



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TERO ÄIJÄLÄINEN
OLJEN VOIMALAITOSPOLTON TEKNIS-TALOUDELLINEN SEL-
VITYS SUOMESSA
Diplomityö

Tarkastaja: professori Risto Raiko
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden tiedekuntaneu-
voston kokouksessa 4. toukokuuta
2016

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

ÄIJÄLÄINEN, TERO: Oljen voimalaitospolton teknis-taloudellinen selvitys Suomessa

Diplomityö, 58 sivua, 11 liitesivua

Toukokuu 2016

Pääaine: Voimalaitos- ja polttotekniikka

Tarkastaja: professori Risto Raiko

Avainsanat: olki, oljen energiapotentiaali, oljen voimalaitospoltaminen, oljen briketointi, oljen pelletointi, NA4 CHP

Tässä diplomityössä tarkastelen teknis-taloudellisesti oljen hyödyntämismahdollisuuksia voimalaitoksen energiantuotannossa. Tarkastelussa käytän vertailukohtina metsähaketta ja sen hyödyntämistä suomalaisessa energiantuotannossa sekä oljen hyödyntämistä Tanskan energiantuotannossa. Työ on osittain kirjallisuusselvitys, jonka lisäksi työn lopussa on laskennallinen osuus.

Luvut 2–7 ovat teorialukuja. Luvuissa 2–5 selvitän oljen ominaisuuksia, sen muodostamaa energiapotentiaalia, viljelyalueiden alueellisia sijainteja Suomessa, oljen polttamista voimalaitoksissa sekä sen polttamisen haasteita ja ongelmia. Luvuissa 6 ja 7 käyn läpi oljen korjuu-, käsittely-, varastointi- ja kuljetusmahdollisuuksia.

Luvussa 8 tarkastelen ja vertailen edellisissä luvuissa esille tulleita vaihtoehtoja esimerkiksi oljen käsittelylle ja kuljetukselle. Luvussa 8 käyn läpi myös oljen hinnan muodostumista eri vaiheissa toimitusketjua. Luvussa 9 tarkastelen Naantaliin tulevaa voimalaitosta esimerkivoimalaitoksena oljen hyödyntämiselle energiantuotannossa.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

ÄIJÄLÄINEN TERO: Techno-economic study of using straw in a power plant in Finland

Master of Science Thesis, 58 pages, 11 Appendix pages

May 2016

Major: Power Plants and Combustion Technology

Examiner: Professor Risto Raiko

Keywords: straw, straw energy potential, burning straw in power plant, straw briquetting, straw pelletizing

In this Master's thesis I examine techno-economic potential of the utilization of straw in a power plant's energy production. I use forest chips and its utilization in the Finnish energy production and the use of straw for energy production in Denmark as a reference. This thesis is partly a literature review and at the end of the thesis there is the computational part.

Chapters 2–7 are theoretical chapters. In chapters 2–5 I explain properties of straw, its energy potential, grain growing region's locations in Finland, straw burning power plants as well as challenges and problems burning straw. In chapters 6 and 7 I go through straw harvesting, handling, storage and transport possibilities.

In chapter 8 I examine and compare the options of the previous chapters. In chapter 8 I also I go through the straw price formation at various stages of the supply chain. In chapter 9 I examine a power plant being constructed in Naantali as an example.

ALKUSANAT

Opiskelutaipaleeni on ollut pitkä peruskoulun ala-asteella käymistäni äidinkielen tukiopetuksista tämän diplomityön kirjoittamiseen. Se on vaatinut paljon uurastusta, tuskan hikeä ja onnen kyneleitä, Winston Churchillin sanoja mukaillen.

Tässä diplomityössä tarkastelin teknis-taloudellisesti oljen hyödyntämismahdollisuuksia voimalaitoksen energiantuotannossa. Työn loppuosassa käsittelin Naantaliin tulevaa uutta voimalaitosta juuri oljen hyödyntämisen näkökulmasta.

Vaikka tämä diplomityö on henkilökohtainen, en sitä pelkästään omin voimin olisi saanut mitenkään tehtyä. Erityisesti haluan kiittää professori Risto Raikoa kärsivällisyydestä työtäni kohtaan. Hän ohjasi minua tässä työssä ja sai minut alun perinkin kiinnostumaan voimalaitostekniikasta pitämällään energiatekniikanperusteiden kurssilla. Jan Lindströmiä kiitän avusta, jolla sain työn aiheen. Tapani Bastmania ja Aki Finériä haluan kiittää yhteistyöstä tämän työn osalta. Anne Penttiä kiitän kielenhuollollisesta avusta tämän työn kanssa. Kiitoksensa ovat ansainneet myös vanhempani ja ystäväpiirini, ja etenkin avopuolisoni Essi Lindström, joka on ollut monta vuotta korvaamattomana tukena uurastuksessani.

Kiitos ja anteeksi.

