittaisiin lastausterminalien ympäriltä tehokkaampaa hankintaa, sillä 95 tonnin kuljetusmäärillä päästäisiin korkeintaan noin 50 % käyttöasteeseen.



Kuva 26. Vaunujen määrän vaikutus junan käyttöasteeseen tasaisen kysynnän simulointiskenaarioissa. Alempi käyrä kuvaa skenaariota 1B ja ylempi skenaarioita 2B ja 3b.

Rataverkon vaikutus kustannuksiin

Simuloinnin yhteydessä tarkasteltiin tapauskohtaisesti lastausterminaalien sijainnin vaikutusta kokonaiskustannuksiin. Rataverkon ominaisuudet ovat erilaiset varsinkin Kiteeltä suuntautuvissa kuljetuksissa, kun verrataan Savon rataa pitkin tuleviin kuljetuksiin Kiuruvedeltä ja Juankoskelta. Taulukossa 16 verrataan 10 vaunun junan kustannustietoja lastauspaikkakohtaisesti. Teoreettisena oletuksena oli, että 190 tonnin vuotuinen hankinta voitaisiin toteuttaa pelkästään yhden terminaalin kautta. Vertailuun otettiin Juankosken ja Kiteen terminaalit sekä skenaarioiden 2B ja 3B tulokset (kaikki terminaalit).

Taulukko 16. Kuljetusreitit (etäisyys ja rataverkon kunto) vaikutus kuljetuskustannuksiin. Vertailussa 10 vaunun junan käyttöaste ja kuljetuskustannukset simulointiskenaarioissa 2B ja 3B. Oletuksena on, että sama määrä (190 t/550 GWh) haketta kuljetettaisiin käyttöpaikalle joko kaikilta kolmelta terminaalilta, ainoastaan Juankoskelta tai ainoastaan Kiteeltä.

Vaunuja	Kaikki	Juankoski	Kitee
Kuljetuksia / vuosi	317	318	318
Käyttöaste (%)	61.7	62.8	54.0
Kuljetuskustannus €/tonni	4,71	5,00	3,98
Kuljetuskustannus €/MWh	1,65	1,75	1,39
Muuttuvia kustannuksia (%)	60	62	53
Kiinteitä kustannuksia (%)	40	38	47

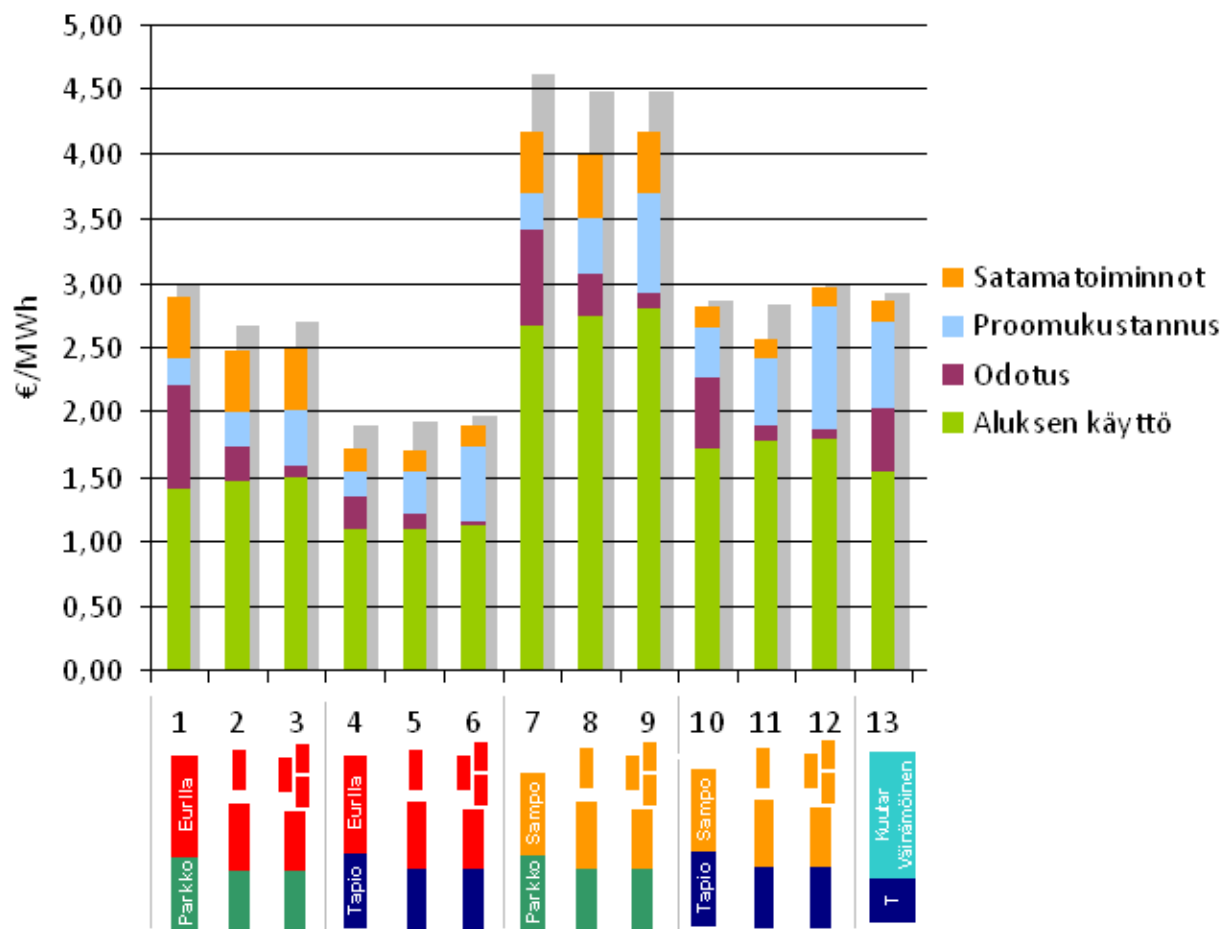
Kuljetuskustannusten kannalta Kitee oli selvästi suosiollisempi lastauspaikka kuin Juankoski. Pääosan kustannusten eroista selittänee Kiteen 87 raidekilometriä lyhyempi etäisyys käyttöpaikalle, mutta sähköistyksen puuttuessa Juankoskelle liikennöinti tuo myös ylimääräisiä kustannuksia dieselvoiman käytön myötä.

5.5.2 Vesitiekuljetuslogistiikka

Metsäpolttoaineen aluskuljetuksen keskimääräiset kustannukset vaihtelivat 1,70 €/MWh ja 4,17 €/MWh välillä, kun proomujen lastaus suoritettiin lähtösatamassa olevalla hihnakuljettimella (kuva 27). Materiaalinkäsittelykoneen käyttö hihnakuljettimen sijaan lisäsi logistiikkakustannuksia 0,05-0,45 €/MWh, koska menetelmä vaati enemmän työvoimaa ja pakotti aluksen noudattamaan lähtösatamien työvuoroja.

Edullisimpia alusyhdistelmiä olivat ne, joissa proomun kuljetuskapasiteetti oli suurin (Eurooppa Iia). Vastaavasti kevyemmän hinaajan (Tapio) käyttö oli kannattavampaa kuin raskaamman Parkon. Alusjärjestelmä, jossa kaksi pienempää proomua (Kuutar ja Väinämöinen) oli kytketty kulkemaan rinnakkain Tapion työntämänä, oli kustannuksiltaan (2,86 €/MWh) logistiikkavaihtoehtojen keskitasoa.

Kolmen vaihtoproomun logistiikka osoittautui useimmilla alusyhdistelmillä kannattamattomammaksi kuin yhden vaihtoproomun logistiikka. Ainoastaan Parkolla ja Eurooppa Iia proomuilla toimittaessa kolmen vaihtoproomun käytöllä oli sama kustannusvaikutus kuin yhden vaihtoproomun käytöllä. Kiinteä proomulogistiikka oli hieman kalliimpi ratkaisu kuin yhden vaihtoproomun logistiikka. Erot olivat kuitenkin melko pieniä verrattuna alus- ja proomutyypin välisiin kustannuseroihin.



Kuva 27. Metsäpolttoaineen vesitiekuljetuksen keskimääräiset kustannukset eri aluskytkye- ja logistiikkavaihtoehtojen mukaan (ks. kuva 21). Harmaat pylväät kertovat kokonaiskustannuksista silloin, kun lastaus tapahtuu materiaalinkäsittelykoneella hihnakuuljettimen sijaan.

5.6 Johtopäätökset

Metsäpolttoaineiden systemaattisen rautatie- tai vesitiekuljetusjärjestelmän käyttöönotto olisi merkittävä ja pitkälle tähtäävä päätös, joka sitoisi suuren määrän pääomaa. Tämän tutkimuksen lähtökohtana pidettiin Kaakkois-Suomen voimalaitosten kasvavan metsähakkeen käytön myötä syntyneitä mahdollisuuksia hankkia ”puuttuvia eriä” rautateitse kauempana sijaitsevilta paikkakunnilta, joilla raaka-ainetta on tarjolla suhteellisen paljon sen nykykäyttöön nähden. Rautatiekuljetusten osalta tutkimus osoitti sen, että polttoaineen hankinnan suunnittelussa olisi ensisijaisesti mietittävä, kuinka saadaan riittävän suuri määrä polttoainetta lastaustermiinaaleille, jotta nopealle junasysteemille olisi riittävästi käyttöä vuoden ympäri. Vesitiekuljetusten osalta käytännön haasteena on liikennöintikauden

katkeaminen energiantuotannon raaka-ainetarpeen kannalta juuri pahimpaan aikaan (kuva 28). Toisaalta, varsinkin puupohjaisten materiaali-jakeiden yhdisteltävyys on proomukuljetuksille selkeä etu.



Kuva 28. Ruumaproomu Sampo odottaa jäiden sulamista Kaukaan satamassa maaliskuussa 2010.

Taulukkoon 17 on kerätty laskennallista kustannustietoa ”perinteisistä” autokuljetuksiin perustuvista kuljetusketjuista. Simuloinneista saatuihin alus- ja junakuljetusketjujen kustannuksiin nähden autokuljetus on selvästi kannattavampaa ainakin alle 100 km etäisyyksillä. Toisaalta, esitetyt luvut ovat melko karkeita yleistyksiä kustannusrakenteesta. Esimerkiksi tienvarsihintaa voi olla korkeakin Kouvolan tai Lappeenrannan ympäristössä, jossa käyttöpaikkoja on useita, ja muualla Suomessa raaka-aineesta voidaan maksaa metsänomistajalle alhaisempaakin korvausta.

Taulukko 17. PäätehakkUILTA kerättävän metsähakkeen (Ht=hakkuutähde, K=kanto) hankintakustannuksia (€/MWh) suurelle voimalaitokselle vesitiekuljetuksiin (Vt), rautatiekuljetuksiin (Rt) ja pelkkiin autokuljetuksiin perustuvilla hankintalogistiikkamalleilla. Vaihtoehtoisia autokuljetusketjuja vertailussa ovat tienvarsihaketusketju (Tv), terminaalimurskausetju (Tr) ja käyttöpaikkamurskausetju (Kp). Terminaalimurskausetjuun sisältyy 10 km hakekuljetus terminaalilta käyttöpaikalle. (Ryymän ym. 2008, Ranta & Rinne 2006, Ranta & Korpinen 2007)

Skenaario	Vt 1	Vt 2	Vt 4	Vt 5	Rt 1A	Rt 1B	Rt 2B	Tv	Tr	Kp
Kuorman sisältämät energiajakeet	Ht K	Ht K	Ht K	Ht K	Ht K	Ht K	Ht K	Ht	Ht K	Ht K
Keskimääräinen autokuljetusmatka, km	25	25	25	25	25	25	38	45	45 (+10)	45
Tienvarsikustannus	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,70	5,80	5,80
Haketus	-	-	-	-	-	-	-	3,20	-	-
Murskaus	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	-	3,40	2,00
Muut kustannukset	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Energiapuuautokulj.	3,40	3,40	3,40	3,40	3,50	3,50	4,00	-	4,10	4,10
Terminaalikulut	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-	1,00	-
Vesitie- tai rautatiekuljetus	2,89	2,47	1,70	1,70	2,41	2,36	1,62	-	-	-
Hakeautokulj.	-	-	-	-	-	-	-	2,70	1,50	-
Yhteensä	18,49	18,07	17,30	17,30	18,11	18,06	17,82	13,60	17,80	13,90

Koostettujen kokonaiskustannusten osalta on otettava myös huomioon, että simuloinneissa oletuksena oli, että alus- ja junakuljetusketjujen terminaalitoiminnot niin lähetys- kuin vastaanottopäässäkin toimivat mutkattomasti. Erityisesti vastaanotto on järjestettävä niin, että kuormien purkaminen on vähintään yhtä tehokasta kuin autokuormien purkaminen. Kuten mm. Enströmin (2009) ja Karttusen ym. (2008) tutkimukset osoittavat, pitkän matkan kuljetusmuotojen kilpailuetu menetetään usein lastaus- ja purkutoimintojen heikkoihin järjestelyihin. Lisäksi haketetun tai murskatun puun varastointi- ja käsittelyalueet vaatisivat lisäinvestointeja tutkimukseen valituille lastausterminaalille. Näitä investointeja ei kuitenkaan ole otettu mukaan itse hankinnan kustannusrakenteeseen.

Kun otetaan huomioon nykyiset kaakkoissuomalaiset voimalaitokset, paikalliset raaka-ainelähteet ja Venäjältä vaihtelevin hinnoin hankittavissa olevat puupohjaiset energiaraaka-aineet (lähinnä puuhake), vaikuttaisi esitelyjen alus- ja junakokonaisuuksien käyttöönotto varsin korkean riskin investoinnilta. Sen sijaan investointi olisi perusteltua, mikäli Kaakkois-Suomen alueelle syntyisi kysyntäpiste, jossa vuotuinen metsähakkeen kysyntä olisi niin huomattava, että alueellisten autokuljetusketjujen kuljetuskapasiteetti ja työvoima eivät enää riittäisi kysyntätarpeen tyydyttämiseksi. Tällainen piste voisi olla esimerkiksi biojalostamo (Imatra) tai polttoainetta ulkomaille välittävä satama (Kotka tai Hamina). Tällöin olisi myös

ilmeistä, että tutkimuksessa tarkastellut kolme lastausterminaalia eivät riittäisi, vaan vastaavia pienehköjä hankinta-alueita tulisi olla Suomessa useita.

6 BIOPOLTTOAINETERMINAALIT KAAKKOIS-SUOMESSA

6.1 Johdanto

Hankkeen ”Terminaalit” –osatehtävässä oli tavoitteena tutkia useampaa energialaitosta syöttävien pienten tai keskisuurten terminaalien perustamisen ja ylläpidon kustannuksia, ja arvioida terminaalitoimintoihin perustuvan hankintaketjun kilpailukykyä suhteessa suoriin autokuljetuksiin perustuviin hankintaketjuihin sekä hankkeessa tutkittuihin pitkän matkan kuljetusmuotojen hankintaketjuihin. Terminaalin toimintaidea perustui hehtaarin kokoisella kentällä käytettävään mobiilimurskaimeen, jonka tehtävänä oli tehdä polttokelpoista haketta suoraan metsästä tulevasta raaka-aineesta.

Tämä osatehtävä jakautui kahteen osaan: 1) Tutkimukseen energiapienpuun terminaalimurskauksesta sekä 2) terminaalitoiminnan logistiseen kustannusanalyysiin. Terminaalimurskaustutkimuksella pyrittiin selvittämään, voidaanko samalla murskaimella tehdä hakkuutähteiden ja kantojen ohella myös pienpuusta energiahaketta, jonka laatu olisi suurimmille metsähaketta käyttäville laitoksille riittävä. Kustannusanalyysillä haluttiin selvittää terminaalitoiminnasta aiheutuvat logistiset lisäkustannukset vaihtoehtoisiiin hankintamenetelmiin nähden Kaakkois-Suomen olosuhteissa.

6.2 Tutkimus energiapienpuun terminaalimurskauksesta

Energiapienpuun terminaalihaketusketjun tutkimus suoritettiin 26.10. – 29.11.2009 Hyötypaperi Oy:n Valkealan biopolttoaineterminaalilla. Tutkimuksessa oli tarkoitus tarkastella nuoren metsän harvennuksista saatavan energiapienpuun terminaalimurskauksen ja terminaalityöskentelyn tuottavuutta sekä polttoaineen laatuominaisuuksia. Lisäksi tutkimuksessa otettiin käyttöön uusia puuaineksen kosteusmittauslaitteita, joiden tuloksia verrattiin standardin mukaiseen uunikosteusmittaukseen. Tutkimuksessa tarkasteltiin energiapienpuuna karsimatonta kokopuuta ja karsittua rankapuuta. Pääperiaate koko- ja rankapuun välillä on se, että hakkuuvaiheessa rankapuusta poistetaan oksat, neulaset, lehdet ja latvukset, mutta kokopuussa ne ovat tallella.



Kuva 29. Energiapienpuun koneellista korjuuta koivikon harvennuskohteella Itissä syksyllä 2009. Kuva: Jarno Föhr.

6.2.1 Aineisto ja menetelmät

Hankintaketjun kuvaus

Terminaalimurskausketjussa energiapuu ohjautuu metsästä terminaaliin, jossa suoritetaan energiapuun murskaus ja mahdolliset jalostamisen työvaiheet. Tämän jälkeen valmis tuote toimitetaan käyttöpaikoille, pienemmille lämpölaitoksille ja suuremmille voimalaitoksille. Hyötypaperi Oy:n terminaalimurskausketjussa energiapuu kuljetetaan usealta tienvarsivarastopaikalta terminaalille Valkealaan rekkakuljetuksilla (kuva 30). Suurin osa puumateriaalista hankitaan paikallisten metsänhoitoyhdistysten kautta. Energiapuuta säilytetään terminaalissa, joten murskaus voidaan suorittaa keskitetysti suurille puumäärille haluttuna ajankohtana. Kaukokuljetus terminaalilta energialaitokselle tapahtuu murskeena.