Naantalissa, 23.5.2016

Tero Niko Juhani Äijäläinen

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	OLKI	3
2.1	Olki osana energialähteitä	3
2.2	Viljoista olkea	4
2.3	Viljojen rakenne ja olki	6
2.4	Oljen käyttö	7
3.	OLJEN POTENTIAALI ENERGIANTUOTANNOSSA	9
3.1	Oljen ominaisuudet	9
3.2	Oljen saanto ja saatavuus	10
3.3	Energiapotentiaali ja keräämisen kestävyys.....	11
3.3.1	Energiapotentiaali	11
3.3.2	Keräämisen kestävyys.....	12
3.4	Oljen saannon, saatavuuden, energiapotentiaalien ja keräämisen kestävyuden yhteisvaikutus	13
3.5	Oljen taloudellinen merkitys – hinnat ja tuet	14
3.6	Oljen haasteet energiantuotannossa	16
3.7	Oljen vertailua muihin energialähteisiin	16
4.	VILJELYALUEIDEN SIJAINNIT JA ALUEELLISET EROT SUOMESSA	18
4.1	Varsinais-Suomi ja sitä ympäröivät ELY-keskukset	20
4.2	Muu Suomi.....	20
5.	OLJEN POLTTO	22
5.1	Oljen polttaminen.....	23
5.1.1	Pienpolttolaitokset.....	23
5.1.2	Voimalaitokset	24
5.1.3	Esimerkkejä voimaloista	24
5.2	Oljen polton ongelmat.....	27
5.2.1	Tuhka	27
5.2.2	Oljen polton ongelmien ratkaisumahdollisuudet	28
6.	OLJEN KORJUU JA KÄSITTELY	29
6.1	Puinti ja sen vaikutus olkeen.....	30
6.2	Puinnin jälkeinen karho.....	31
6.3	Oljen paalaaminen.....	31
6.3.1	Paalien tiheys	32
6.4	Briketöinti.....	33
6.4.1	Briketöintilaitteiden toimintaperiaatteet ja valmistajia.....	34
6.4.2	Olkibriketin ominaisuudet.....	35
6.4.3	Briketöinnin energiankulutus ja työllistävyys.....	35
6.5	Pelletöinti	36
6.5.1	Pelletöinnin toimintaperiaate ja olkipelletin ominaisuudet.....	37

6.5.2	Pelletöinnin energiankulutus ja työllistyvyys	38
7.	OLJEN LOGISTIIKKA	39
7.1	Oljen varastointi	39
7.1.1	Paalien pellonreunavarastointi	40
7.1.2	Terminaalivarastointi	43
7.2	Oljen kuljetus	43
7.2.1	Traktori ja lähikuljetus	43
7.2.2	Paalien lähikuljetuksen tehostaminen	44
7.2.3	Rekka-auto ja kaukokuljetus	46
8.	OLKI PELLOLTA KATTILAAN	47
8.1	Oljen toimitusketjujen vertailua	47
8.1.1	Korjuu ja käsittelyt	48
8.1.2	Briketöinnin ja pelletöinnin vertailua	48
8.1.3	Kuljetus	49
8.2	Hinnan muodostuminen oljelle toimitusketjussa	50
8.2.1	Maanviljelijän korvaus oljesta	50
8.2.2	Korjuu- ja varastointikustannukset	50
8.2.3	Kuljetuskustannus	51
8.2.4	Käsittelykustannus	53
8.3	Yhteenvedo oljen hinnan muodostumisesta	54
9.	CASE – NA 4 CHP	55
9.1	Oljen rooli NA4 CHP:ssa	55
9.2	Toimitusketju 1 – Paaleina	57
9.3	Toimitusketjut 2 ja 3 – Briketöintiasemat ja mobiilit briketöintilaitteet	57
9.4	Toimitusketju 4 – Pellettitehdas	58
9.5	Oljen hinnan muodostuminen toimitusketjuissa	58
10.	YHTEENVETO	59
	LÄHTEET	60

LIITE A: Oljen tehollisia lämpöarvoja

LIITE B: Viljelyintensiteetti eri puolilla Suomea

LIITE C: Vaihtoehdot oljen toimitusketjulle

LIITE D: NA4 CHP-voimalaitoksen laskelmien lähtötiedot

LIITE E: Toimitusketjujen 1 ja 4 alueet ja hehtaarit

LIITE F: Toimitusketjun 1 kuljetuskustannukset

LIITE G: Toimitusketjujen 2 ja 3 alueet ja hehtaarit

LIITE H: Toimitusketjujen 2 ja 3 kuljetuskustannukset

LIITE I: Toimitusketjun 4 kuljetuskustannukset

LIITE J: Oljen hinnan muodostuminen toimitusketjuissa

1. JOHDANTO

Tässä diplomityössä käsittelen oljen hyödyntämismahdollisuuksia voimalaitoksen energiantuotannossa. Tämän lisäksi tarkastelen hyödyntämismahdollisuuksien taloudellisuutta. Olki tarjoaa valtavan energiapotentiaalın energiantuotannossa nykytasoon verrattuna ja sillä voitaisiin osittain korvata fossiilisia polttoaineita. Koska oljen hyödyntäminen Suomessa on vähäistä, eikä siitä ole paljoa käytännön sovelluksia koskevaa tutkimustietoa, käytän tarkastelussa vertailukohtina metsähakkeen roolia Suomen energiantuotannossa ja oljen roolia Tanskan energiantuotannossa. Tanskaa pidetään edistyneimpänä maana, joka hyödyntää olkea energiantuotannossaan.