Kuva 30. Energiapuun purkaminen terminaalikentälle. (Kuva: Jarno Föhr)

Energiapuu murskataan Hyötypaperi Oy:n terminaalilla pääosin urakoitsijoiden toimesta siirreltävillä mobiilimurskaimilla tai vaihtoehtoisesti omalla kiinteällä käyttöpaikkamurskaimella. Valmistu murskettua varastoidaan suurissa aumoissa, jolloin murskeen kaukokuljetukset energialaitokselle voidaan joustavasti toimittaa lyhyellä aikavaruksella.

Energiapuun saatavuus lähialueelta on hyvä ja terminaalikenttää on yli 20 hehtaaria. Terminaalissa toiminta koneiden kanssa on vaivatonta, koska kenttä on asfaltoitu ja maan pettämistä ei tarvitse pelätä. Kasoja on helppo siirrellä koneilla esimerkiksi työntämällä kentän pintaa pitkin. Lisäksi toimitettavaan murskeeseen ei tule käsittelyvaiheissa mukaan niin paljon epäpuhtauksia kuin päällystämättömällä alueella.

Terminaalimurskausketjun vaiheet tutkimuksessa

Energiapienpuu kuljetetaan risu- ja tukkirekoilla terminaaliiin. Energiapienpuuta varastoidaan terminaalilla 3 – 9 kk vuodenaikasta riippuen, jolloin puut ovat kuivuneet sopivaan kosteuspuiteeseen ja ne ovat valmiita murskaukseen. Kuivumisen tavoitekosteuspuiteisuus on n. 30 %, jolloin polttoaine olisi varastointikelpoinen murskeumavarastointia varten, mutta aina siihen ei päästä vaihtelevien sääolojen takia.

Terminaalimurskausketjun tutkimuksessa energiapienpuu tuotettiin metsähakkeeksi siirreltävällä Peterson 4700 B mobiilimurskaimella (kuva 31). Kyseinen mobiilimurskain oli

Biomurskaus Oy:n vaakasyöttöinen, nopeasti pyörivä ja kiinteävasarainen puutavaramurskain. Murskaimen maahantuoja Ideachip Machine Oy ilmoittaa murskaimen maksimikapasiteetiksi 350 i-m³/h. Murskaimen voimanlähteenä oli Caterpillar C16 -moottori, joka tuotti 680 hevosvoimaa.



Kuva 31. Peterson 4700 B.

Tutkimuksessa murskaimen syöttökoneena toimi tela-alustainen kaivinkone (Daewoo Doosan 155 LC-V), joka oli varustettu Logliftin X55 –puukouralla (kuva 32). Murskeiden kuormaus ja aumaus suoritettiin Doosan Daewoo DL300 –pyöräkuormaajalla, jossa oli Siljum Mekanin 7 irto-m³:n kippikauha. Pyöräkuormaaja oli varustettu integroidulla vaakalaitteistolla, jossa oli sähköinen tiedonsiirto internetin välityksellä.



Kuva 32. Vasemmalla kaivinkone syöttökoneena ja oikealla pyöräkuormaaja aumaukseen.

Valmis murske toimitettiin hakerekoilla Hyötypaperi Oy:n asiakasenergiälaitokselle. Murske toimitettiin Kuljetus Kiiskien hakerekoilla, joiden kuljetuskapasiteetti vaihteli välillä (132 – 140) irtom³. Polttoaineen toimitussopimusten mukaisesti hakerekkojen kuljettajat lastasivat itse kuormansa terminaalilla Hyötypaperi Oy:n omistamilla pyöräkuormaajilla (kuva 33). Kaikkien pyöräkuormaajien (Volvo L90) kippikauhan tilavuus oli 8 irtom³. Murske toimitettiin poltettavaksi Vamy Oy:n Myllykosken energiälaitokselle. Hakerekkojen hyötykuormien painot mitattiin erikseen sekä Hyötypaperi Oy:n sekä Vamy Oy:n autovaaioilla.



Kuva 33. Hakerekan lastaus terminaalilla.

Tutkimuksen toteutus

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää harvennusmetsistä saatavan koko- ja rankapuun kulku metsästä aina kattilalle saakka terminaalimurskausketjussa. Koko- ja rankapuuta käsiteltiin erillisinä polttoainemateriaaleina. Kokopuu oli puulajiltaan pääosin kuusta (n. 50 %) ja loput erinäistä lehtipuuta. Rankapuu koostui puolestaan suuremmalta osin männystä (yli 60 %), loppuosa koostui kuusesta ja muusta lehtipuusta. Tutkimukset suoritettiin kummallekin polttoainelajille samalla tavalla.

Tutkimukseen kuuluneet rankapuut oli hakattu vuoden 2009 maaliskuun alussa ja ne oli kuljetettu terminaalille 30.3. – 9.4.2009 välisenä aikana. Rankapuupino oli ladottu pohjois-eteläsuuntaisesti terminaalikentälle. Niiden murskaus suoritettiin 9.11.2009. Murske toimitettiin hakerekoilla Vamy Oy:lle 10. – 11.11.2009.

Myös suurin osa tutkimukseen kuuluneista kokopuista oli hakattu vuoden 2009 maaliskuun alussa, mutta pieni osa oli hakattu huhti- ja kesäkuun aikana. Kokopuu oli lähtöisin peltojen reunametsiköiden hakkuista Iitistä. Kokopuu oli kuljetettu terminaalille 8.7. – 21.7.2009 välisenä aikana. Kokopuupino oli ladottu itä- länsisuuntaisesti terminaalikentälle. Niiden murskaus suoritettiin 26.10.2009. Murske toimitettiin hakerekoilla Vamy Oy:lle 28. – 29.11.2009.

Työn tuottavuuden mittaukset

Energiapienpuu murskattiin Hyötypaperi Oy:n Valkealan terminaalilla. Työntuottavuuden mittaamiseksi murskattiin erilliset tutkimusaumat koko- ja rankapuusta. Kummallekin energiapuun puutavaralajille määritettiin tehotuntuottavuus normaalissa terminaalityöskentelyssä Peterson 4700 B murskaimella. Tutkimusaumojen valmistumiseen käytetty aika kelloitettiin minuutin tarkkuudella huomioiden keskeytykset/tauot. Aumassa olevan polttoaineen paino selvitettiin pyöräkuormaajaan integroidun vaakalaitteiston avulla. Lisäksi tutkimusaumoista toimitetuista hakerekkakuormista saatiin Hyötypaperi Oy:n sekä Vamy Oy:n polttoaineraportit. Raporteissa oli ilmoitettu hakerekkojen hyötykuomien painot, tilavuudet sekä yritysten itse määrittämät kuormien kosteuspitoisuudet ja energiamäärät. Tällöin tutkimuksen aikana saatiin polttoaineiden painotiedot kolmeen kertaan, joten niitä verrattiin keskenään. Edellä mainittujen tietojen perusteella pystyttiin määrittämään murskaimen tehotuntuottavuus.

Murskaimessa käytettiin seulakokoja, jotka määräytyivät energialaitokselle toimitettavan jakeen palakoon mukaisesti. Murskainkammion alhaalla olevat seulat (3 kpl) olivat reikäkooltaan 4 tuumaa. Vastaavasti yläpuolen seulan (vastaterän alapuolella) reikäkoko oli 3 tuumaa. Kuvassa 34 on esitelty murskaimen vaihtoseuloja.



Kuva 34. Murskaimen vaihtoseuloja.

Myös hakerekkojen lastauksen tehotuntuottavuus määritettiin Hyötypaperi Oy:n pyöräkuormaajien osalta. Lastauksen polttoainejakeena käytettiin rankamurskettä, joka ei ollut tutkimusauman rankamurskettä. Hakerekkakuljettajien lastausaikojen kellotuksissa käytettiin apuna Hyötypaperi Oy:n omaa kameravalvontajärjestelmää, sillä metsähakkeen toimitukset terminaalista tapahtuvat pääsääntöisesti viikonloppuisin. Kaikki keskeytykset/tauat huomioitiin 10 sekunnin tarkkuudella. Lastauksen tehotuntuottavuuden tarkastelussa hakerekat lastattiin aina täyteen.

Kosteuspitoisuusmittaukset

Hakerekan kuljettajat ottivat kaikista polttoainekuormista kosteusnäytteen kuormauksen yhteydessä pussiin, jonka kuljettajat toimittivat Hyötypaperi Oy:n kosteusnäytelaboratorioon. Kosteusnäytteet analysoitiin teknisen spesifikaation CEN/TS 14774-2 (uunikuivausmenetelmä) mukaisesti kyseisessä laboratoriossa (kuva 35).



Kuva 35. Vasemmalla kosteusnäytepussi ja oikealla kosteusnäytteet uunikuivauksessa.

Samalla tavalla kuljettaja otti toisen vastaavan kosteusnäytteen jokaisesta toimitetusta polttoainekuormasta niiden purkamisen yhteydessä Vamy Oy:llä. Vamy Oy:n henkilökunta analysoi kyseiset kosteusnäytteet omassa kosteusnäytelaboratoriossa. Näin ollen jokaisesta toimitetusta polttoainekuormasta otettiin kaksi kosteusnäytettä. Tosin Vamy Oy teetti aina kaikista yhden päivän toimituskuormista kokoomakosteusnäytteen, joka edusti kaikkia päivän kuormia. Vamy Oy:n kokoomanäytteiden ja Hyötypaperi Oy:n yksittäisnäytteiden kosteustuloksia verrattiin keskenään.

Polttoaineiden kosteuspitoisuuksia mitattiin myös uusilla vaihtoehtoisilla markkinoilla olevilla mittauslaitteilla murskauksien aikana. Uudet kosteusmittauslaitteet olivat Gann –merkkinen digitaalinen piikkikosteusmittari Hydromette M 2050 puutavaralle ja Farmcomp Oy:n kehittämä Bio Moisture –kosteusmittari hakkeelle (kuva 36). Näiden laitteiden määrittämiä kosteuspitoisuustuloksia verrattiin spesifikaation mukaisen uunikuivausmenetelmän tuloksiin.



Kuva 36. Kosteutta mittaavia laitteita. Vasemmalla Hydromette M 2050 ja oikealla Bio Moisture.

Kosteusmittaukset suoritettiin Hydromette M 2050:llä pelkästään pienpuun runko-osasta, koska mittaus tapahtuu teflonpiikkien kärjestä. Tällöin mitattu kosteuspitoisuus ei sisällä kuorta, lehtiä tai neulasia. Kummastakin tutkimuspolttoaineesta suoritettiin piikkikosteusmittaukset siten, että mitattiin 14 kpl mittauksia pinon sisä- sekä pintaosien rungoista. Pinon sisäosien rungot olivat kuivempia kuin pintaosien rungot. Märempien pintaosien puumääräksi arvioitiin 30 % ja sisäosien puumääräksi 70 %. Tätä suhteutusarviointia käytettiin apuna laskettaessa koko polttoaineaman keskiarvokosteutta Hydromette M 2050:llä.

Bio Moisture –mittarilla kosteuden mittaus suoritettiin suoraan aumasta, jolloin mittarin pistokärki painettiin auman sisään lautasta myöden. Ennen mittausta poistettiin n. 20 cm pintakerros mittauskohdan päältä, jotta murskeaman kosteudeltaan poikkeava pintamateriaali ei vaikuttaisi tuloksiin. Koko tutkimuksen ajan Bio Moisturessa käytettiin asteikonumeroa 1 (hakeasteikko), koska kyseinen asteikko soveltui laitteen kalibrointivaiheen kokeissa parhaiten kyseisille tutkimuspolttoaineille. Kokopuumurskeumasta suoritettiin mittauksia 16 kpl ja rankamurskeumasta 13 kpl. Lopuksi aumoista laskettiin keskiarvokosteus. Bio Moisture –mittarin tulostarkkuutta tarkasteltiin vielä tarkemmin toisessa tutkimuksessa. Bio Moisture –mittarin antamia kosteustuloksia verrattiin uunikuivausmenetelmän kosteustuloksiin. Tarkastelussa mitattiin kummastakin tutkimusaumasta neljästä eri tarkastelukohdasta kustakin 4 kpl laitemittauksia. Jokaiselle tarkastelukohdalle laskettiin neljän laitemittausten perusteella keskiarvokosteus. Sen jälkeen jokaisesta tarkastelukohdasta

otettiin kosteusnäyte pussiin, joka analysoitiin uunikuivausmenetelmällä Hyötypaperi Oy:n kosteusnäytelaboratoriossa. Näitä uunikuivausmenetelmän tuloksia ja laitemittauksen keskiarvokosteuksia verrattiin keskenään.

Toimitettu energiamäärä

Toimitetun energiamäärän laskennassa määräävät tekijät ovat polttoaineen paino, kosteuspitoisuus ja lämpöarvo. Toimitettu energiamäärä määritettiin kolmeen kertaan tutkimuksen aikana. Määritettiin tutkimuksen laskennallinen energiamäärä, jota verrattiin Hyötypaperi Oy:n ja Vamy Oy:n määrittämiin energiamääriin. Tutkimuksen laskennallisen energiamäärän laskennassa käytettiin tutkimusaumoista tapauskohtaisesti määritettyä lämpöarvoa sekä paino- ja kosteustietoja Hyötypaperi Oy:n vaakajärjestelmästä. Hyötypaperi Oy:n ja Vamy Oy:n energiamäärän laskenta perustui yritysten omiin lämpöarvomäärittäyksiin ja polttoaineraporttitietoihin. Vamy Oy:n polttoaineraportista selvisi ainoastaan polttoaineiden päiväkohtaiset keskiarvokosteustulokset, ei yksittäisiä kuormakohtaisia kosteustuloksia. Tämä seikka vaikeutti lopullisten energiamäärien keskinäistä vertailua.

Polttoaineen laatuluokitukset

Tutkimuksessa selvitettiin murskattavien polttoaineiden velvoittavat laatuluokitukset eli palakoko-, kosteus- ja tuhkaluokka. Lisäksi selvitettiin tärkeimmät opastavat laatuluokitukset eli tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (MJ/kg) ja energiasisältö (MWh/i-m³). Murskauksien aikana kerättiin kummastakin tutkimuspolttoaineesta kokoomanäytteet lämpöarvo- ja tuhkapitoisuuden laboratorioanalysointia varten. Kyseinen laboratorioanalysointi suoritettiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston voimalaitostekniikan laboratoriossa.

Palakokoluokitusta varten kerättiin kummastakin polttoainemurskeesta toiset erilliset kokoomanäytteet, jotka analysoitiin teknisen spesifikaation CEN/TS 15149-1 mukaisesti, mutta poikkeuksellisesti käsin lajittelemalla. Polttoaineiden kosteusluokat määritettiin painoon suhteutetuista keskiarvokosteuksista hakerekkakuljettajien Hyötypaperi Oy:lle toimittamista kosteusnäytteistä.

6.2.2 Tulokset

Vallinneet olosuhteet

Koko- ja rankapuu murskattiin tutkimuksessa erillisiin aumoihin Hyötypaperi Oy:llä. Tuolloin sääolosuhteet vaihtelivat, ilman lämpötila oli n. (-3) – 3 °C. Molemmat tutkimusaumat saivat ylleen yhden lumisateen 10.11.2009, jolloin lunta satoi n. 7 cm.

Työn tuottavuudet terminaalilla

Tutkimusaumojen murskaukset onnistuivat ilman konerikkoja tai suurempia keskeytyksiä. Biomurskaus Oy suoritti murskaus- ja aumaustyöt omalla konekalustollaan. Kuvassa 37 on esitetty valmistuneet tutkimusaumat.



Kuva 37. Vasemmalla kokopuumurskauma ja oikealla rankamurskauma.

Liitteessä 2 on esitelty Hyötypaperi Oy:n ja Vamy Oy:n polttoaineraporttien tiedot tutkimusaumojen polttoainekuormista. Polttoaineiden painotiedot määritettiin erikseen Biomurskaus Oy:n, Hyötypaperi Oy:n ja Vamy Oy:n toimesta ennen niiden polttoa. Hyötypaperi Oy:n ja Vamy Oy:n polttoainekuormien autovaakapunnitukset olivat tuloksiltaan lähes identtiset, mutta Biomurskaus Oy:n määrittämät painot jäivät pienemmiksi molempien tutkimuspolttoaineiden osalta. Asiaa selittää kokopuumurskeen kohdalla se, että murske oli varastoituna aumassa terminaalilla yli kuukauden ennen kuin se kuljetettiin polttoon, joten se oli kerännyt itseensä kosteutta. Rankamurske toimitettiin polttoon heti murskauksen jälkeen seuraavana päivänä, joten Biomurskaus Oy:n mittaaman rankamurskeen painon olisi pitänyt olla lähellä muiden toimijoiden mittauksia.

Murskauksen tuottavuutta laskettaessa kokopuumurskeen painotietona oli käytetty Biomurskaus Oy:n määrittämää painoa ja rankamurskeen painotietona Hyötypaperi Oy:n

painotietoa. Rankamurskeen kohdalla huomioitiin, että kolmen hakerekkatoimituksen jälkeen jäljelle jääneeseen aumaan jäi noin kolmen pyöräkuormaajan kauhallisen verran mursketta. Jäljelle jäänyt auma mitattiin erikseen painoltaan (6,20 tn) sekä tilavuudeltaan (24 i-m³) ja siirrettiin tutkimuksen ulkopuoliseen aumaan. Polttoaineiden tilavuustietoina on käytetty Hyötypaperi Oy:n vaakaraportin tietoja. Murskauksen tehoaika, E_0 , kelloitettiin erikseen terminaalikentällä. Polttoaineiden keskiarvokosteudet määritettiin neljän kosteusnäytteen keskiarvona, jotka kerättiin murskauksien aikana. Taulukossa 18 on esitetty Peterson 4700 B:n tuotostietoja tutkimuksessa olleille kokopuu- ja rankamurskeille.

Taulukko 18. Murskaimen tuotostietoja kokopuu- ja rankamurskeelle.