Luvussa 2 käy ilmi, että olki on viljanviljelyn sivutuote, jonka hyödyntäminen energiantuotannossa olisi mahdollista muiden käyttötarkoitusten kuten kuivikekäytön ja maalaa-dun ylläpidon ohella. Olki on osa energialähteiden laajaa kirjoa, ja luvussa 2 kerron kuinka olen oljen sijoittanut uusiutuvien energialähteiden jaotteluun. Vaikka viljoista ohran, vehnän ja kauran viljelypinta-alat muodostavat valtaosan (94 %) viljojen viljelypinta-alasta, on toki myös muitakin viljalajikkeita. Luvussa 2 selitän heinäkasveihin kuuluvan viljan hieman yksinkertaistetun rakenteen ja sen mistä olki muodostuu.

Luvussa 3 käyn läpi oljen ominaisuuksia ja sitä millaisen potentiaalın olki muodostaa energiantuotannossa. Energiapotentiaaliin vaikuttavat oljen tehollinen lämpöarvo, saanto ja saatavuus. Lisäksi taloudelliseen potentiaaliin vaikuttavat vallitseva energian hintataso, päästöoikeudet ja tuet. Energiapotentiaaleja oljelle tässä työssä on kolme erilaista: teoreettinen, tekninen ja teknis-taloudellinen energiapotentiaali. Haasteita oljen hyödyntämiselle energiantuotannossa aiheuttavat muun muassa oljen korjuun sääriippuvuus ja alhainen tiheys kuljetuksissa.

Luvussa 4 kerron kuinka viljelyalueet sijoittuvat maantieteellisesti ja millaisia eroja eri alueilla on Suomessa. Viljanviljelyn pinta-alan prosentuaalisesta osuudesta suhteessa vastaavan alueen kokonaismaapinta-alaan käytän tässä työssä termiä viljelyintensiteetti. Koko Suomessa se on vain noin 4 %, Varsinais-Suomi olisi otollisin alue hyödyntää olkea energiantuotannossa, sen viljelyintensiteetti on 19,3 %. Tanskassa vastaava luku on 35 %.

Luvussa 5 selviää, että olkea voidaan hyödyntää polttolaitoksissa joko polttamalla olkea sellaisenaan silppuna, paaleina, briketteinä tai pelletteinä, tai seoksena muiden polttoaineiden seassa. Oljen polttaminen voidaan luokitella muun muassa voimalaitoksessa käytetyn polttotekniikan, toimintaperiaatteen tai teholuokan perusteella. Luvussa 5 kerron neljästä esimerkkivoimalasta. Oljen polttamisessa ongelmaksi muodostuvat poltto-tekniisesti oljen korkeat haitallisten alkuaineiden ja tuhkan pitoisuudet. Oljen polttaminen muiden polttoaineiden seassa, eli seospoltto, on hyvä ratkaisu tähän.

Luku 6 käsittelee oljen korjuuta ja käsittelyä. Oljen korjuu alkaa jo viljasadon korjuussa eli puinnissa, sillä tällä on omat vaikutuksensa oljen korjuuseen. Olki voidaan korjata pelloilta pyörö-, kanttipaaleina tai irto-olkena. Irto-oljen tiheys on todella alhainen, paalien tiheys on jo kohtalaisella tasolla. Suurta tiheyttä tavoiteltaessa olki kannattaa käsitellä briketeiksi tai pelleteiksi. Pelletin tiheys on liki 20-kertainen verrattuna irto-oljen tiheyteen.

Luku 7 käsittelee oljen logistiikkaa eli siinä käyn läpi oljen varastointi- ja kuljetusmahdollisuuksia. Varastoinnin tärkein tehtävä on pitää olki kuivana. Olki voidaan varastoida aumoissa irto-olkena. Paalien varastoinnille on useampia vaihtoehtoja kuten pellonreunavarastojen paalikat, käärityt paalit ja varastorakennukset. Terminaalivarastoissa oljen varastointi onnistuu sekä paaleina, briketeinä että pelletteinä. Oljen kuljetusratkaisuna käytän tässä työssä täysperävaunuorma-autokuljetusta eli rekka-autokuljetusta ja traktorikuljetusta.

Luvussa 8 tarkastelen ja vertailen oljen eri vaiheita ja reittejä pellolta polttoon. Toimitusketjuvaihtoehtoja oljelle tämän työn rajaukset huomioidenkin on vielä 40 erilaista. Luvussa 8 vertailen briketöintiä ja pelletöintiä keskenään sekä kuljetusvaihtoehtojen kuljetuskapasiteetteja eri muodossa olevalle oljelle. Oljen hinnan muodostumiselle käytän tässä työssä seuraavanlaisia muodostajia: maanviljelijän korvaus oljesta, maanviljelijän tai urakoitsijan korvaus korjuutyöstä, kuljetusyrittäjän korvaus kuljettamisesta sekä briketöinnin tai pelletöinnin tekijän korvaus käsittelystä. Terminaalivarastointia en ota huomioon oljen hinnan muodostumisessa tässä työssä.