Polttoaine	Tilavuus, i-m ³	Paino, tn	Tehoaika, (E_0) h	Keskiarvo- kosteus, %	Tehotuntuottavuus (E_0),		
					MWh/h	i-m ³ /h	tn/h
Kokopuumurske	1444	334,95	6,75	35,0	161	214	50
Rankamurske	436	87,78	1,93	29,4	159	226	45

Rankamurskeen kosteuspitoisuus oli sama sekä murskausvaiheessa että toimitusvaiheessa, mutta kokopuumurskeen kosteuspitoisuudessa oli suuri ero näiden vaiheiden välillä. Kokopuumurskeen kosteuspitoisuus oli lähes 10 prosenttiyksikköä suurempi toimitusvaiheessa ja tuolloin sen painokin oli paljon suurempi.

Energiamäärän mukainen tehotuntuottavuus oli kokopuumurskeelle 161 MWh/h ja rankamurskeelle 159 MWh/h. Tilavuuden mukaiset vastaavat tehotuntuottavuudet olivat kokopuumurskeelle 214 i-m³/h ja rankamurskeelle 226 i-m³/h. Painon mukaisissa tehotuntuottavuuksissa oli suurin ero, kokopuumurskeelle 50 tn/h ja rankamurskeelle 45 tn/h.

Myös hakerekkojen lastauksen tehotuntuottavuus määritettiin Hyötypaperi Oy:n pyöräkuormaajien osalta. Tutkimuksessa tarkasteltiin kolmen hakerekan lastausta, jolloin kaikki hakerekat pääsivät auman viereen lastauksen ajaksi. Tällöin pyöräkuormaajan lastausmatka oli 15 – 20 m. Kaksi tutkimuksen lastauskerroista suoritettiin samalla hakerekalla (tilavuus 131,8 i-m³) ja kuljettajalla. Kolmas lastauskerta suoritettiin eri kuljettajalla ja hakerekalla (tilavuus 140 i-m³). Lastausmateriaalina käytettiin rankamursketta, jonka kosteuspitoisuus oli 28,4 % (kolmen hakerekkakuorman keskiarvo).

Lastauksen keskimääräinen tehoaika, E_0 , oli 15 min ja 10 s. Tehoaikaan vaikuttivat hakerekkojen tilavuudet sekä kuljettajan lastauskokemus. Tutkimukseen osallistuneilla

kuljettajilla oli monen vuoden kokemus kuljetusalan töistä. Lopullinen tilavuuden mukainen tehotuntuottavuus oli 533 i-m³/h ja vastaavasti painon mukainen tehotuntuottavuus oli 105 tn/h.

Kosteuspitoisuusmittaukset

Liitteessä 2 on esitetty Hyötypaperi Oy:n ja Vamy Oy:n teettämät kosteuspitoisuusmittaukset uunikuivausmenetelmällä tutkimukseen kuuluneista kokopuu- ja rankamurskeista toimitusvaiheessa. Hyötypaperi Oy mittasi kosteuspitoisuuden kaikista toimitetuista yksittäiskuormista, mutta Vamy Oy mittasi keskiarvokosteuspitoisuudet päiväkohtaisista kokoomanäytteistä. Kokopuumurske-kuormia oli 11 kpl ja rankamurskekuormia 3 kpl. Hyötypaperi Oy mittasi kokopuumurskeelle keskiarvokosteudeksi 29,42 % ja Vamy Oy 29,80 %. Rankamurskeelle vastaavat kosteusmittaukset olivat Hyötypaperi Oy:n osalta 44,41 % ja Vamy Oy:n osalta 49,76 %.

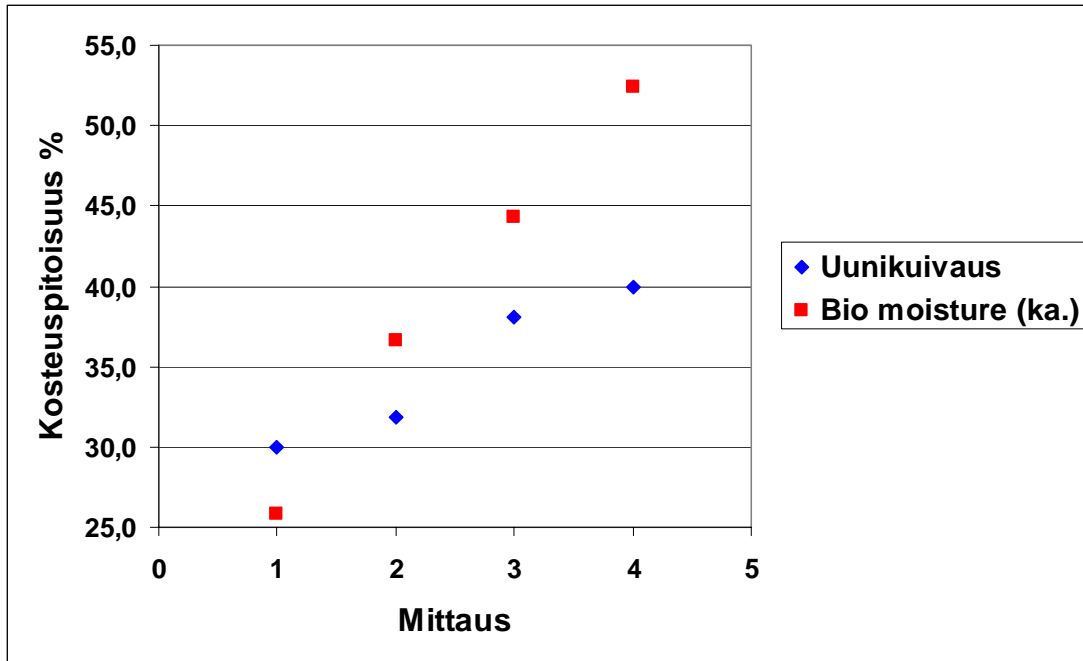
Tutkimuspolttoaineiden kosteuspitoisuuksia mitattiin uunikuivausmenetelmän lisäksi myös vaihtoehtoisilla mittauslaitteilla murskausvaiheessa. Hydromette M 2050:llä mitattiin hakettamattoman energiapienpuun kosteuksia juuri ennen murskausta ja Bio Moisturella mitattiin valmiin murskeen kosteuksia heti murskauksen jälkeen. Taulukossa 19 on esitetty edellä mainittujen mittauslaitteiden keskiarvokosteustuloksia verrattaessa spesifikaation mukaiseen uunikuivausmenetelmän keskiarvotuloksiin. Uunikuivausmenetelmän kosteuspitoisuusarvoina on käytetty murskausvaiheen aikana määritettyjä neljän kosteusnäytteen keskiarvokosteuksia.

Taulukko 19. Tutkimuspolttoaineiden keskiarvokosteuspitoisuudet eri mittausmenetelmillä.

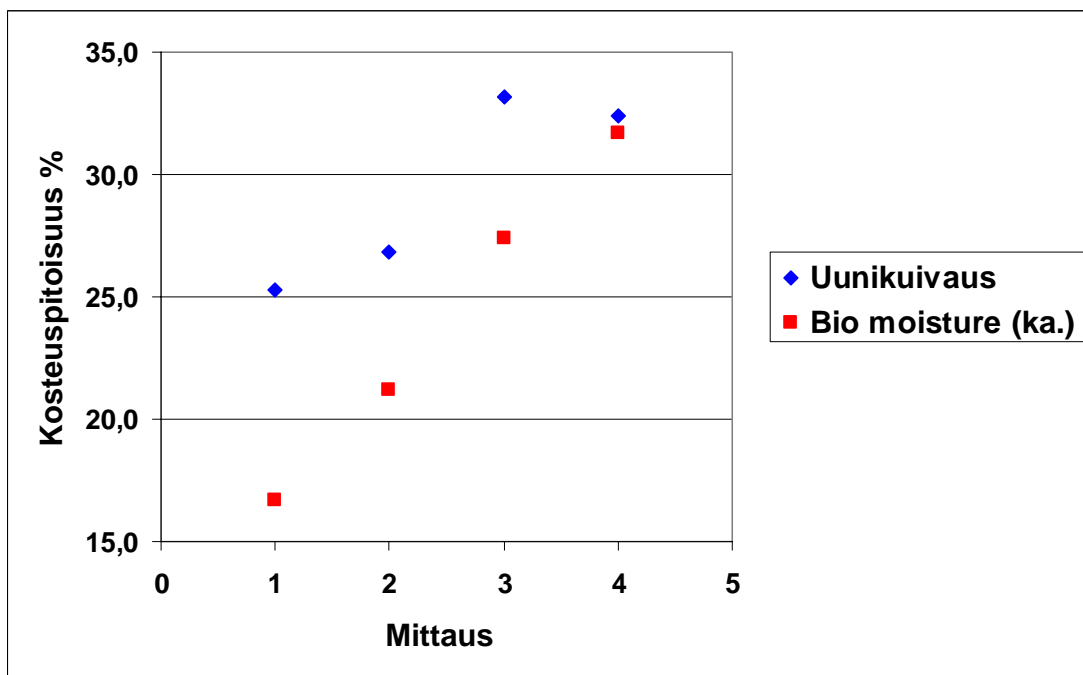
Polttoaine	Uunikuivausmenetelmä	Bio Moisture	Hydromette M 2050
Kokopuumurske	35,0 %	46,3 %	36,8 %
Rankamurske	29,4 %	24,9 %	35,0 %

Kokopuulle soveltui hyvin piikkikosteusmittari Hydromette M 2050, joka antoi mittauksissa 1,8 prosenttiyksikköä suuremman kosteuspitoisuuslukeman kuin spesifikaation mukainen uunikuivausmenetelmä. Hakekosteusmittari Bio Moisture antoi puolestaan 11,3 prosenttiyksikköä suuremman lukeman samalle murskeelle. Rankamurskeelle piikkikosteusmittari antoi n. 5 prosenttiyksikköä suuremman kosteuspitoisuuden ja hakemittari vastaavasti n. 5 prosenttiyksikköä pienemmän kosteuspitoisuuden.

Bio Moisture –mittarilla tarkasteltiin kosteusmittauksen tulostarkkuutta tarkemmin verrattaessa niitä uunikuivausmenetelmän kosteustuloksiin. Kummastakin tutkimusaumasta mitattiin samasta kohtaa kosteuspitoisuuksia uunikuivausmenetelmällä ja Bio Moisture -laitemittauksella. Kuvissa 38 ja 39 on esitetty mitatut uunikuivaustulokset ja vastaavat laitemittauksen keskiarvokosteudet.



Kuva 38. Bio Moisturen keskiarvokosteuksien vastaavuus uunikuivausmenetelmän kosteustuloksiin kokopuumurskeen osalta.



Kuva 39. Bio Moisturen keskiarvokosteuksien vastaavuus uunikuivausmenetelmän kosteustuloksiin rankamurskeen osalta.

Edellä olevien kuvien perusteella voidaan todeta, että Bio Moisture –kosteusmittari toimii hyvin murskeiden kosteuden ollessa 30 – 35 %. Jos murskeiden todellinen kosteuspitoisuus poikkeaa tästä, niin laitemittauksen antama kosteustulos on epäluotettava.

Toimitetut energiamäärät

Tutkimuspolttoaineiden toimitettu energiamäärä määritettiin kolmeen kertaan tutkimuksen aikana (liite 2). Rankamurskeen kohdalla tutkimuksen laskennallinen energiamäärä oli 285,2 MWh. Vastaavasti Hyötypaperi Oy:n määrittämä energiamäärä oli 286,0 MWh ja Vamy Oy:n 283,6 MWh. Rankamurskeelle määritetyt energiamäärät olivat hyvin lähellä toisiaan, koska laskennassa käytetyt paino-, kosteus- ja lämpöarvotiedot olivat eri tahojen osalta lähes identtiset.

Kokopuumurskeen kohdalla energiamäärät poikkesivat toisistaan. Tutkimuksen laskennallinen energiamäärä oli 1044,4 MWh, Hyötypaperi Oy:n 1023,3 MWh ja Vamy Oy:n 897,6 MWh. Energiamäärien suuret poikkeamat johtuivat kosteus- ja lämpöarvoanalyysien eroavista tuloksista. Kokopuumurskeen painomäärät olivat kummallakin yrityksellä lähes samat.

Hyötypaperi Oy käytti laskennassa kokopuumurskeelle samaa lämpöarvoa (teholl. lämpöarvo kuiva-aineessa 18,9 MJ/kg) kuin rankamurskeelle, koska yrityksellä ei ollut vielä omia lämpöarvomäärittäyksiä kokopuumurskeen osalta. Tässä tutkimuksessa tehdyn analyysin mukaan kokopuumurskeella oli suurempi lämpöarvo (19,25 MJ/kg) kuin rankamurskeella, mistä johtuen myös laskennallinen energiamäärä oli selvästi osapuolten laskemia energiämääriä suurempi.

Polttoaineiden laatuluokitukset

Tutkimuksessa selvitettiin kummankin tutkimuspolttoaineen velvoittavat laatuluokitukset, jotka ovat palakoko-, kosteus- ja tuhkaluokka. Lisäksi selvitettiin tärkeimmät opastavat laatuluokitukset eli tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (MJ/kg) ja energiasisältö (MWh/i-m³).

Murskauksien aikana kerättiin molemmista polttoaineista kokoomanäyte pussiin lämpöarvo- ja tuhkapitoisuuden määrittystä varten, joka toimitettiin analysoitavaksi Lappeenrannan teknillisen yliopiston voimalaitostekniikan laboratorioon. Liitteessä 3 on esitetty polttoaineiden lämpöarvo- ja tuhkapitoisuuden analyysitodistukset. Kokopuumurskeen tuhkapitoisuus oli 2,3 painoprosenttia ja tehollinen lämpöarvo saapumistilassa 11,8 MJ/kg. Rankamurskeen vastaavat luvut olivat 0,5 painoprosenttia ja 12,8 MJ/kg. Tällöin kokopuumurske kuuluu tuhkaluokkaan A3.0 ja rankamurske tuhkaluokkaan A0.7.

Kokopuu- ja rankamurskeen kosteusluokat määritettiin painoon suhteutetuista keskiarvokosteuksista hakerekkakuljettajien Hyötypaperi Oy:lle toimittamista kosteusnäytteistä. Kokopuumurskeen toimituksien keskiarvokosteus oli 44,41 %, joten se kuuluu kosteusluokkaan M55, jossa yksittäinen toimitettu polttoainekuorma ei saa ylittää 55 % kosteuspitoisuutta. Rankamurskeen toimituksien keskiarvokosteus oli 29,42 %, joten se kuuluisi kosteusluokkaan M30. Koska rankamurskeen keskiarvokosteus on niin lähellä tätä kosteusluokkaa (M30), niin se nostetaan kosteusluokkaan M40, sillä yksittäisissä kuormakosteuksissa on eroja.

Polttoaineista määritettiin myös energiasisältö (MWh/i-m³), joka saatiin jakamalla polttoaineen energiamäärä sen kokonaistilavuudella (tiedot liitteessä 3). Kokopuumurskeen energiasisällöksi määritettiin 0,72 MWh/i-m³ ja rankamurskeen vastaavaksi 0,69 MWh/i-m³.

Polttoaineista kerättiin myös toiset kokoomanäytteet murskauksien aikana, joista analysoitiin murskeiden palakokoluokat. Taulukossa 20 on esitetty kokopuumurskeen palakokoanalyysin tulokset ja taulukossa 21 rankamurskeen vastaavat tulokset.

Taulukko 20. Kokopuumurskeen palakokoanalyysin tulokset.

Palakoko (mm)	Paino (g)	Osuus (paino-%)	Kumulatiivinen osuus (paino-%)
alle 3,15	59	4,2	4,2
3,15 - 45	629	45,1	49,3
45 - 63	233	16,7	66,0
63 - 100	270	19,3	85,3
100 - 200	181	13,0	98,3
yli 200	24	1,7	100,0
Yhteensä	1396	100,0	100,0

Taulukko 21. Rankamurskeen palakokoanalyysin tulokset.

Palakoko (mm)	Paino (g)	Osuus (paino-%)	Kumulatiivinen osuus (paino-%)
alle 3,15	31	1,7	1,7
3,15 - 45	867	47,4	49,1
45 - 63	345	18,9	68,0
63 - 100	399	21,8	89,8
100 - 200	165	9,0	98,9
yli 200	21	1,1	100,0
Yhteensä	1828	100,0	100,0

Palakokoanalyysien perusteella molemmat polttoaineet kuuluivat palakokoluokkaan P100. Tässä luokassa pääfraktion pitää olla yli 80 painoprosenttisesti palakokoalueella (3,15 - 100) mm ja vain maksimissaan 1 painoprosentti saa ylittää 200 mm palakoon. Kokopuumurskeen analyysissä pääfraktio kuului mitatulle palakokoalueelle 81,1 painoprosenttisesti, mutta 1,7 painoprosenttia ylitti 200 mm palapituuden. Vastaavassa rankamurskeen analyysissä pääfraktio kuului mitatulle palakokoalueelle 88,1 painoprosenttisesti, mutta 1,1 painoprosenttia ylitti 200 mm palapituuden. Noin pienet prosenttiosuuksien ylitykset sallitaan yli 200 mm palakokoon kohdalla, sillä ylityksen aiheutti kummassakin analyysissä vain yksi puupala.