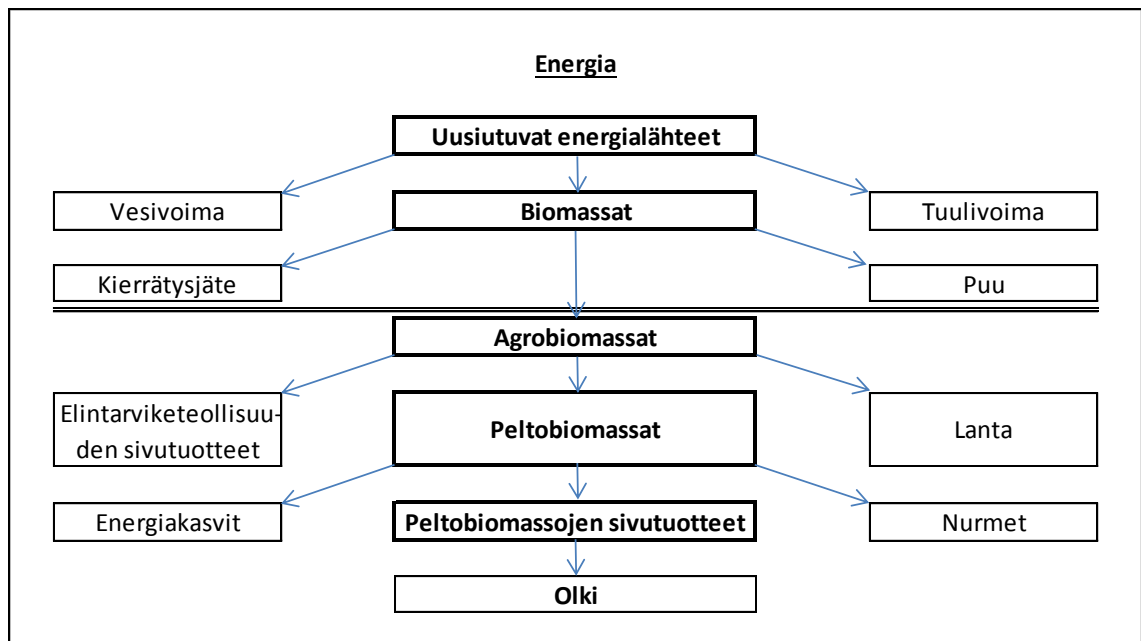
Luvussa 9 otan Naantaliin tulevan monipolttainevoimalaitoksen esimerkkivoimalaitokseksi oljen hyödyntämiselle energiantuotannossa. Valitsen voimalaitokselle kolme erilaista energiantuotantotavoitetta oljen osuudelle: 300 GWh/a, 150 GWh/a ja 75 GWh/a. Näille tavoitteille tarkastelen ja vertailen neljää erilaista toimitusketjua kustannusten osalta. Yhdessä olki on paalina koko toimitusketjun aikana, kahdessa olki briketöidään jossain vaiheessa toimitusketjua ja yhdessä olki pelletöidään.

2. OLKI

Olki on viljanviljelyn ohessa kehittyvä sivutuote. Viljan puinti tuottaa pellolle irtonaisen ja kerättävissä olevan oljen. Olki on täten termi tälle pellolle syntyvälle ja viljakasvin osista muodostuvalle biomassalle, ei yksittäinen viljakasvin osa. Olkea käytetään lähinnä maalaadun ylläpitoon, karjan kuivikkeena ja jonkin verran energiantuotantoon. Energiantuotannossa olki on osa laajaa ja monitasoista uusiutuvien energialähteiden valikoimaa. Energiantuotannossa olki ei lisää hiilidioksidipäästöjä uusiutuvana energiana ja on lisäksi kotimainen polttoaine voimalaitoksille.

2.1 Olki osana energialähteitä

Olki on osa energialähteiden laajaa kirjoa. Tähän diplomityöhön olen laatinut kuvan 1 mukaisen jaottelun havainnollistamaan oljen sijoittumista uusiutuviin energialähteisiin. Jaottelu on osittain samanlainen kuin kandidaatintyössäni ja pohjautuu Halosen et al. (2003), Pahkalan et al. (2009), Hakala et al. (2012) ja Mikkolan (2012) teksteissä ilmenneisiin jaotteluihin.



Kuva 1: Havainnollistava energialähteiden jaottelu.

Jaottelu ei ole kaikenkattava ja sen vasemmassa sekä oikeassa reunassa mainitut energialähteet ovat ainoastaan esimerkkejä muista energialähteistä. Todellisuudessa energialähteitä on enemmän. Huomion arvoista on myös, että agrobiomassat ja etenkin sen alla

olevat kohdat voitaisiin jaotella eri tavoin riippuen lähteestä. Tässä työssä keskityn vain olkeen ja koen jaottelun olevan hyvä ja havainnollistava sen osalta.

Agrobiomassat

Agrobiomassalla tarkoitetaan maataloudesta peräisin olevaa biomassaa. Sanaa pelto-biomassa käytetään myös samassa tarkoituksessa, mutta peltobiomassa on agrobiomas-san osajae (Mikkola 2012). Muita agrobiomassoja peltobiomassojen ohella ovat lanta ja elintarviketeollisuuden sivutuotteet kuten teurasjätteet, rankki ja hera.