Seuraavassa on eritelty tutkimuksessa olleiden polttoaineiden velvoittavat ja opastavat laatuluokitukset:

Kokopuumurske

Kauppanimike	Puumurske (tuotettu murskaimella)
Alkuperä	1.1.1 Kokopuu
Palakoko	P100
Kosteuspitoisuus	M55
Tuhkapitoisuus	A3.0
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa	11,8 MJ/kg
Energiasisältö	0,72 MWh/i-m ³

Rankamurske

Kauppanimike	Puumurske (tuotettu murskaimella)
Alkuperä	1.1.2 Runkopuu/ranka
Palakoko	P100
Kosteuspitoisuus	M40
Tuhkapitoisuus	A0.7
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa	12,8 MJ/kg
Energiasisältö	0,69 MWh/i-m ³

6.2.3 Johtopäätökset

Tutkimuksessa tarkasteltiin energiapienpuun soveltuvuutta terminaalimurskausketjuun. Energiapienpuuna vertailtiin karsimatonta kokopuuta ja karsittua rankapuuta. Energiapienpuun soveltuvuutta terminaalimurskausketjuun ei ole aikaisemmin liiemmin tutkittu, sillä markkinoilla on ollut ja oletettu olevan tarjolla halvempaa metsäraaka-ainetta päätehakkUILTA. Vuonna 2008 muodostuneen taloudellisen taantumän ja turvepulan myötä metsäteollisuuden sivutuotteiden ja metsähakkeen kysyntä sekä tarjonta kokivat huomattavia heilahteluja. Metsähakkeen käyttöpaikkahinnat ovat nousseet tehden mahdolliseksi energiapienpuun hankinnan terminaalien kautta suurille voimalaitoksille.

Terminaalimurskauksessa valmistettu rankamurske toimitettiin heti polttoon murskauksen jälkeen, mutta kokopuumursketta jouduttiin varastoimaan aumassa yli kuukauden ennen kuin se toimitettiin energialaitokselle. Kokopuumurskeen kosteuspitoisuus oli 35,0 % murskauksen jälkeen, mutta toimituksien aikana jo 44,4 %. Tämä lähes 10 prosenttiyksikön korkeampi kosteuspitoisuus tarkoittaisi tutkimuksessa olleen kokopuumurskeen energiamäärän pienenemistä n. 40 MWh:lla (1084 -> 1044 MWh). Laskennallinen menetys polttoaineen toimittajalle olisi 748 € tilastoituun kolmen kuukauden liukuvaan keskiarvohintaan (18,7 €/MWh, lokakuu 2009) peilaten. Rankamurskeen kosteuspitoisuus pysyi samana murskaus- ja toimitusvaiheessa ollen 29,4 %.

Terminaalityöskentelyn tuottavuuksia laskettiin sekä murskaukselle että hakerekan lastaukselle pyöräkuormaajalla. Kokopuun ja rankapuun murskauksen tuottavuudessa oli eroja riippuen siitä, mitä yksiköitä tarkasteltiin. Murskauksessa energiamäärän ja tilavuuden mukaiset tehotuntuottavuudet olivat lähes yhtäläiset kokopuun (214 i-m³/h, 161 MWh/h) ja rankapuun (226 i-m³/h, 159 MWh/h) välillä. Suurin ero oli painon mukaisissa tehotuntuottavuuksissa, jossa rankapuun (45 tn/h) murskaustuottavuus oli n.10 % alhaisempi verrattuna kokopuuhun (50 tn/h). Syynä oli rankapuun (29,4 %) n. 6 prosenttiyksikköä alhaisempi kosteus murskausvaiheessa verrattuna kokopuuhun (35,0 %). Rankamurske ei tiivistynyt myöskään niin hyvin kuin kokopuumurske, sillä se ei sisällä hienoaainesta kuten lehtiä ja neulasia. Murskausyrittäjälle suoritetaan maksu yleensä murskauksen jälkeisen painon perusteella, joten terminaaliryrittäjän on edullisinta tilata murskaus kuiville polttoainemateriaaleille niiden kevyemmän painon vuoksi. Kustannussäästö rankapuun murskauksessa oli n. 10 % verrattuna kokopuumurskeeseen. Kuivaa rankapuuta voidaan

suositella terminaalipuuksi ainakin edullisemmän murskauksen näkökulmasta. Toisaalta kannattavuutta pitää tarkastella koko toimitusketjun osalta.

Pyöräkuormaajalla suoritettu hakerekan lastauksen tilavuuden mukainen tehotuntuottavuus oli 533 i-m³/h ja vastaavasti painon mukainen tehotuntuottavuus oli 105 tn/h. Lastauksen tehotuntuottavuus määritettiin ainoastaan rankamurskeelle. Rankamurskeen tilavuuden mukainen tehotuntuottavuus oli lastauksen osalta 2,4 kertaa nopeampi kuin murskauksen vastaava tehotuntuottavuus. Jos hakereka täytettäisiin pyöräkuormaajalla lastaten tai suoraan murskaimen hihnalta syöttäen, niin pyöräkuormaajalla lastaten hakereka olisi huomattavasti nopeammin täynnä.

Tutkimuspolttoaineiden kosteuspitoisuuksia mitattiin erilaisilla reaaliaikaisilla mittauslaitteilla murskausvaiheen aikana. Tutkimuksen perusteella piikkikosteusmittari Hydromette M 2050 soveltui hyvin kokopuun kosteusmittauksiin. Sen sijaan hakekosteusmittari Bio Moisture antoi kokopuumurskeelle jopa yli kymmenen prosenttiyksikköä suuremman kosteusarvon kuin spesifikaation mukainen uunikuivausmenetelmä. Vastaavasti piikkikosteusmittarin kosteusarvo oli vain vajaa kaksi prosenttiyksikköä suurempi samalle polttoaineelle. Rankamurskeelle molempien kosteusmittarien kosteusarvot poikkesivat noin viisi prosenttiyksikköä. Tarkemmassa tarkastelussa huomattiin, että hakekosteusmittari soveltui tutkituille murskeille vain 30 – 35 % kosteuspitoisuusalueella. Muilla kosteuspitoisuusalueilla hakekosteusmittari oli epäluotettava. Reaaliaikaisen kosteusmittauksen luotettavuuteen liittyy vielä paljon epävarmuustekijöitä. Reaaliaikaisella kosteusmittauksella voidaan kuitenkin saada suuntaa antavaa ennakkotietoa, missä vaiheessa haketus tai murskaus ja materiaalin luovutus voisi olla kannattavinta toteuttaa.

Rankamurskeen toimitetun energiamäärän laskennassa Hyötypaperi Oy:n ja Vamy Oy:n määrittämät energiamäärät olivat yhtäläiset, kun niitä vertasi tutkimuksen laskennalliseen toimitettuun energiamäärään. Sen sijaan toimitetun kokopuumurskeen energiamäärien laskennassa oli eroja. Tutkimuksen laskennalliseen energiamäärään verrattuna Hyötypaperi määrittäi 21,1 MWh pienemmän energiamäärän. Vamyn määrittäminen oli 146,8 MWh pienempi. Hyötypaperin määrittämän energiamäärän ero verrattuna tutkimuksen laskennalliseen energiamäärään johtui pelkästään laskennassa käytetystä pienemmästä lämpöarvosta. Vamy

Oy:n suuri energiamäärän ero verrattuna tutkimuksen laskennalliseen energiamäärään johtui sekä alhaisen lämpöarvon että korkeamman kosteuspitoisuuden määrityksestä.

Metsäpolttoaineiden ostoon ja myyntiin keskittyneen liiketoiminnan ollessa vielä verraten nuorta on tyypillistä, että myös ominaisuuksiltaan muuttuvan tuotteen laadun mittaamisen tarkkuus vaihtelee tapauksittain. Tämän tutkimuksen toimituseristä voimalaitos seurasi polttoaineen laatua (kosteus) huomattavasti harvemmin kuin polttoaineen toimittaja. Polttoaineen toimittajan perusteena tarkempaan seurantaan on seurata ja kehittää terminaalin sisäistä laadunhallintaa, jotta terminaalin kautta kiertävästä materiaalista saataisiin mahdollisimman paljon taloudellista hyötyä irti. Polttoainetta ostavalla voimalaitoksella ei samanlaisia intressejä ole, mutta näytteiden otto nykyistä useammin saattaisi olla perusteltua myös voimalaitoksen oman laaduntarkkailun kannalta.

Tutkimusmurskeiden laatuluokituksissa oli eroja. Molemmat murskeet kuuluivat palakokoluokkaan P100, joten ne eivät aivan soveltuisi polttoon pienemmille polttolaitoksille, jotka vaativat palakokoluokan P63. Ongelman voisi ratkaista murskaimen pienemmillä seulakokoilla. Kosteuspitoisuuden puolesta rankapuu soveltuisi paremmin pienemmille polttolaitoksille, joissa vaaditaan alle 40 % kosteuspitoisuuksia. Rankamurskeen etuna on vielä pienempi tuhkapitoisuus (0,5 p-%) verrattuna kokopuumurskeeseen (2,3 p-%). Toimitusvaiheessa kokopuumurskeella (0,72 MWh/i-m³) oli hieman suurempi energiasisältö kuin rankamurskeella (0,69 MWh/i-m³). Ero johtui rankamurskeen huonommasta tiiviyydestä sekä alhaisemmasta irtokuutiopainosta. Tutkimuksen perusteella rankamursketta voitaisiin kuljettaa energialaitoksille paljon suuremmilla hakerekoilla, sillä esimerkiksi täysi 140 i-m³ hakerekka jää n. 7 tn sallitusta 60 tn yhdistelmän painorajasta. Tiivistämismenetelmien kehittämällä tai jalostusasteen nostamisella voitaisiin pyrkiä lisäämään kuljetuksen energiatiheyttä.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että energiapienpuulla on mahdollisuuksia ohjautua osittain terminaalien kautta turvaten voimalaitoksien saatavuutta suurimittakaavaisessa hankinnassa. Tämä edellyttää kuitenkin saumattoman toimitusketjun optimointia tienvarsihaketus- ja terminaalmurskausketjujen välillä. Kaakkois-Suomessa tilanne on sikäli erikoinen, että Hyötypaperi on kyennyt tekemään metsäpolttoaineiden välityksestä kannattavaa liiketoimintaa alueella, jossa lähellä sijaitsevat suuret voimalaitokset kilpailevat samasta raaka-aineesta sekä keskenään että terminaalin kanssa. Toisaalta, alueella (ml. Etelä-

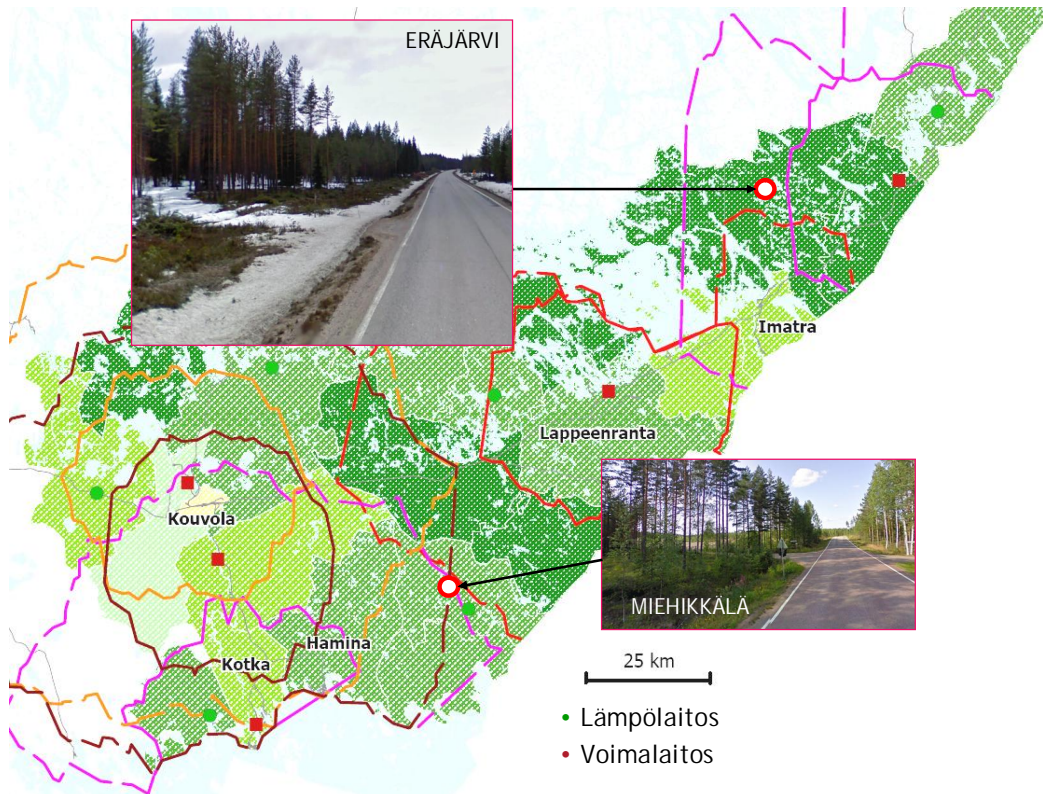
Karjala) nopeasti kasvanut raaka-aineen tarve on johtanut siihen, että vastaavanlaiselle toiminnalle olisi edellytyksiä myös kauempana sijaitseville ns. satelliittiterminalleille. Tällöin yhden terminaalien kautta kulkevat polttoainevolyymit olisivat huomattavasti pienempiä ja mahdollisesti enemmän riippuvaisia vain yhden suuren kysyntäpisteen kysynnän vaihtelusta. Seuraavassa kappaleessa tehdään maantieteellistä tarkastelua siitä, missä tällaisten terminaalien toiminta olisi raaka-aineen saatavuuden ja kuljetusetäisyyksien perusteella kannattavinta, ja millaisia investointeja terminaalit edellyttäisivät. Pienpuun murskaus on ns. perinteisten menetelmien ohella yksi kannattavuuslaskelmissa huomioitava käsittelyvaihtoehto.

6.3 Terminaalitoiminnan logistinen kustannusanalyysi

6.3.1 Terminaalien sijainnit

Case-tyyppisen tarkastelun terminaalipaikat valittiin niin, että ne sijaitsisivat mahdollisimman lähellä alueita, joilla raaka-ainetarjontaa on kysyntään nähden eniten. Jo aiemmin raaka-aineen saatavuusanalyysissä (kappale 2) havaittiin, että kaakkoinen Kymenlaakso ja Etelä-Karjalan koillisosat olivat tällaisia alueita. Valintakriteereistä seuraava oli liityntämahdollisuus terminaalilta liikennöintikelpoiselle asfaltoidulle maantielle. Kolmantena kriteerinä oli arvioitujen maanrakennuskustannusten minimointi, eli tasaiset ja vähän routivat maat olivat etusijalla.

Terminaalipaikoista toiseksi valittiin noin 5 km Miehikkälän kirkonkylältä luoteeseen sijaitseva 1,5 hehtaarin kokoinen kenttä, jolta on liityntäyhteys seututielle 384. Ympäristö on tasaista mäntykangasmaastoa. Toinen paikka löytyi Ruokolahden Eräjärveltä, vastaavanlaisesta maastosta seututien 438 varresta. Terminaalien sijainnit ja tieliitännät on esitetty kuvassa 40.



Kuva 40. Tarkasteluun valitut potentiaaliset terminaali-alueet ja Kaakkois-Suomen suurimpien metsähaketta käyttävien laitosten sijainnit. Voimalaitosten 30 km ja 60 km hankinta-alueiden rajat on esitetty katkoviivoin. Vihreän värin sävy kuvaa kuntien metsävaroja. Metsäisimmät alueet on esitetty tummimmalla sävyllä. Kartan kuntajako on vuodelta 2008. Valokuvat: © Google 2010.

Taulukossa 22 on esitetty maantie-etäisyyksiä valituilta terminaali-alueilta suurimmille metsähakkeen käyttöpaikoille. Kaakkois-Suomen käyttöpaikkojen lisäksi mukana on myös Savonlinnan voimalaitos, jonne on Eräjärven terminaalilta alle 100 kilometrin ajomatka. Taulukossa esitetyt kustannukset ovat kyseiselle ajovälille laskettuja kuljetuskustannuksia 120 m³ hakeautolle (kuva 12). Rannan & Rinteen (2006) esittämiin hakeauton kustannuksiin on tehty n. 14 % indeksikorotus.

Taulukko 22. Suurimpien voimalaitosten etäisyydet terminaaleilta ja kuljetuskustannus hakeautolla.

Maantie-etäisyyksiä käyttöpaikoille, km

Miehikkälä	laitos	km	€/MWh
30			
35			
40			
45			
50			
55			
60			
65			
70	Kotka	68	3,50
75	Lappeenranta	72	3,62
80			
85	Anjalankoski	82	3,93
90	Kuusankoski	87	4,08
95			

Eräjärvi	laitos	km	€/MWh
30			
35			
40			
45			
50			
55	Simpele	55	3,10
60			
65			
70	Lappeenranta	66	3,44
75			
80			
85			
90			
95	Savonlinna	91	4,21

6.3.2 Terminaalien koko ja palvelutaso

Terminaalien oletettu tehtävä oli hankkia, jalostaa ja toimittaa metsähaketta pääasiassa suurimmille laitoksille. Terminaalikohtainen materiaalityöntö oli 100 GWh haketta, joka tarkoittaa noin 45 000 m³ vuotuista puunhankintaa. Terminaalin oletettu koko oli 1 hehtaari, mikä tekisi mahdolliseksi melko suuren puumäärän pidempiaikaista varastointia silmällä pitäen. Oletuksena oli myös, että koko hehtaarin alue asfaltoitaisiin, jolloin voitaisiin taata lähtevien hakekuormien hyvä laatu.

Kummallekin terminaalille käytettiin samoja laskentaperusteita, kun arvioitiin terminaalinvestoinnin vaikutusta hakkeen toimituksen kustannusrakenteeseen (taulukko 23). Tiedossa ei ollut tarkasteltavien kohteiden maanomistustietoja eikä alueellisia tilastoja myytyjen metsäkiinteistöjen hinnoista. Terminaalin tasaus- ja päällystystyölle käytettiin suhteellisen alhaista 20 €/m² kustannusta, koska kyseessä olivat maanrakennuksen kannalta helpot kohteet. Terminaalin investoinnin lisäksi terminaalikuluihin laskettiin mukaan terminaalin ylläpitokulut sisältäen pyöräkuormaajan käytön. Nämä yhteen laskettuna arvioitiin olevan 75 senttiä/MWh.

Taulukko 23. Tutkimuksessa käytetyn terminaalin perustamis- ja ylläpitokustannusten laskentaperusteet.

Terminaalikenttä		
Pinta-ala	1	ha
Maan hinta	5 000	€
Päällystys	200 000	€
Poistoaika	15	vuotta
Korko	10	%
Läpivirtaus	100	GWh
Investointikustannus	0,25	€/tuotettu MWh

6.3.3 Raaka-aineen jalostuksen kustannukset

Raaka-aineen hakkeeksi jalostamisen oletettiin tapahtuvan nopeakäyntisellä mobiilimurskaimella. Pienpuun terminaalimurskauksen tuottavuustutkimuksen tuloksia hyödynnettiin arvioitaessa murskaimen kustannuksia eri energijakeille yhdistettynä. Murskaimen käyttökustannuksia arvioitaessa käytettiin alalla konsulttina toimineen Samuli Rinteen tuottavuuslaskelmia. Pienpuun murskaaminen oli raaka-aineen rakenteesta johtuen tehokkainta. Hakkuutähteen murskaamisen arvioitiin olevan n. 10 % ja kantojen n. 25 % pienpuun murskaamista hitaampaa (taulukko 24).

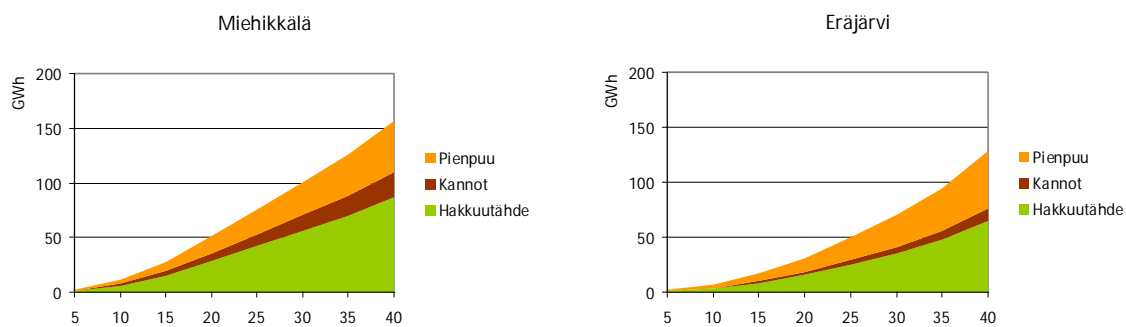
Taulukko 24. Erilaisiin tuottavuuslukuihin perustuvat arviot murskaamisen kokonaiskustannuksista. Yksikkö on senttiä/MWh valmista murskettä.

Murskelaji	pienpuu	hakkuutähde	kanto
Pääoman poisto ja korko	75	83	100
Vakuutukset	2	2	3
Työvoima	40	44	53
Hallinto	6	7	8
Terät ja seulat	15	17	20
Muut huolto	15	17	20
Käyttöenergia	52	58	69
Odottamaton	10	11	13
Yhteensä	215	239	287

6.3.4 Raaka-aineen saatavuus

Raaka-aineen saatavuus laskettiin samasta aineistosta kuin koko alueelle laskettu metsäpolttoainepotentiaali. Laskennassa käytetyt muuntokertoimet puuaineksen energiasisällölle olivat hakkuutähteellä 2,10 MWh/m³, kannoilla 2,30 MWh/m³ ja pienpuulla 2,12 MWh/m³. Teknis-taloudellista korjuupotentiaalia rajattiin metsänomistajien

tarjontahalukkuudella (Mynttinen ym. 2010), joka oli hakkuutähteellä 75 %, kannoilla 50 % ja pienpuulla 80 %. Lisäksi laskennassa käytettiin 50 % ja 100 % markkinaosuuskertoimia. Viidenkymmenen prosentin kerroin tarkoittaa, että potentiaalista puolet on energiapuusta käytävän kilpailun takia terminaalin hankinnan saavuttamattomissa ja 100 % sitä, että terminaalin hankinnalla olisi alueellinen monopoli. Kuten kuvasta 41 käy ilmi, 50 % markkinaosuudella Miehikkälän terminaalille riittäisi 30 km ja Eräjärven terminaalille hieman yli 35 km hankintasäde kattamaan vuotuiset materiaalintarpeet. Teoreettisella 100 % markkinaosuudella hankintasäteet olisivat n. 10 kilometriä lyhyempiä. Raaka-aineen saatavuuden kannalta Miehikkälän terminaali oli Eräjärven terminaalia paremmalla paikalla.



Kuva 41. Raaka-aineiden saatavuus (GWh) terminaaleihin maksimihankintasäteen (km) mukaan, kun terminaalin on oletettu saavan 50 % alueellisen markkinaosuuden puukaupoista.

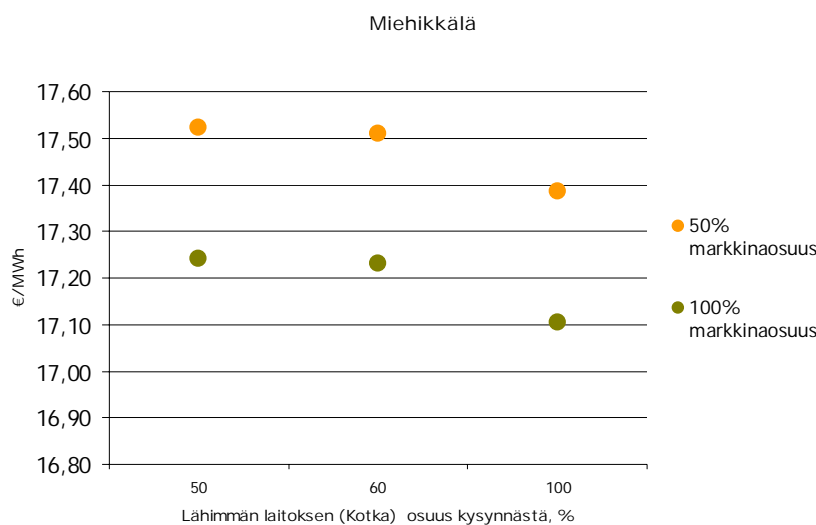
6.3.5 Kysyntäsuunnat ja -vaihtoehdot

Terminaaleille määrättiin pääsuunnat, joista kysyntä pääasiassa koostuisi. Laitokset kuljetusetäisyyksineen on esitetty taulukossa 22. Laskennassa tehtiin herkkyytarkastelua vaihdellen laitosten osuutta terminaalille kohdistuvasta kysynnästä. Kaikissa vaihtoehdoissa oletuksena oli kuitenkin, että terminaali myy mukaan huomioituille laitoksille vuoden aikana yhteensä 100 GWh haketta. Yhdessä vaihtoehdossa terminaali myi kaiken hakkeen lähimmälle laitokselle, mikä tarkoitti kustannuksiltaan edullisinta toimitusmallia.

6.3.6 Tulokset

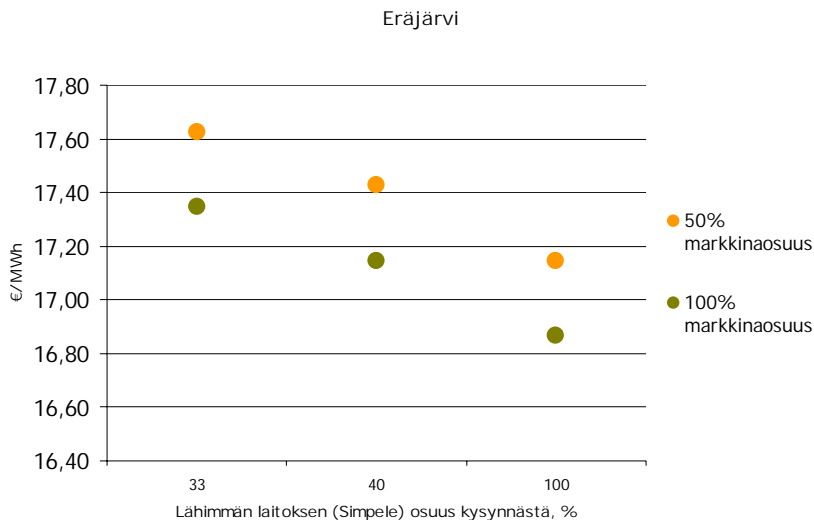
Terminaalitoimintoihin perustuvan metsähakkeen hankintaketjun kokonaiskustannukset vaihtelivat 16,9 €/MWh ja 17,5 €/MWh välillä riippuen terminaalien sijaintivaihtoehdosta, raaka-ainehankinnan markkinaosuudesta sekä kysynnän rakenteesta. Luvut sisältävät raaka-aineen tienvarsihinnan, joka oli kaikissa laskentavaihtoehdoissa 5,70 €/MWh.

Kuvassa 42 on esitetty Miehikkälään suunnitellun terminaalien ja kuvassa 43 vastaavasti Ruokolahden Eräjärvelle suunnitellun terminaalien hankinta- ja toimitusketjun kustannukset. X-akseleilla näkyy terminaalista lähimpänä sijaitsevan suuren laitoksen suhteellinen osuus terminaalille kohdistuvasta vuotuisesta kysynnästä. Esimerkiksi Miehikkälän terminaalilta ensimmäisen kysyntämallin mukaan toimitettaisiin Kotkaan 50 GWh ja toisen mallin mukaan 60 GWh haketta. Kaikkien laskentavaihtoehtojen mukaiset toimitusmäärät keskimääräisine toimituskustannuksineen käyvät ilmi liitteestä 4.



Kuva 42. Miehikkälän terminaalien raaka-ainehankinnan, terminaalitoimintojen ja haketoimitusten yhteenlasketut kustannukset.

Eräjärven terminaalilta kuljetusmatkat laitoksille olivat pidempiä kuin Miehikkälästä, mistä johtuen toimituskustannukset olivat pääsääntöisesti korkeammat. Kolmas toimitusvaihtoehto (kuva 42) on teoreettinen, sillä Simpeleen vuotuinen metsähakkeen käyttö on aina ollut alle 100 GWh.



Kuva 43. Eräjärven terminaalin raaka-ainehankinnan, terminaalitoimintojen ja haketoimitusten yhteenlasketut kustannukset.

6.3.7 Johtopäätökset

Tämän case-tarkastelun mukaan metsäpolttoainetta 100 GWh vuodessa hankkivalle ja jakelevalle terminaalirytykselle liiketoiminta ei ole kannattavaa, jos verrataan metsähakkeen edullisimpiin hankintatapoihin: hakkuutähteen tienvarsihaketusketjuun tai lyhyillä hankintaetäisyyksillä käyttöpaikkahaketusketjuun. Lisäksi 100 GWh on jo niin suuri määrä polttoainetta, että toimitusmäärää vastaavien toimitussopimusten kokoaminen voi yksittäiselle terminaalirytykselle olla ylipääsemätön haaste. Suurimpana syynä on, että nykyisten metsähaketta käyttävien suurten laitosten raaka-ainehuolto toimii nykyisellään vähintäänkin kohtuullisesti eikä esitelty terminaalimalli tuo välttämättä riittäviä lisähyötyjä mahdollisten asiakkaiden toimintaan.

Liiketoimintamalliltaan toisenlainen, osakeyhtiömuotoinen terminaali voisi olla soveltuvampi ratkaisu, mikäli terminaalirytyksen osakkaiksi saataisiin tapaustarkastelussa huomioituja käyttöpaikkoja edustavat yritykset.

7 LISÄÄNTYVIEN METSÄPOLTTOAINEKULJETUSTEN TYÖLLISYYS- JA YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

7.1 Tausta

Metsäpolttoaineiden käytön lisäyspaineet aiheuttavat haasteita raaka-ainehuollossa tarvittavan työvoiman hankinnalle ja toisaalta johtavat raaka-aineen kuljettamisesta aiheutuvien ympäristöhaittojen lisääntymiseen. Valtakunnan tasolla metsähakkeen käytön kasvattaminen vuodesta 2009 vuoteen 2020 mennessä lisäisi metsähakkeen tuotannon työvoimatarvetta 2100–3000 henkilötyövuodella, jos metsähakkeen käyttö olisi 20-25 TWh vuonna 2020 (Kärhä ym. 2010). Vastaavasti kone- ja kuljetuskalustoa olisi kasvatettava vajaasta 600:sta 1500-1900 kone- ja kuljetusyksikköön. Tähän ongelmaan liittyen pyrittiin selvittämään vastaava tilanne Kaakkois-Suomessa. Millaiset ovat polttoaineen hankinnan työllisyysvaikutukset nykyään sekä työvoimantarpeet kysynnän lisääntyessä? Entä missä määrin lisääntyvät hankintaketjujen ilmastovaikutukset, kun raaka-ainetta joudutaan kuljettamaan entistä pidempiä matkoja?

7.2 Hankintaketjujen työvoiman tarpeet

7.2.1 Aineisto ja menetelmät

Raaka-aineen kysynnästä luotiin kolme ennustetta, joista ensimmäisessä kokonaiskysyntä vastasi taulukossa 6 esitettyjen laitosten yhteenlasketun käyttöpotentiaalin alarajaa (890 GWh) ja toisessa ylärajaa (1 400 GWh). Kolmannessa ennusteessa peilattiin metsähakkeen tuotantotarvetta vuonna 2020 (Kärhä ym. 2009) Siinä Kaakkois-Suomen kokonaiskysyntä oli 2 400 GWh, joka vastaa noin kolminkertaista metsähakkeen määrää vuosien 2007-2009 toteutuneisiin käyttömääriin nähden (Ylitalo 2009).

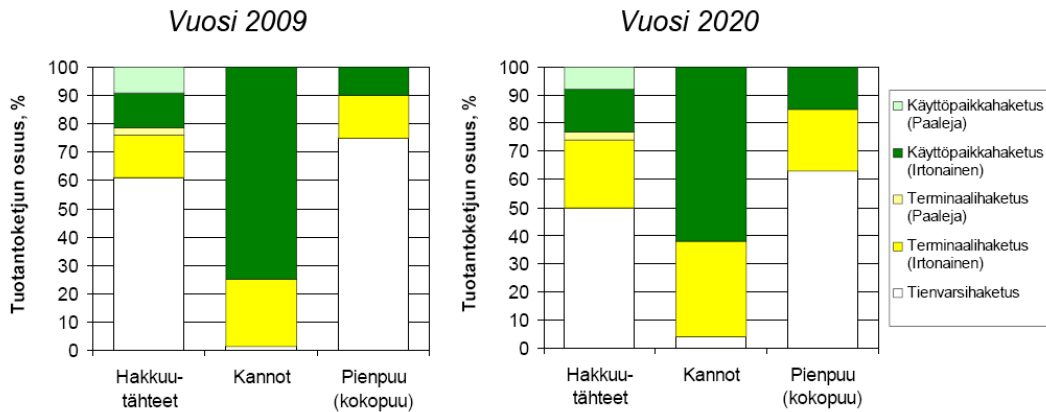
Raaka-aineen tarjontapotentiaalina käytettiin biopolttoaineiden saatavuusanalyysissä saatujen tulosten mukaista metsäpolttoaineiden teknis-taloudellista potentiaalia. Tarjontapotentiaali jaettiin maakunnittain niin, että Etelä-Karjalassa raaka-ainetta oli hankittavissa 750 GWh ja Kymenlaaksossa 605 GWh. Hakkuutähteiden osuus potentiaalista oli 35 %, kantojen 40 % ja pienpuun 25 %.

Hankintaketjuissa käytettävien koneiden ja kuljetusvälineiden arvioidut vuosisuoritteet vaihtelivat niiden toimintakapasiteetin mukaan (taulukko 25). Junasysteemin realistisena tuottavuutena pidettiin simulointitutkimuksen mukaista 277 GWh:n vuosisuoritetta. Kiinteällä proomulogistiikalla päästäisiin noin 210 GWh:n tuottavuuteen. Suhteellisesti eniten koneita tarvittaisiin kantojen nostoon, jossa yhden kaivukoneen suorite oli arviolta 24 GWh/vuosi.

Taulukko 25. Kalustotarpeen laskennan perusteina käytetyt kone- ja kuljetuskaluston tuottavuudet.

Irtotavara-auto (hakkuutähde)	45 GWh/a
Irtotavara-auto (kannot)	50 GWh/a
Irtotavara-auto (pienpuu)	45 GWh/a
Hakeauto	57 GWh/a
Juna	277 GWh/a
Proomu	213 GWh/a
Mobiilihakkuri (hakkuutähde tienvarressa)	99 GWh/a
Mobiilimurskain (kannot terminaalissa)	172 GWh/a
Mobiilihakkuri (hakkuutähde/pienpuu, terminaalissa)	197 GWh/a
Hakkuukone (pienpuu)	32 GWh/a
Kantojen nostokone	24 GWh/a
Ajokone (hakkuutähde)	64 GWh/a
(kannot)	42 GWh/a
(pienpuu)	45 GWh/a

Raaka-aineen hankinnan ennusteista kahden ensimmäisen (890 ja 1 400 GWh) osalta oletettiin, että hakkuutähteistä 60 % ja pienpuusta 75 % hankitaan käyttöpaikoille tienvarsihaketusmenetelmillä, ja kannoista 75 % käyttöpaikkamurskausmenetelmällä. Vuoden 2020 tilanteen ennusteessa tienvarsihaketusmenetelmän osuus oli hakkuutähteen hankinnasta 50 % ja pienpuun hankinnasta 60 %. Syynä pienempiin osuuksiin oli terminaalikäsitteilyn oletettu lisääntyminen (Kärhä ym. 2009). Laskennassa käytetyt hankintamenetelmien suhteelliset osuudet noudattavat kuvassa 44 esitettyjä lukuja sillä poikkeuksella, että hakkuutähteen paalausta ei eritelty käyttöpaikkamurskausmenetelmästä omaksi tuotantotavakseen. Lisäksi tämän hankkeen muista tutkimuksista poiketen hakkuutähteen ja pienpuun käsitteilyn oletettiin tapahtuvan murskaimen sijaan hakkurilla.



Kuva 44. Vaihtoehtoisten tuotantomenetelmien arvioidut osuudet metsäpolttoaineen kokonaishankinnasta Suomessa vuosina 2009 ja 2020 (Kärhä ym. 2009).