Peltobiomassat

Pelloilla viljeltävät kasvit muodostavat peltobiomassaa. Peltobiomassat voidaan jaotella kolmeen osaan: nurmikasveihin, peltobiomassojen sivutuotteisiin ja energiakasveihin. Nurmikasveihin kuuluvat yli 5 vuotta vanhat pysyvät laitumet ja alle 5 vuotta vanhat lyhytikäiset nurmet (Pahkala et al. 2009). Peltobiomassojen sivutuotteilla tarkoitetaan esimerkiksi viljojen olkia, öljykasvien varsia ja juurikasvien naatteja, jotka syntyvät kasvinviljelyn sivutuotteina. Energiakasvit voidaan vielä erotella erikseen ravinnoksi kelpaaviin kasveihin kuten viljat, joita voidaan käyttää myös energiantuotantoon ja ravinnoksi kelpaamattomiin kasveihin kuten energiapaju, jota viljellään pelkästään energiantuotantoa varten (Pahkala et al. 2009).

Peltobiomassojen sivutuotteet

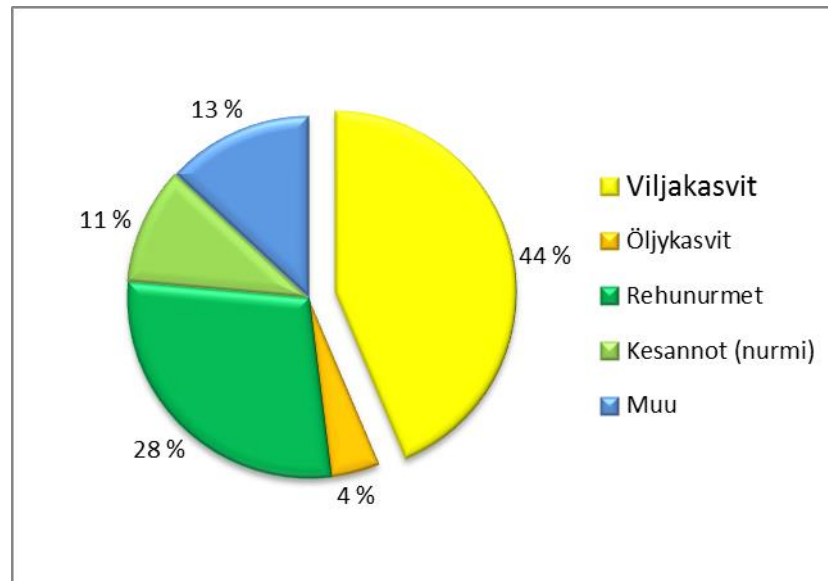
Peltobiomassojen sivutuotteeksi luokitellaan kaikki sellainen pellolla kasvanut biomassaa, joka muodostuu tavoiteltavan ja ravinnoksi tai rehuksi tarkoitetun päätuotteen ohella. Toisin sanoen mitään kasvia ei viljellä sen sivutuotteen takia, mutta kasvin päätuotetakaan ei voida tuottaa ilman sivutuotteen muodostumista. Pahkala et al. (2009) listasivat raportissaan viideksi tärkeimmäksi peltobiomassojen sivutuotteita tuottaviksi kasveiksi viljat, öljykasvit, palkokasvit, juurikasvit ja sokerikasvit. Olki on yksi peltobiomassojen sivutuotteista.

2.2 Viljoista olkea

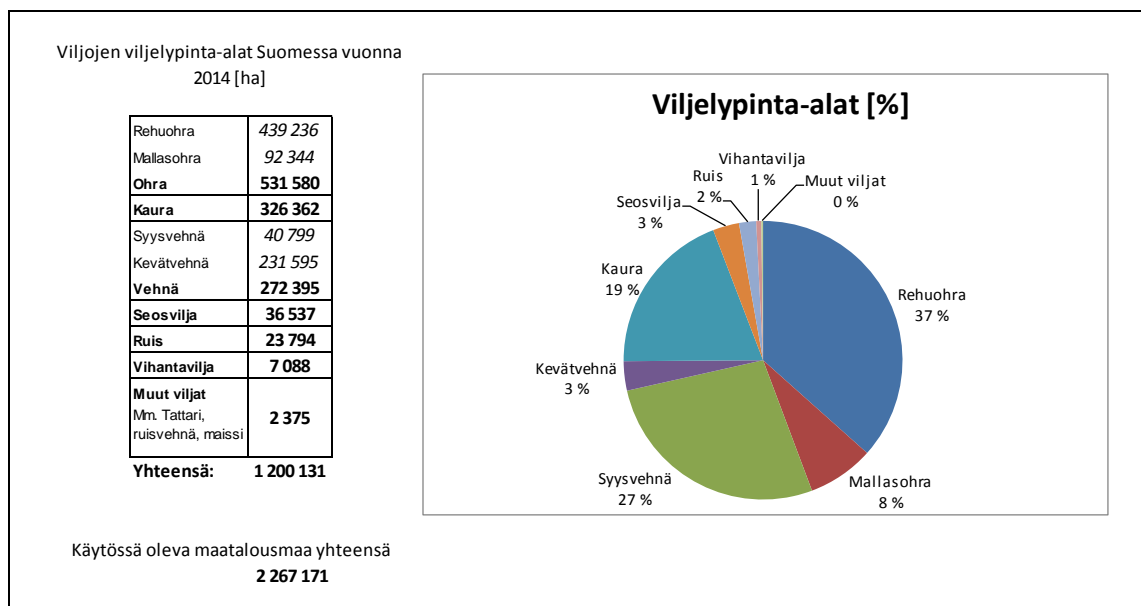
Olkea muodostuu viljojen viljelyn sivutuotteena. Alakangas (2000) luettelee julkaisussaan viljalajikkeiksi ohran, kauran, vehnän ja rukiin. Luonnonvarakeskus (2014) jaottelee viljat tilastoinnissaan seuraavanlaisesti. Ohria ovat rehu- ja mallasohra, vehniä ovat syys- ja kevätvehnä. Lisäksi tilastoinnissa mukana ovat kaura, ruis, seosvilja, vihantavilja ja muut viljat kuten tattari ja ruisvehnä. (Luonnonvarakeskus 2014). Luonnonvarakeskuksen (2014) tilastoinnissa viljalajikkeita on enemmän ja jaottelu poikkeaa viljalajikkeiden mukaisesta jaottelusta.

Raportissaan Pahkala et al. (2009) käyttivät tilastokeskuksen tietoja, joiden mukaan vuonna 2007 Suomessa oli noin 2,3 milj. (miljoona) ha peltoa. Kokonaispeltopinta-ala ei tästä juurikaan ole muuttunut, esimerkiksi vuonna 2014 kokonaispeltopinta-ala oli

2 267 171 ha (Luonnonvarakeskus 2014). Kokonaispeltoalasta noin 1 milj. ha:lla viljeltiin viljakasveja, noin 0,1 milj. ha:lla öljykasveja, noin 0,65 milj. ha:lla rehunurmikasveja ja noin 0,24 milj. ha oli kesannolla (Pahkala et al. 2009).



Kuva 2: Viljelyalojen jakautuminen eri peltokasveille vuonna 2007. Lähde: Pahkala et al. 2009.

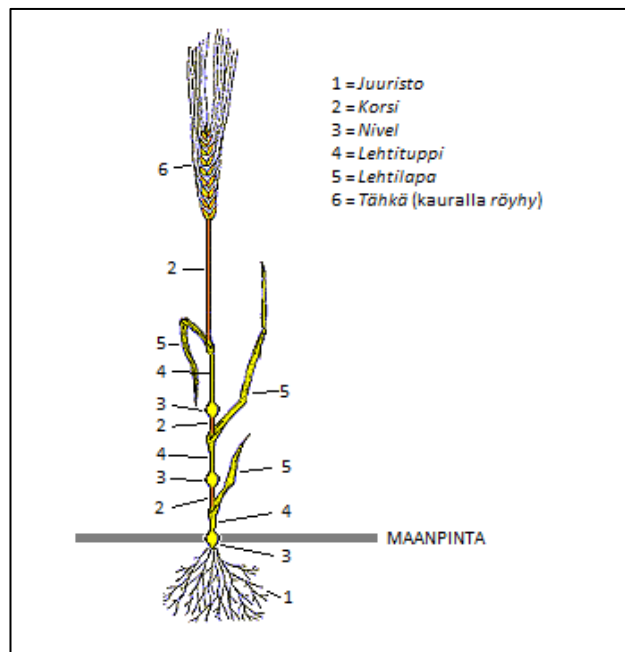


Kuva 3: Viljojen viljelypinta-alat Suomessa vuonna 2014. Yksikkönä ha (hehtaari). Lähde: Luonnonvarakeskus 2014.

Ohrien, vehniä ja kauran viljelypinta-alat muodostavat valtaosan (94 %) viljojen viljelypinta-alasta, kuten edellä olevasta kuvaajasta ja taulukosta voi päätellä. Tarkasteltaessa viljoja koko Suomen tai maakuntien osalta on kyse suurista volyymeistä ja tarkastelu ohrien, vehniä ja kauran osalta on tarpeeksi kattava. Puolestaan tarkasteltaessa viljoja paikallisemmin on hyvä huomioida etenkin ruis ja seosvilja.

2.3 Viljojen rakenne ja olki

Viljat lukeutuvat heinäkasveihin ja niillä on kasviryhmälleen tyypillinen rakenne. *Juuristo* muodostuu siemen- ja ravintojuurista. *Korsi* on ontto varsi, jossa on *niveliä* ja *nivelvälälejiä*. Jokaisesta nivelestä kasvaa lehti, joka muodostuu *lehtitupesta* ja *lehtilavasta*. Lehtituppi on nivelen yläpuoliselle nivelvälille kietoutunut lehden osa, ja lehtilapa on korresta erkaantuva lehden osa. Jokaisessa nivelessä on myös verso eli korresta työntyvä haara. Ylin kasvin osa on *tähkä* tai *röyhy* viljalajikkeesta riippuen. (Peltonen-Sainio et al. 2005).