Työvoiman tarve hankintaketjuissa määritettiin kiinteillä henkilötyövuosikertoimilla, jotka olivat hakkuukoneilla ja metsätraktoreilla 1,52, hake- ja energiapuuautoilla 2,24, tienvarsihakkureilla 1,05, mobiilimurskaimilla 1,17 sekä kaivukoneilla 1,00 henkilötyövuotta konetta kohden (Kärhä ym. 2009). Metsäpolttoaineen hankintaketjuissa syntyy myös muille toimialoille välillisiä työvoimavaikutuksia, kuten kaluston valmistus- ja huoltotöitä. Näitä vaikutuksia ei tässä tutkimuksessa kuitenkaan tarkemmin käsitelty. Metsähakkeen tuotannossa välillisten ja välittömien työllisyysvaikutusten on havaittu olevan noin puolitoistakertaiset pelkästään välittömiin vaikutuksiin nähden (Ahonen 2004).

Työvoiman kokonaistarpeen laskentaan eivät sisällyneet rautatie- ja vesitiekuljetusten työpanokset. Myöskään voimalaitosten kiinteiden käyttöpaikkamurskainten edellyttämään työvoiman tarvetta ei huomioitu.

7.2.2 Tulokset ja johtopäätökset

Taulukossa 26 esitetään kolmen kysyntäennusteen mukaiset kone- ja kuljetusyksiköiden tarpeet maakunnittain. Kone- ja kuljetuskapasiteetin tarve on laskennallinen, mikä tarkoittaa sitä, että todellisuudessa kalustoa tarvitaan laskettua enemmän, koska samoilla koneilla yleensä tehdään myös muita töitä. Nykyisellä metsäpolttoaineiden kysyntätasolla raaka-ainehankinnan vuotuinen kuljetuskapasiteetin tarve on noin 20 hake- ja energiapuuautoa vuodessa. Oletuksena siis on, että kyseisten autojen käyttö kohdistuu vain ja ainoastaan metsäpolttoaineen kuljetukseen. Käytännössä siis varsinkin hakeautojen tarve on suurempi, koska samoilla autoilla voidaan kuljettaa myös esimerkiksi muita puupolttoaineita, turvetta tai selluhaketta.

Mikäli metsähakkeen nykyinen käyttökapasiteetti olisi kaikissa alueen laitoksissa huippukäytössä, olisi kone- ja kuljetuskaluston tarve lähes kaksinkertainen. Kymenlaaksossa raaka-aineen kysyntä ylittäisi tarjonnan, jolloin lähes puolet hakeautoista toimittaisi haketta alueen ulkopuolella tuotetusta raaka-aineesta. Koneiden lisästarpeeseen poikkeuksen tekevät mobiilimurskaimet, joiden oletettu tuottavuus on niin korkea, että terminaalien kautta tapahtuva kantojen hankinta (kuva 44) hoituisi kaikilla kysyntäennusteilla maksimissaan kahdella mobiilimurskaimella.

Vuoden 2020 ennusteen mukaan metsähakkeen kysyntä ylittäisi paikallisen tarjonnan niin selvästi, että juna- ja aluskuljetusjärjestelmät olisivat oleellinen osa raaka-aineen hankintaa. Kaksi systemaattisesti operoivaa hakejunaa Kymenlaaksossa sekä vesitie- ja rautatiekuljetusjärjestelmien priorisointi Lappeenrannassa johtaisivat teoriassa paikallisen raaka-aineen vähäisempään kysyntään. Kysyntäennusteen mukaisessa tilanteessa on kuitenkin hyvin todennäköistä, että koko valtakunnan tasolla metsähakkeelle on niin kova kysyntä, että kaikki Kaakkois-Suomen tarjontapotentiaali on käytössä. Tästä johtuen on oletettu, että paikallisen metsäenergian tuotannon kalustotarpeet ovat vähintään yhtä korkeat kuin pienemmän kokonaiskysynnän (1 400 GWh) ennusteessa.

Taulukko 26. Kysynnän ja logistiikkaratkaisujen vaikutukset metsäpolttoaineen hankinnan kone- ja kuljetuskaluston tarpeeseen.

Kysyntä, GWh	Etelä-Karjala			Kymenlaakso		
	320	620	1200	570	780	1200
Hakkuukone (pienpuu), kpl	3	5-6	6-5	4	4-5	4-5
Kantojen nostokone, kpl	5-6	11-12	12-13	10	11	11
Metsätraktori, kpl	7	13	15-16	12	13-14	13-14
Hakeautoja, kpl	3	6	7	5-6	6-7 (+5 ^{*)})	6-7
Energiapuuautoja, kpl	4	8	10	7-8	10	9
Mobiilimurskaimia, kpl	1	1	1	1	1	1
Mobiilihakkureita, kpl	1	1-2	2	1-2	2	1-2
Juna, kpl	0	0	0-1 ^{**)}	0	0	2
Alus, kpl	0	0	1-2 ^{**)}	0 ^{***)}	0 ^{***)}	0 ^{***)}

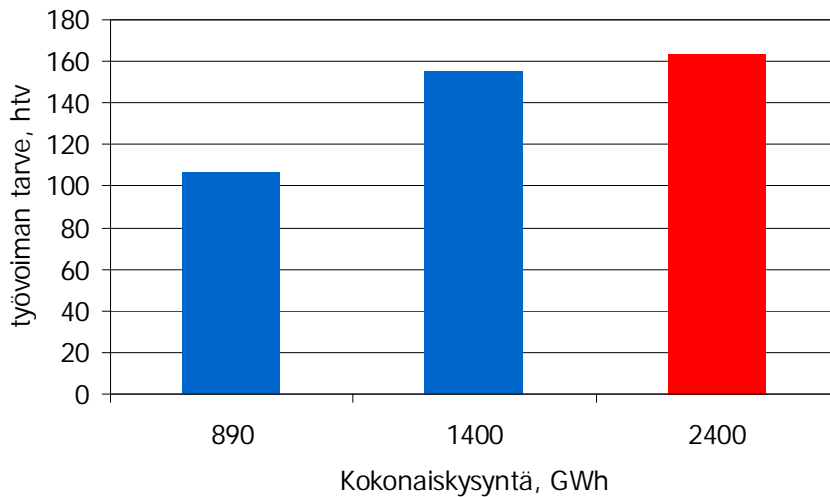
^{*)} Noin 20 % metsähakkeesta on kuljetettava maakunnan ulkopuolelta rajallisen tarjonnan takia.

^{**)} Alueen ulkopuolinen hankinta yhdellä juna- ja yhdellä alussysteemillä.

^{***)} Merikuljetusmahdollisuutta ei ole huomioitu.

Hankintaketjujen työvoiman lisätarve on ilmeinen, joskin suurimman kysyntäennusteen mukaisille tuotantomäärille ei riitä enää paikallista raaka-ainetta, vaan siitä jo merkittävä osa saapuu Kaakkois-Suomeen alueen ulkopuolelta (kuva 45).

Esitetyt työvoiman lisäystarpeet ovat tuotantovolyymien lisäystarpeisiin nähden varsin pieniä verrattuna moniin työvoimavaltaisiin toimialoihin. Tästä huolimatta pienempikin lisäystarve on haaste, sillä metsäenergian hankinnassa on paikoittain havaittavissa työvoimapulaa jo nykyisillä tuotantomäärillä. Ongelmallista on, että metsäalan ammatilliseen koulutukseen hakeutuu opiskelijoita entistä vähemmän (Hetemäki ym. 2006).



Kuva 45. Metsäpolttoaineen hankinnan välittömät työllisyysvaikutukset Kaakkois-Suomessa henkilötyövuosina mitattuna. Työvoiman tarpeet perustuvat taulukossa 26 esitettyihin polttoaineen kysyntäennusteisiin. Punainen pylväs kuvaa tilannetta, jossa suuri osa raaka-aineen hankinnasta työllisyysvaikutuksineen ulottuu Kaakkois-Suomen ulkopuolelle.

7.3 Hankintaketjujen ympäristövaikutukset

7.3.1 Aineisto ja menetelmät

Vaikka puupolttoaineet yleisesti mielletäänkin hiilineutraaleiksi energianlähteiksi, syntyy niiden hankinnassa kasvihuonekaasupäästöjä lähinnä käytettävän kone- ja kuljetuskaluston fossiilisten polttoaineiden tarpeesta johtuen. Metsäpolttoaineiden hankinnassa on tyypillistä, että hankintamäärien kasvaessa logistiikasta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt lisääntyvät suhteellisesti enemmän, koska raaka-ainetta joudutaan kuljettamaan pidempiä matkoja.

Tässä tutkimuksessa hankintaketjujen ympäristövaikutuksia arvioitiin kuljetuksesta, haketuksista ja murskauksesta aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen perusteella. Vertailusuurena käytettiin päästöhiukkasten hiilidioksidiekvivalenttia (CO₂-ekv), joka

hiilidioksidin lisäksi huomioi myös muiden kasvihuonekaasuyhdisteiden vaikutuksia. Päästölaskenta toteutettiin hake- ja energiapuuautoille, kahdeksan vaunun junalle sekä hinaajan ja suuren proomun kytkeyelle. Kaluston kuljetuskapasiteetit olivat samoja kuin tässä raportissa on aiemmin esitetty. Autokuljetusketjuissa kaluston vuosisuoritteet muodostettiin raaka-aineen saatavuusanalysissä lasketuista kuljetusmatkojen keskiarvoista. Alus- ja junakuljetuksissa käytettiin esitettyjen simulointitutkimusten keskimääräisiä kuljetusmatkoja. Polttoaineen kulutukseen ja kasvihuonekaasupäästöihin liittyvät muuntokertoimet koostettiin VTT:n ylläpitämistä liikenteen päästölaskentajärjestelmästä (LIPASTO) soveltaen Ghazanfarin (2008) esittämiä polttonesteiden kulutustietoja metsäpolttoaineen hankinnassa. Voimalaitoksen tuottamalla sähköllä toimivan käyttöpaikkamurskaimen ei oletettu aiheuttavan päästöjä, vaikka voimalaitoksen sähköstä osa tuotettaisiinkin fossiilisilla polttoaineilla. Junakuljetuksen kasvihuonekaasupäästöt perustuivat sähköistetyn raiteen osalta Suomen sähköntuotannon keskimääräiseen päästövaikutukseen. Sähköradan osuus kokonaiskuljetusmatkasta oli 94 %.

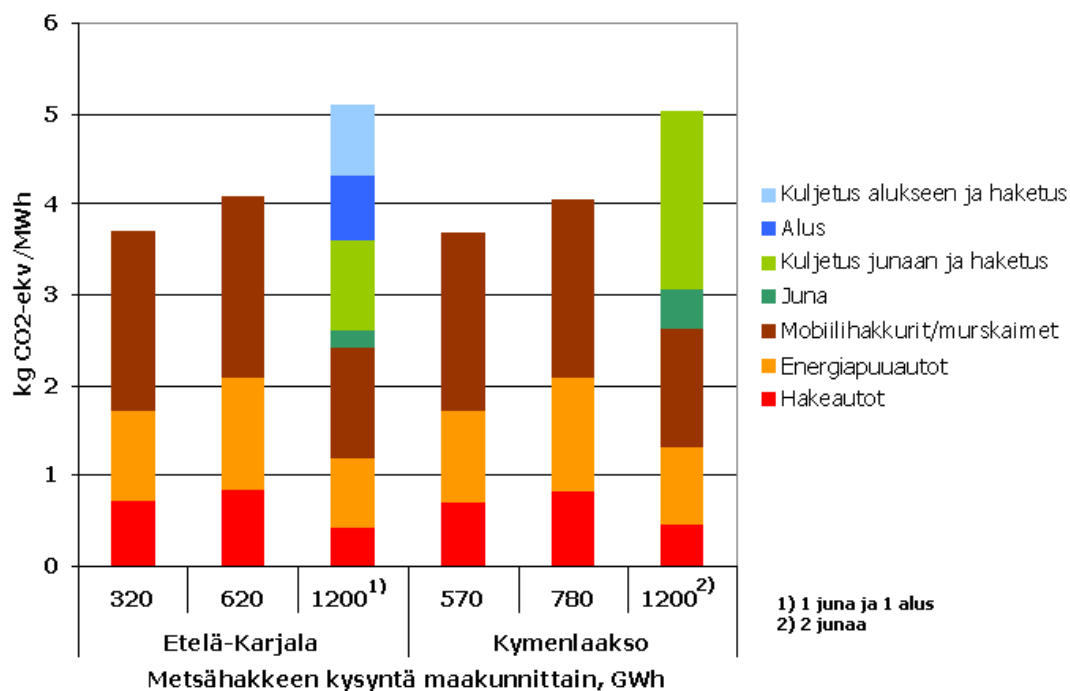
Kysyntäkapasiteettina käytettiin taulukon 26 mukaisia kysyntäennusteita. Kysynnän määrästä riippuen hakeautojen keskimääräinen kuljetusmatka vaihteli 60 ja 70 kilometrin välillä. Keskiarvoon sisältyi myös hakkeen syöttöajo terminaaleilta, joiden keskimääräiseksi etäisyydeksi käyttöpaikoilta oletettiin 20 kilometriä. Energiapuuautojen kuljetusmatka puolestaan vaihteli 20 ja 25 kilometrin välillä terminaalihaketusetjuissa sekä 40 ja 50 kilometrin välillä käyttöpaikkamurskausetjuissa.

7.3.2 Tulokset ja johtopäätökset

Metsäpolttoaineiden kuljetuksesta sekä tievarressa ja terminaaleissa tapahtuvasta haketuksesta ja murskauksesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt olivat 890 GWh:n kokonaiskysynnän ennusteella yhteensä noin 3 200 t_{CO2-ekv}. Nykyisen käyttökapasiteetin sallimalla 1 400 GWh:n kysynnällä päästöt olivat noin 5 700 t_{CO2-ekv}. Vuoden 2020 käyttötavoitetta peilaavassa 2 400 GWh:n kysynnän skenaariossa päästöt olivat 12 100 t_{CO2-ekv}, kun mukana olivat myös pitkän matkan kuljetusratkaisut.

Kuljetetun polttoaineen energiasisältöön suhteutettuna kasvihuonekaasupäästöt olivat 3,7-5,1 kg_{CO2-ekv}/MWh. Suhteellinen päästövaikutus oli luonnollisesti suurimmillaan korkeimman

kysynnän skenaariossa, jossa mukana olivat myös juna- ja aluskuljetukset. Kuvassa 46 näkyvät kuljetusketjujen vaiheiden vaikutus kokonaispäästöjen muodostumisessa. Hakkurien ja murskainten osuus on varsin suuri. Energiapuuautojen vaikutus on myös huomattava johtuen hakettamattoman raaka-aineen verrattain heikosta kuljetustiheydestä. Pääosin sähköllä liikennöivän junan päästöt ovat hyvin pienet, mutta toisaalta juna- ja aluskuljetusketjuissa alun maantiekuljetuksesta vastaavat energiapuuautot heikentävät ketjujen ympäristöystävällisyyttä. 2 400 GWh:n kokonaiskysynnän ennusteessa paikallisen hankinnan (pylväiden kolme alinta luokkaa) päästövaikutukset näyttävät jäävän pienemmiksi kuin muilla kysyntätasoilla. Tämä teoreettinen päästöjen vähenemä on selitettävissä sillä, että päästölaskenta huomioi vain Kaakkois-Suomeen päättyvät hankintaketjut. Pitkän matkan kuljetuslogistiikan korvataessa paikallista kuljetuskalustoa ”yli tarpeen” paikallista kalustoa siirtyy Kaakkois-Suomen ulkopuolisten laitosten hankintaketjuihin. Toisin kuin edellisen kappaleen kalustotarpeen arvioinnissa, tässä analyysissä ei näiden ketjujen päästövaikutuksia otettu huomioon.



Kuva 46. Metsäpolttoaineen kuljetuksesta, murskauksesta ja haketuksesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt maakunnittain eri kysyntäennusteilla (vrt. taulukko 26, kuva 45).

Autokuljetuksiin perustuvan metsäpolttoaineen osalta on aiemmin todettu, että metsähakkeen kosteuden ollessa 45 % ja kuljetusmatkan 60 km koko hankintaketjun päästöt vaihtelevat 7 ja 12 kg_{CO2-ekv}/MWh välillä (Mäkinen ym. 2006). Kuljetusmatkasta riippumattomat päästöt ovat 2-6 kg_{CO2-ekv}/MWh. Hankintaketjussa tienvarsivarastolle asti ulottuvista työvaiheista eniten

päästöjä aiheuttavat kantojen nosto kaivukoneella ja pienpuun koneellinen hakkuu. Tapaustutkimuksessa, jossa metsäteollisuusintegraatin ympärille muodostetulta hankinta-alueelta oletettiin hankittavan energiakäyttöön noin 2 TWh metsähaketta, hankintaketjuista laskettiin syntyvän hiilidioksidiekvivalentteja kasvihuonekaasupäästöjä yhteensä 18 200 tonnia eli keskimäärin noin $9 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{-ekv}}/\text{MWh}$ (Kariniemi ym. 2009).

Vaikka kuljetuksista päästöjen lisääntyminen puun energiakäytön lisääntymisen myötä saattaakin vaikuttaa huolestuttavalta, on muistettava, että puuenergialla korvataan jotain muuta, yleensä fossiilista, polttoainetta. Esimerkiksi Kaakkois-Suomessa teollisuuden yleisesti käytetyn maakaasun ominaispäästökerroin on $202 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{-ekv}}/\text{MWh}$ (Motiva 2004). Jos siis metsäpolttoaineen hankinnan lisäys 890 GWh:sta 1 400 GWh:iin vähentäisi putkesta saatavan maakaasun käyttöä yhtä paljon, olisi kuljetuksista aiheutuvien päästöjen lisäys noin 2 500 $\text{t}_{\text{CO}_2\text{-ekv}}$, mutta maakaasun vähentyneestä käytöstä koituvat säästöt jopa 103 200 $\text{t}_{\text{CO}_2\text{-ekv}}$. Samoin oletuksin siirtyminen 1 400 GWh:n metsähakkeen poltosta 2 400 GWh:n polttoon lisäisi kuljetusten päästöjä 6 400 $\text{t}_{\text{CO}_2\text{-ekv}}$, mutta säästäisi maakaasun käytöstä aiheutuvia päästöjä yhteensä 202 000 $\text{t}_{\text{CO}_2\text{-ekv}}$.