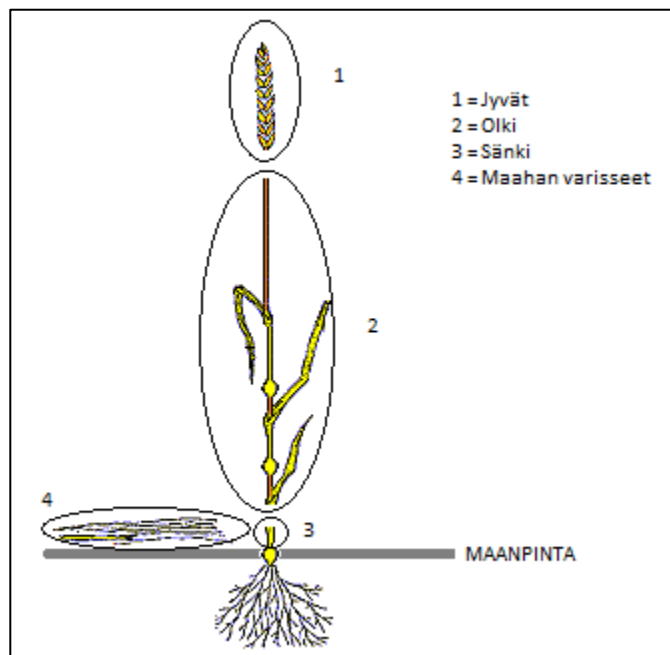
Kuva 4: Havainnekuva puintivalmiin viljakasvin rakenteesta. **Lähteet:** Peltonen-Sainio et al. 2005 ja Ruokatieto.



Kuva 5: Kasvuvaiheessa olevien kauran röyhy sekä ohran ja vehnän tähkät. **Lähde:** Peltonen-Sainio et al. 2005.

Kauralla on röyhy ja muilla viljoilla on tähkä. Kukasta pölyttymisen seurauksena kehittynyt jyvä on tähkässä tai röyhyssä. (Peltonen-Sainio et al. 2005).

Edellä luetellussa viljakasvin rakenteessa ei mainittu olkea, sillä olki ei varsinaisesti ole yksittäinen viljakasvin osa vaan termi. Kotimaisten kielten keskuksen kielitoimiston sanakirjan mukaan *olki* on tuleentuneen korsiviljakasvin korsi (nivelikäs varsi). *Tuleentuminen* kuvaa puolestaan viljakasvin valmistumista korjuukypsäksi. (Kielitoimiston sanakirja). Tämän työn kannalta kielitoimiston käyttämää määritelmää oljesta on hyvä hieman laajentaa siten, että oljeksi katsotaan puinnin jälkeen pellolle jäänyt ja kerättävissä oleva irtoaines viljakasvista. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että juuristo ja leikkuukorkeuden alapuolella oleva korsi eli sänki jäävät maahan, jyvät puidaan talteen, osa kasvinosista varisee maahan ja loput ovat olkea. Energiantuotannon kannalta kasvien tuotannossa kiinnostaa korjattavissa oleva maanpäällisen kasvuston määrä (Hakala et al. 2012).



Kuva 6: Havainnekuva jyvistä, oljesta, sängestä ja maahan varisseista. Lähde: Ruokatieto.

2.4 Oljen käyttö

Olki on maatalouden viljatuotannon sivutuote, joka yleensä silputaan ja muokataan maahan sadonkorjuun yhteydessä ja käytetään näin maanparannukseen (Mikkola 2012). Joitakin marginaalisia käyttötarkoituksia oljella on, kuten käyttö karjan kuivikkeena tai maa- ja puutarhatalouden katemateriaalina. Käytettäessä olkea kuivikkeena oljesta käytetään termiä *pahna* (Kielitoimiston sanakirja). Oljen käyttämisen pahnana on arvioitu olevan vain noin 10–20 % vuosittaisesta olkisadosta (Hakala et al. 2012). Oljen katekäytöstä ei ole tilastollista tai arvioitua tietoa.

Vuonna 2003 oljen energiakäyttö oli noin 27 GWh (gigawattitunti) (Halonen et al. 2003). Verrattaessa oljen energiakäyttöä teoreettiseen energiapotentiaaliin 11 TWh (te-

3. OLJEN POTENTIAALI ENERGIANTUOTANNOSSA

Olki tarjoaa valtavan energiapotentiaalin energiantuotannossa nykytasoon verrattuna, unohtamatta maalaadun ylläpitoa ja kuivikekäyttöä, viitaten luvun 2.4 lukuihin. Oljen energiapotentiaalin laskennalliseen määrään vaikuttavat oljen ominaisuuksista eniten tehollinen lämpöarvo, oljen saanto peltohehtaarilta, oljen saatavuus ja ennen kaikkea se millä tasolla energiapotentiaalia tarkastellaan.

Oljen saatavuus kuvaa sitä kuinka hyvin viljelijät ovat valmiita luopumaan oljestaan tai myymään olkensa. Oljen teholliseen lämpöarvoon ja saantoon vaikuttaa jossain määrin viljalajike ja viljelyalue. Kosteus vaikuttaa huomattavasti lämpöarvoon. Energiapotentiaaleja oljelle tässä työssä on kolme erilaista: teoreettinen, tekninen ja teknis-taloudellinen energiapotentiaali. Näistä teknis-taloudellinen energiapotentiaali on käytökelpoisin, koska se ottaa huomioon myös oljen keräämisen kestävyuden.

Oljen potentiaaliin energiantuotannossa taloudellisesti vaikuttavat energian hintataso, päästöoikeudet ja erilaiset tuet. Oljelle suotuisimmassa tilanteessa sähkön ja lämmön hinnat olisivat korkeat, päästöoikeudet olisivat korkeat, mikä nostaisi fossiilisten polttoaineiden hintoja, ja oljella olisi syöttötariffi nostamassa siitä saatua korvausta.