Kuljetusten päästöjen lisääntymisen vaikutuksia voidaan suhteuttaa myös hankinnan muihin vaikutuksiin, kuten liikenne- tai paloturvallisuuteen tai esimerkiksi meluhaittoihin. Näiden vaikutukset ovat hyvin paikallisia, mutta varsinkin taajan asuttujen alueiden läheisyydessä erittäin tärkeitä asioita, jotka on aina huomioitava toiminnan suunnittelussa. Etenkin logistiikan vilkkaimpien solmukohtien, kuten käyttöpaikkojen tai syöttöterminaalien ympärillä lisääntyvä kuorma-autoliikenne heikentää monissa paikoissa liikenneturvallisuutta, ellei liikennejärjestelyjen parantamiseen kiinnitetä erityistä huomiota.

8 LOPPUSANAT

Tutkimushankkeen alkaessa metsähakkeen vuotuinen energiakäyttö oli Kaakkois-Suomessa noin 450 GWh. Hankkeen päättyessä metsähakkeen käyttö oli kutakuinkin kaksinkertaistunut (Metla/Metinfo). Olisi luonnollisesti harhaanjohtavaa todeta, että tähän raporttiin koostetuilla tutkimustuloksilla olisi näin lyhyellä aikavälillä ollut suoraa vaikutusta käytännön toimintaan ja energiankäytön lisääntymiseen. Tärkein rooli on ollut ja tulee olemaan käyttöpaikkainvestoinneilla, joista Lappeenrannan voimalaitos on tähän mennessä ollut merkittävin. Myös Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen ja Metsäkeskuksen kaltaisilla viranomaisilla on tärkeä asema bioenergian tuottajien aktivoinnissa ja informoinnissa. Tämän hankkeen tehtäviin tuottajaneuvonta ei kuulunut, vaan tavoitteina oli selvittää nykyisiä ja osittain myös tulevia raaka-ainevaroja sekä sitä, kuinka raaka-aineiden hankintalogistiikkaa voidaan kehittää raaka-aineen lisääntyvän kysynnän myötä.

Metsäpolttoaineiden hankinnassa pitkän matkan kuljetusmuotoja hyödyntävät järjestelmät ovat tekemässä tuloaan siitäkin huolimatta, että kevyt ja tiivistämätön energiapuu ja hake eivät ole kuljetusoperaattoreille kovinkaan houkuttelevaa materiaalia. Laskennallisten hankintakustannusten perusteella juna- ja aluskuljetukset vetävät vertoja terminaalivarastoinnin sisältäville autokuljetusketjuille. Käytännössä pitkän matkan kuljetuslogistiikan systematisointiin tarvitaan kuitenkin pelkkien yksikkökustannusten lisäksi myös muita perusteita. Perusteet eivät ole suoraan taloudellisia, vaan niillä on välillinen vaikutus polttoaineen loppukäyttäjän toimintakykyyn ja talouteen. Tällaisia perusteita ovat ennen kaikkea toimitusvarmuus sekä kaluston ja työvoiman riittävyys.

Laajat kuljetusverkot edellyttävät siis nykyistä suurempia käyttöpisteitä alueilla, joilla raaka-aineen saatavuus on rajoitettua joko maankäytön (mm. asutus ja suuret vesistöt) tai kovan kilpailun takia. Hankintalogistiikalle asetetaan myös lisähaaste, kun raaka-ainetta ei halutakaan tasaisena virtana, vaan vaihtelevasti vuodenajasta riippuen. Kaakkois-Suomen kannalta nykyistä suuremmista käyttöpaikkainvestoinneista tärkeimpiä tulevat olemaan mahdollinen Imatralle tai Porvooseen sijoittuva puubiomassaa hyödyntävä biojalostamo sekä nykyiseen ilmastopolitiikkaan liittyvät muutokset pääkaupunkiseudun energiantuotannon laitoskannassa.

Edellä mainittuun toimitusvarmuuteen liittyy varastoinnin ja kuljetusten ajoituksen lisäksi myös hankinnan maantieteellinen hajauttaminen, joka on suoraan kytköksissä hankintakokonaisuuksien riskienhallintaan. Selkein esimerkki tästä on hankinta ulkomailta. Pitkistä kuljetusmatkoista huolimatta ulkomaan kuljetusketjujen etuna on, että raaka-aineen hintaan ja saatavuuteen vaikuttavat vain vähän tai ei ollenkaan samat markkinatekijät kuin Suomessa. Kaakkois-Suomi on sikäli mielenkiintoisessa asemassa, että alueelle on hyvät kuljetusyhteydet sekä Venäjältä että Itämeren alueen EU-maista.

Vaikka metsäbiomassat ovat bioenergiajakeista merkittävimmissä roolissa ilmastopoliittisten tavoitteiden täyttämiseksi, tässä raportissa vähemmälle huomiolle jääneitä turvetta ja peltobiomassoja ei tule täysin unohtaa. Toistaiseksi niiden hankintalogistiikka on ollut pääosin suoriin autokuljetuksiin perustuvaa hankintaa verraten lyhyillä kuljetusetäisyyksillä. Tulevaisuudessa tilanne voi kuitenkin olla toinen varsinkin turpeella, joka ilmastovaikutuksistaan huolimatta on nykyisen CHP-kattilateknologian kannalta edelleen erittäin tärkeä polttoaine. On mahdollista, että voimalaitoskapasiteettia lisäävään eteläiseen Suomeen, jossa suoalaa on vähemmän ja pirstaloituneemmin kuin pohjoisessa, tullaan turvetta hankkimaan enemmän samoilla tässä hankkeessa tutkituilla pitkän matkan kuljetusjärjestelmillä. Tulevaisuuden kannalta olisikin mielenkiintoista kartoittaa mahdollisuuksia yhdistää eri bioenergiajakeita samoihin kuljetusvirtoihin ja terminaalitoimintoihin, ja selvittää logistiikan toimivuutta sekä taloudellisin että ekologisista mittarein.

LÄHDELUETTELO

- Ahonen, A. 2004. Metsähakkeen energiakäytön työllisyys- ja tulovaikutukset – Case-tutkimus. Oulun yliopisto, REDEC Kajaani. Working papers 47. 61 s. ISBN 951-42-7336-2
- Enström, J. 2009. Systemtransporter av skogsbränsle på järnväg, Skogforsk arbetsrapport nr 678.
- Flyktman Martti. 2005. Energia- ja ympäristöturpeen kysyntä ja tarjonta vuoteen 2020 mennessä. Tutkimusselostus PRO2/2085/05.VTT Prosessit. 34 s.
- Hakkila, P (toim.). 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999 – 2003. Metsähakkeen tuotantoteknologia. Loppuraportti. Tekes. 135 s. ISBN 952-457-150-1.
- Hetemäki, L., Harstela, P., Hynynen, J., Ilvesniemi, H. & Uusivuori, J. 2006. Suomen metsiin perustuva hyvinvointi 2015. Katsaus Suomen metsäalan kehitykseen ja tulevaisuuden vaihtoehtoihin. Metlan työraportteja 26. 250 s. ISBN 978-951-40-200-8
- Hiltunen, J. 2010. Metsähakkeen vesitiekuljetuksen simulointi Saimaan vesistöissä. Metsä- ja puuteknologian kandidaatin tutkielma. Itä-Suomen yliopisto, Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. 25 s.
- Iikkanen, P., Mukula, M., Kosonen, T. & Kiuru, T. 2009. Raakapuun terminaali- ja kuormauspaikkaverkon kehittäminen. Ratahallintokeskuksen A-sarjan julkaisu 4/2009.
- Jouhiahho, A. & Mutikainen, A. 2010. Mäntykantojen nosto kantoharalla ja kantoharvesterilla. TTS-tutkimuksen tiedote nro 745.
- Kariniemi, A., Kärhä, K., Heikka, T. & Niininen, M. 2009. Feedstock supply chain CO₂-eq emissions - a case study on forest biomass for 2nd generation liquid traffic fuel. Metsätehon katsaus nro 38. Saatavilla: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Katsaus/Katsaus_038_Feedstock_Supply_Chain_aka.pdf
- Karhunen, A., Laihanen, M. & Ranta, T. 2008. Etelä-Karjalan ja Kymenlaakson energiatase. Hankkeen tulokalvot. Saatavilla: http://www.lut.fi/fi/mikkeli/bioenergy/projects/finished/K-S_balance/Sivut/Default.aspx
- Karhunen, A., Laihanen, M. & Ranta, T. 2009. Regional Energy Balance as a Guideline for Future Energy Strategies. 4th International Bioenergy 2009 Conference - Sustainable Bioenergy Business. Jyväskylä, Finland 31st August - 4th September 2009. p. 99-104. Book of Proceedings (ed. Mia Savolainen). FINBIO. ISBN 978-952-5135-43-5.
- Karhunen, A. & Ranta, T. 2011. Metsähakkeen kysyntä Kaakkois-Suomessa. (julkaisematon raportti)
- Karttunen, K. , Jäppinen, E., Väättäinen, K. & Ranta, T. 2008. Metsäpolttoaineiden vesitiekuljetus proomukalustolla. Tutkimusraportti. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 54 s.

Korpinen, O.-J. 2006. Uudistushakkuualoilta kerättävän energiapuun saatavuuden arviointi. Metsäsuunnittelun ja –ekonomian pro gradu. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. 41 s.

Kärhä, K. 2010. Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa vuonna 2009. Metsätehon tulosalvosarja 9/2010. Saatavilla: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tulosalvosarja/Tulosalvosarja_2010_09_Metsahakkeen_tuotantoketjut_Suomessa_2009_kk.pdf

Kärhä, K., Strandström, M., Lahtinen, P. & Elo, J. 2009. Metsähakkeen tuotannon kalusto- ja työvoimatarve Suomessa 2020. Metsätehon katsaus nro 41. Saatavilla: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Katsaus/Katsaus_041_Metsahakkeen_tuotannon_kalusto-ja_tyovoima_kk.pdf

Kärhä, K., Elo, J., Lahtinen, P., Räsänen, T., Keskinen, S., Sajjonmaa, P., Heiskanen, H., Strandström, M. & Pajuoja, H. 2010. Kiinteiden puupolttoaineiden saatavuus ja käyttö Suomessa vuonna 2020. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja, Energia ja ilmasto 66/2010.

Laitila, J., Asikainen, A., Sikanen, L., Korhonen, K.T. & Nuutinen, Y. 2004. Pienpuuhakkeen kustannustekijät ja toimituslogistiikka. Metlan työraportteja 3. 57 s.

Laitila, J., Asikainen, A. & Anttila, P. Energiapuutarat. Teoksessa: Kuusinen, M. & Ilvesniemi, H. (toim.), Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset. 2008. s. 6-12. ISBN 978-952-5694-27-7

Law, A.M. & Kelton, W.D. 1997. Simulation Modeling and Analysis, McGraw-Hill Higher Education.

LIPASTO. Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä. VTT. Saatavilla: <http://lipasto.vtt.fi/>

Motiva Oy. Yksittäisen kohteen CO₂-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂-päästökertoimet. 12s. Saatavilla: http://motiva.fi/files/209/Laskentaohje_CO2_kohde_040622.pdf

Metla/Metinfo. Metsätilastollinen tietopalvelu. Metsäntutkimuslaitos. Saatavilla: <http://www.metla.fi/metinfo>

Mynttinen, S., Karttunen, K. & Handelberg, J. Energiapuun tarjontahalukkuus. Teoksessa: Karttunen, K., Föhr, J. & Ranta, T. 2010. Energiapuuta Etelä-Savosta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. LUT Energia. Tutkimusraportti 7. Lappeenranta. 150 s. ISBN 978-952-265-003-0

Mäkelä, K., Tuominen, A. & Pääkkönen, E. (2009) Suomen rautatieliikenteen päästöjen laskentajärjestelmä RAILI 2008, VTT Tutkimusraportti 08701-09, 48 s.

Mäkinen, T., Soimakallio, S., Paappanen, T., Pahkala, K. & Mikkola, H. 2006. Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit. Espoo 2006. VTT Tiedotteita 2357. 134 s.

Nuutila, Matti. 2009. Katsaus puun merkitykseen energian tuotannossa. Suullinen esitys. Energiapuupäivä, Kartanohotelli Radansuu, Iiitti, 13.10.2009.

Paappanen, T., Lindh, T., Kärki, J., Impola, R., Rinne, S., Lötjönen, T., Kirkkari, A.-M., Taipale, R. & Leino, T. Ruokohelven polttoaineketjun kehittäminen liiketoimintamahdollisuuksien parantamiseksi. Espoo 2008. VTT Tiedotteita 2452. 158 s.

Pahkala, K., Isolahti, M., Partala, A., Suokannas, A., Kirkkari, A.-M., Peltonen, M., Sahramaa, M., Lindh, T., Paappanen, T., Kallio, E. & Flyktman, M. 2002. Ruokohelven viljely ja korjuu energiantuotantoa varten. Maa- ja elintarviketalous 1. 2. korjattu painos. 20 s. + 4 liitettä. ISBN 951-729-654-1

Piri, Tuula. Henkilökohtainen tiedonanto, 23.9.2009.

Ranta, T. 2005. Logging residues from regeneration fellings for biofuel production – a GIS-based availability analysis in Finland. Biomass and Bioenergy, Vol. 28, p. 171-182.

Ranta, T. & Rinne, S. 2006. The profitability of transporting uncomminuted raw materials in Finland. Biomass and Bioenergy, vol. 30, issue 3, 231-237.

Ranta, T. & Korpinen, O.-J. 2007. How to analyze and maximize the forest fuel supply availability to power plants in Eastern Finland. International Bioenergy Conference and Exhibition, September 3rd-6th 2007, Jyväskylä, Finland.

Ranta, T., Lahtinen, P., Elo, J. & Laitila, J. 2007. The effect of CO₂ emission trade on the wood fuel market in Finland. Biomass and Bioenergy, vol. 31, issue 8, 532-542.

Rinne, Samuli. Henkilökohtainen tiedonanto 14.1.2008.

Rinne, S. 2010. Energiapuun haketuksen ja murskauksen kustannukset. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energiatekniikan osasto.

Ryymin, R., Pohto, P., Laitila, J., Humala, I., Rajahonka, M., Kallio, J., Selosmaa J., Anttila P. & Lehtoranta T. 2008. Metsäenergian hankinnan uudistaminen. Loppuraportti. HSE Executive Education 8. 81 s.

Saranen, J. & Hilmola, O-P. 2007. Evaluating the competitiveness of railways in timber transports with discrete event simulation. World Review of Intermodal Transportation Research 1: 4, 445-458.

Tilastokeskus. Kuorma-autoliikenteen kustannusindeksi. Saatavilla: <http://www.stat.fi/til/kalki/index.html>

Turveteollisuusliitto. Turveteollisuusliitto ry:n tiedotteet 6.11.2006 ja 27.10.2008. Saatavilla: <http://www.turveteollisuusliitto.fi/index.php?module=news&id=7&type=history>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2008. Hallitus tähtää energian kulutuksen vähentämiseen ja uusituvien energialähteiden osuuden voimakkaaseen kasvuun. Työ- ja elinkeinoministeriön tiedote 6.11.2008. Saatavilla: http://www.tem.fi/index.phtml?96107_m=93162&s=3407

Viiri, H. & Piri, T. Metsien terveys ja tuhot Teoksessa: Kuusinen, M. & Ilvesniemi, H. (toim.), Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset. 2008. s. 47-52. ISBN 978-952-5694-27-7

Ylitalo, E. 2009. Metsätilastotiedote 16/2010. Metsäntutkimuslaitos.

Äijälä, O., Kuusinen, M. & Koistinen, A. (toim.) 2010. Hyvän metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen ja kasvatukseen. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja.

Liite 1. Vesitiesimuloinnissa käytetyt laskentaperusteet.

Taulukko 1. Proomujen mitat, kantavuudet ja hankintahinnat.

Proomu	Hankintahinta, 1000€	Mitat, m	Kantavuus, t	Hakekuorma, t (40% kosteus)
Eurooppa II	1200	76,5 x 11,4	2450	1200
Sampo	800	8,4 x 60	1700	630
Kuutar	600	6,6 x 47	-	360
Väinämöinen	600	6,6 x 47	-	360

Taulukko 2. Alusten mitat ja investointikustannukset

Aluksen nimi ja tyyppi	Pituus,m	Leveys,m	Koneteho, kW	Investointikustannukset, 1000 €
Parkko, hinaaja	20,9	6,58	535	1500
Tapio, hinaaja	19,8	4,84	342	900

Taulukko 3. Satunnaisvaihtelun tekijät ja jakaumat simuloinnissa.

Tekijä	Jakauma	Keskiarvo, hajonta (ja vaihteluväli)
Nopeusvaihtelu, km/h	Normal	0,1 (Parkko 9,9-15,7, Tapio 9,3-12,8)
Kuormaus, materiaalinkäsittelykone, tonnia	TNormal	175, 10, (160-190)
Kuormaus, hihnakuuljetin, tonnia	TNormal	120, 10, (100-140)
Purku, materiaalinkäsittelykone, tonnia	Tnormal	165, 10, (150-180)
Purku, hihnakuuljetin, tonnia	Tnormal	75, 10, (55-95)
Proomun koko, tonnia		
Eur 2A	normal	1200, 55
Sampo	normal	630, 25
Kuutar/Väinämöinen	normal	360, 15

Taulukko 4. Satamatoimintojen ajanmenekit.

Proomulogiikka	Proomujen määrä	Satamatoimintojen ajanmenekki kuormauksessa, tuntia	Satamatoimintojen ajanmenekki purussa, tuntia	Odotusaika Lappeenrannan satama- alueella, tuntia
1. Yhden proomun logistiikka (aluksessa proomu kaikenaikaa)	1	1	1	0.75 - 1
2. Kahden proomun logistiikka (aluksessa 2 proomua kaikenaikaa)	2	1,6	1,6	0.75 - 1
3. Vaihtoproomu-logistiikka 1 vaihtoproomulla (alus vaihtaa yhden proomun aina Lappeenrannassa)	2	1	2	0.75 - 1
4. Vaihtoproomu-logistiikka 3 vaihtoproomulla (joka satamassa vapaa proomu)	4	2	2	0.75 - 1

Liite 2. Hyötypaperi Oy:n ja Vamy Oy:n polttoaineraporttien koostetut tiedot tutkimusaumojen polttoainekuormista. Vertailutietoina ovat myös eri tahojen polttoaineista käyttämät teholliset lämpöarvot kuiva-aineessa, jotka vaikuttavat kosteuspitoisuuksien ohella kuormien megawattituntimääriin.

Rankamurske

Pvm	Klo	Tilavuus (i-m ³)	Hyötypaperi		Vamy		Hyötypaperi MWh	Vamy MWh	Laskennallinen MWh
			Paino (tn)	Paino (tn)	Kosteus (%)	Kosteus (%)			
10.11.2009	10:17	140	27,98	28,10	30,09	29,80	96,98	97,30	96,70
10.11.2009	12:35	140	27,82	28,00	29,69	29,80	97,09	97,00	96,81
11.11.2009	9:12	132	25,78	25,80	28,39	29,80	91,95	89,30	91,69
	Yhteensä	412	81,58	81,90	29,42*	29,80*	286,02	283,60	285,20
							↑	↑	↑
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa (MJ/kg):							18,90	18,79	18,85

Biomurskaus Oy:n määrittämä auman kokonaispaino: 75,00 tn

Kokopuumurske

Pvm	Klo	Tilavuus (i-m ³)	Hyötypaperi		Vamy		Hyötypaperi MWh	Vamy MWh	Laskennallinen MWh
			Paino (tn)	Paino (tn)	Kosteus (%)	Kosteus (%)			
28.11.2009	6:18	130	33,28		45,75	49,50	84,46		86,21
28.11.2009	6:52	132	33,88		50,37	49,50	76,70		78,33
28.11.2009	7:54	130	33,26		40,81	49,50	94,15		96,05
28.11.2009	8:29	132	36,90		47,90	49,50	88,94		90,80
28.11.2009	10:10	130	31,98		34,67	49,50	102,16		104,19
28.11.2009	10:52	132	33,38		41,85	49,50	92,43		94,31
28.11.2009	12:48	132	37,02		45,17	49,50	95,22		97,19
28.11.2009	14:44	132	39,46	39,50	47,21	49,50	96,73	91,20	98,74
29.11.2009	7:06	132	37,68		41,10	50,40	106,01		108,16
29.11.2009	8:04	130	34,46		50,19	50,40	78,38		80,04
29.11.2009	9:29	132	39,72	39,70	42,63	50,40	108,15	89,60	110,35
	Yhteensä	1444	391,02	391,10	44,41*	49,76*	1023,33	897,60	1044,37
							↑	↑	↑
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa (MJ/kg):							18,90	18,87	19,25

Biomurskaus Oy:n määrittämä auman kokonaispaino: 334,95 tn

* Hyötypaperi Oy:n kuormapainojen mukaan painotettu keskiarvo

Liite 3. Tutkimuspoltoaineiden lämpöarvo- ja tuhkapitoisuuden analyysitodistukset. Murskeet on nimetty todistuksiin Hyötöpaperi Oy:n tuotenimikkeiden mukaisesti.

Kokopuumurske



Polttoaineen lämpöarvoanalyysi

Tilaukset: LUT Energiankehitys, Projekt U3102Y
 Näytteen: Lämpöenergia tutkimus näytteet 28.10.2009.
 Tutkimuslaitos: Fim 1581 - tutkimuskeskus

Tuotteet:

Kokopuun murske 1782, ainoa 9	34,4	pp%
Kosteus saamuntilassa	20,6	MJ/kg
Kalorien lämpöarvo kuluu-ainessa	19,3	MJ/kg
Tehollinen lämpöarvo kuluu-ainessa	11,8	MJ/kg
Tehollinen lämpöarvo saamuntilassa	2,3	pp%
Tuhkipitoisuus		

Lappeenranta 8.11.2009

Kaisa Pellinen
 Kaisa Pellinen
 Tutkimusinsinööri LTY/ENTE
 kaisa.pellinen@lut.fi
 pnr. 040 4839 520

Rankamurske



Polttoaineen lämpöarvoanalyysi

Tilaukset: LUT Energiankehitys, Projekt U3102Y
 Näytteen: Lämpöenergia tutkimus näytteet 10.11.2009.
 Tutkimuslaitos: Fim 1581 - tutkimuskeskus

Tuotteet:

Kokopuun murske 1782, ainoa 9	28,6	pp%
Kosteus saamuntilassa	20,2	MJ/kg
Kalorien lämpöarvo kuluu-ainessa	18,9	MJ/kg
Tehollinen lämpöarvo kuluu-ainessa	12,8	MJ/kg
Tehollinen lämpöarvo saamuntilassa	0,5	pp%
Tuhkipitoisuus		

Lappeenranta 24.11.2009

Kaisa Pellinen
 Kaisa Pellinen
 Tutkimusinsinööri LTY/ENTE
 kaisa.pellinen@lut.fi
 pnr. 040 4839 520

Liite 4. Terminaalin kustannuslaskelmien tulokset.

50% markkinaosuus energiapuukaupoista 35 km säteellä				100% markkinaosuus 25 km säteellä																																																																			
<p>Kustannusrakenne</p> <table border="1"> <tr> <td>Tienvarsih</td> <td>5,70</td> <td>Miehikkälä</td> <td>Eräjärvi</td> </tr> <tr> <td>Auto 1</td> <td>3,02</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Murskaus</td> <td>2,41</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Terminaalit</td> <td>0,75</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Auto 2</td> <td>3,64</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Muut kustat</td> <td>2,00</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Yhteensä</td> <td>17,52</td> <td></td> <td>17,63</td> </tr> <tr> <td>Ilman kuljet</td> <td>10,86</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Tienvarsih	5,70	Miehikkälä	Eräjärvi	Auto 1	3,02			Murskaus	2,41			Terminaalit	0,75			Auto 2	3,64			Muut kustat	2,00			Yhteensä	17,52		17,63	Ilman kuljet	10,86			<p>Kustannusrakenne</p> <table border="1"> <tr> <td>Tienvarsih</td> <td>5,70</td> <td>Miehikkälä</td> <td>Eräjärvi</td> </tr> <tr> <td>Auto 1</td> <td>2,74</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Murskaus</td> <td>2,41</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Terminaalit</td> <td>0,75</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Auto 2</td> <td>3,64</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Muut kustat</td> <td>2,00</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Yhteensä</td> <td>17,23</td> <td></td> <td>17,35</td> </tr> <tr> <td>Ilman kuljet</td> <td>10,86</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Tienvarsih	5,70	Miehikkälä	Eräjärvi	Auto 1	2,74			Murskaus	2,41			Terminaalit	0,75			Auto 2	3,64			Muut kustat	2,00			Yhteensä	17,23		17,35	Ilman kuljet	10,86		
Tienvarsih	5,70	Miehikkälä	Eräjärvi																																																																				
Auto 1	3,02																																																																						
Murskaus	2,41																																																																						
Terminaalit	0,75																																																																						
Auto 2	3,64																																																																						
Muut kustat	2,00																																																																						
Yhteensä	17,52		17,63																																																																				
Ilman kuljet	10,86																																																																						
Tienvarsih	5,70	Miehikkälä	Eräjärvi																																																																				
Auto 1	2,74																																																																						
Murskaus	2,41																																																																						
Terminaalit	0,75																																																																						
Auto 2	3,64																																																																						
Muut kustat	2,00																																																																						
Yhteensä	17,23		17,35																																																																				
Ilman kuljet	10,86																																																																						
<p>Miehikkälä kysyntä, GWh</p> <table border="1"> <tr> <td>Kotka</td> <td>Kaukas/Mir/Myllykoski</td> <td>Kuusankos</td> <td>Yht</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>30</td> <td>10</td> <td>100</td> </tr> </table> <p>Eräjärvi kysyntä, GWh</p> <table border="1"> <tr> <td>Simppele</td> <td>Kaukas/Erä/Savonlinna</td> <td>Yht</td> </tr> <tr> <td>33</td> <td>34</td> <td>100</td> </tr> </table>				Kotka	Kaukas/Mir/Myllykoski	Kuusankos	Yht	50	30	10	100	Simppele	Kaukas/Erä/Savonlinna	Yht	33	34	100	<p>Miehikkälä kysyntä, GWh</p> <table border="1"> <tr> <td>Kotka</td> <td>Kaukas/Mir/Myllykoski</td> <td>Kuusankos</td> <td>Yht</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>30</td> <td>10</td> <td>100</td> </tr> </table> <p>Eräjärvi kysyntä, GWh</p> <table border="1"> <tr> <td>Simppele</td> <td>Kaukas/Erä/Savonlinna</td> <td>Yht</td> </tr> <tr> <td>33</td> <td>34</td> <td>100</td> </tr> </table>				Kotka	Kaukas/Mir/Myllykoski	Kuusankos	Yht	50	30	10	100	Simppele	Kaukas/Erä/Savonlinna	Yht	33	34	100																																				
Kotka	Kaukas/Mir/Myllykoski	Kuusankos	Yht																																																																				
50	30	10	100																																																																				
Simppele	Kaukas/Erä/Savonlinna	Yht																																																																					
33	34	100																																																																					
Kotka	Kaukas/Mir/Myllykoski	Kuusankos	Yht																																																																				
50	30	10	100																																																																				
Simppele	Kaukas/Erä/Savonlinna	Yht																																																																					
33	34	100																																																																					
<p>Kustannusrakenne</p> <table border="1"> <tr> <td>Tienvarsih</td> <td>5,70</td> <td>Miehikkälä</td> <td>Eräjärvi</td> </tr> <tr> <td>Auto 1</td> <td>3,02</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Murskaus</td> <td>2,41</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Terminaalit</td> <td>0,75</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Auto 2</td> <td>3,63</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Muut kustat</td> <td>2,00</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Yhteensä</td> <td>17,51</td> <td></td> <td>17,43</td> </tr> <tr> <td>Ilman kuljet</td> <td>10,86</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Tienvarsih	5,70	Miehikkälä	Eräjärvi	Auto 1	3,02			Murskaus	2,41			Terminaalit	0,75			Auto 2	3,63			Muut kustat	2,00			Yhteensä	17,51		17,43	Ilman kuljet	10,86			<p>Kustannusrakenne</p> <table border="1"> <tr> <td>Tienvarsih</td> <td>5,70</td> <td>Miehikkälä</td> <td>Eräjärvi</td> </tr> <tr> <td>Auto 1</td> <td>2,74</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Murskaus</td> <td>2,41</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Terminaalit</td> <td>0,75</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Auto 2</td> <td>3,63</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Muut kustat</td> <td>2,00</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Yhteensä</td> <td>17,23</td> <td></td> <td>17,14</td> </tr> <tr> <td>Ilman kuljet</td> <td>10,86</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Tienvarsih	5,70	Miehikkälä	Eräjärvi	Auto 1	2,74			Murskaus	2,41			Terminaalit	0,75			Auto 2	3,63			Muut kustat	2,00			Yhteensä	17,23		17,14	Ilman kuljet	10,86		
Tienvarsih	5,70	Miehikkälä	Eräjärvi																																																																				
Auto 1	3,02																																																																						
Murskaus	2,41																																																																						
Terminaalit	0,75																																																																						
Auto 2	3,63																																																																						
Muut kustat	2,00																																																																						
Yhteensä	17,51		17,43																																																																				
Ilman kuljet	10,86																																																																						
Tienvarsih	5,70	Miehikkälä	Eräjärvi																																																																				
Auto 1	2,74																																																																						
Murskaus	2,41																																																																						
Terminaalit	0,75																																																																						
Auto 2	3,63																																																																						
Muut kustat	2,00																																																																						
Yhteensä	17,23		17,14																																																																				
Ilman kuljet	10,86																																																																						
<p>Miehikkälä kysyntä, GWh</p> <table border="1"> <tr> <td>Kotka</td> <td>Kaukas/Mir/Myllykoski</td> <td>Kuusankos</td> <td>Yht</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>20</td> <td>10</td> <td>100</td> </tr> </table> <p>Eräjärvi kysyntä, GWh</p> <table border="1"> <tr> <td>Simppele</td> <td>Kaukas/Erä/Savonlinna</td> <td>Yht</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>50</td> <td>100</td> </tr> </table>				Kotka	Kaukas/Mir/Myllykoski	Kuusankos	Yht	60	20	10	100	Simppele	Kaukas/Erä/Savonlinna	Yht	40	50	100	<p>Miehikkälä kysyntä, GWh</p> <table border="1"> <tr> <td>Kotka</td> <td>Kaukas/Mir/Myllykoski</td> <td>Kuusankos</td> <td>Yht</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>20</td> <td>10</td> <td>100</td> </tr> </table> <p>Eräjärvi kysyntä, GWh</p> <table border="1"> <tr> <td>Simppele</td> <td>Kaukas/Erä/Savonlinna</td> <td>Yht</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>50</td> <td>100</td> </tr> </table>				Kotka	Kaukas/Mir/Myllykoski	Kuusankos	Yht	60	20	10	100	Simppele	Kaukas/Erä/Savonlinna	Yht	40	50	100																																				
Kotka	Kaukas/Mir/Myllykoski	Kuusankos	Yht																																																																				
60	20	10	100																																																																				
Simppele	Kaukas/Erä/Savonlinna	Yht																																																																					
40	50	100																																																																					
Kotka	Kaukas/Mir/Myllykoski	Kuusankos	Yht																																																																				
60	20	10	100																																																																				
Simppele	Kaukas/Erä/Savonlinna	Yht																																																																					
40	50	100																																																																					
<p>Kustannusrakenne</p> <table border="1"> <tr> <td>Tienvarsih</td> <td>5,70</td> <td>Miehikkälä</td> <td>Eräjärvi</td> </tr> <tr> <td>Auto 1</td> <td>3,02</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Murskaus</td> <td>2,41</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Terminaalit</td> <td>0,75</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Auto 2</td> <td>3,50</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Muut kustat</td> <td>2,00</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Yhteensä</td> <td>17,39</td> <td></td> <td>17,15</td> </tr> <tr> <td>Ilman kuljet</td> <td>10,86</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Tienvarsih	5,70	Miehikkälä	Eräjärvi	Auto 1	3,02			Murskaus	2,41			Terminaalit	0,75			Auto 2	3,50			Muut kustat	2,00			Yhteensä	17,39		17,15	Ilman kuljet	10,86			<p>Kustannusrakenne</p> <table border="1"> <tr> <td>Tienvarsih</td> <td>5,70</td> <td>Miehikkälä</td> <td>Eräjärvi</td> </tr> <tr> <td>Auto 1</td> <td>2,74</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Murskaus</td> <td>2,41</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Terminaalit</td> <td>0,75</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Auto 2</td> <td>3,50</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Muut kustat</td> <td>2,00</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Yhteensä</td> <td>17,10</td> <td></td> <td>16,87</td> </tr> <tr> <td>Ilman kuljet</td> <td>10,86</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Tienvarsih	5,70	Miehikkälä	Eräjärvi	Auto 1	2,74			Murskaus	2,41			Terminaalit	0,75			Auto 2	3,50			Muut kustat	2,00			Yhteensä	17,10		16,87	Ilman kuljet	10,86		
Tienvarsih	5,70	Miehikkälä	Eräjärvi																																																																				
Auto 1	3,02																																																																						
Murskaus	2,41																																																																						
Terminaalit	0,75																																																																						
Auto 2	3,50																																																																						
Muut kustat	2,00																																																																						
Yhteensä	17,39		17,15																																																																				
Ilman kuljet	10,86																																																																						
Tienvarsih	5,70	Miehikkälä	Eräjärvi																																																																				
Auto 1	2,74																																																																						
Murskaus	2,41																																																																						
Terminaalit	0,75																																																																						
Auto 2	3,50																																																																						
Muut kustat	2,00																																																																						
Yhteensä	17,10		16,87																																																																				
Ilman kuljet	10,86																																																																						
<p>Miehikkälä kysyntä, GWh</p> <table border="1"> <tr> <td>Kotka</td> <td>Kaukas/Mir/Myllykoski</td> <td>Kuusankos</td> <td>Yht</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>100</td> </tr> </table> <p>Eräjärvi kysyntä, GWh</p> <table border="1"> <tr> <td>Simppele</td> <td>Kaukas/Erä/Savonlinna</td> <td>Yht</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>0</td> <td>100</td> </tr> </table>				Kotka	Kaukas/Mir/Myllykoski	Kuusankos	Yht	100	0	0	100	Simppele	Kaukas/Erä/Savonlinna	Yht	100	0	100	<p>Miehikkälä kysyntä, GWh</p> <table border="1"> <tr> <td>Kotka</td> <td>Kaukas/Mir/Myllykoski</td> <td>Kuusankos</td> <td>Yht</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>100</td> </tr> </table> <p>Eräjärvi kysyntä, GWh</p> <table border="1"> <tr> <td>Simppele</td> <td>Kaukas/Erä/Savonlinna</td> <td>Yht</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>0</td> <td>100</td> </tr> </table>				Kotka	Kaukas/Mir/Myllykoski	Kuusankos	Yht	100	0	0	100	Simppele	Kaukas/Erä/Savonlinna	Yht	100	0	100																																				
Kotka	Kaukas/Mir/Myllykoski	Kuusankos	Yht																																																																				
100	0	0	100																																																																				
Simppele	Kaukas/Erä/Savonlinna	Yht																																																																					
100	0	100																																																																					
Kotka	Kaukas/Mir/Myllykoski	Kuusankos	Yht																																																																				
100	0	0	100																																																																				
Simppele	Kaukas/Erä/Savonlinna	Yht																																																																					
100	0	100																																																																					