Oljen käytöllä energiantuotannossa on monia haasteita kuten esimerkiksi korjuun sääriippuvuus, oljen arkuus liialliselle kosteudelle ja oljen alhainen tiheys kuljetuksissa. Lisäksi oljen hyödyntäminen energiantuotannossa koetaan haastavammaksi uutena teknologiana kuin se ehkä on. Vaikka energiamarkkinoita hallitsevaksi energiamuodoksi oljen energiatuotannosta ei ole, olisi sillä positiivisia vaikutuksia ja se olisi muiden uusiutuvien energiamuotojen tukena.

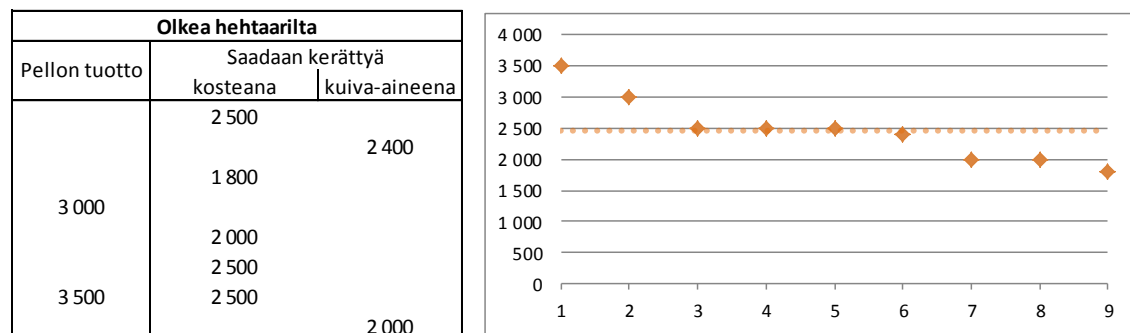
3.1 Oljen ominaisuudet

Yksi oljen energiapotentiaalin hyödyntämisen suurista ongelmista liittyy sen tiheyteen. Irto-oljen tiheys on vain 30–40 kg/m³ (kilogrammaa per kuutiometri). Tämä tekee oljen kuljettamisen kalliiksi. (Alakangas 2000). Suomen oloissa oljen energiakäytön ongelmana ovat lisäksi syksyn kosteat ja epävakaa korjuuolot. Oljen kosteuden tulisi olla 20–25 %, jotta välttyttäisiin olkipaalien homehtumiselta. Puitaessa kosteus voi vaihdella välillä 35–60 %. Tämän takia oljen pitäisi saada kuivua pellolla joitakin päiviä. Keino-kuivaus lienee kannattavuuden kannalta haastavaa. (Hakala et al. 2012).

Oljen lämpöarvo ei ole yksiselitteinen, siihen vaikuttavat jossain määrin viljalajike ja huomattavasti oljen kosteus. Liitteeseen A olen kerännyt olkien ja vertailun vuoksi muutaman muun polttoaineen tehollisia kuiva-ainelämpöarvoja ja kosteuden sisältäviä lämpöarvoja. Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa oljella on välillä 16,7–17,8 MJ/kg_{ka} (megajoulea per kilogrammaa kuiva-ainetta) viljalajikkeesta riippuen ja keskiarvo 17,2 MJ/kg_{ka}. Huomion arvoista on, että tämä 16,7–17,8 MJ/kg_{ka} tehollisena lämpöarvona on teoreettinen, eikä ole käytännössä saavutettavissa, sillä oljessa on aina kosteutta alentamassa lämpöarvoa. Epäsuorasti lämpöarvoa alentavia tekijöitä ovat lannoitteisiin, pelto-työhön, korjuuseen ja kuljetuksen kuluva energiamäärä. Myös voimalaitosten hyötysuh-teilla on vaikutusta lopulliseen peltobiomassasta saatavaan energiamäärään. (Hakala et al. 2012). Tehollinen lämpöarvo oljella 20 %:n käyttökosteudessa on puolestaan välillä 12,9–13,8 MJ/kg (megajoulea per kilogramma) ja keskiarvo 13,4 MJ/kg. Epäsuorasti lämpöarvoa alentavia tekijöitä en tässä työssä ota huomioon.

3.2 Oljen saanto ja saatavuus

Oljen saanto peltohehtaaria kohden vaikuttaa merkittävästi oljen energiapotentialiin. Olkea syntyy viljanviljelyssä likimain saman verran kuin on jyväsato eli noin 2–4 t_{ka}/ha (tonnia kuiva-ainetta per hehtaari) (Finér et al. 2014). Tarkempi arvio saannosta vaihtelee lähteittäin:



Kuva 7: Arvioita oljen saannosta per hehtaari.

- länsisuomalaiselta viljapelloilta saadaan paalattua olkea 2,5 t/ha (tonnia per hehtaari) (Finér et al. 2014)
- Pahkala et al. (2009) käyttivät raportissaan oljelle sato-oletusta 2,4 t_{ka}/ha
- Mikkola (2012) mainitsi väitöskirjassaan saannon 1,8 t/ha
- Suomen Bioetanolin toimitusjohtaja Atte Laukkanen totesi Ylen talousuutisissa, että olkea voisi saada jopa 3 t/ha (Kykkänen 2014)
- peltohehtaarilta saadaan kerättyä olkea noin 2 t/ha (Vuosjoki 2011)
- hehtaarilta vähintään 2 500 kg (kilogramma) olkea (Honkavaara 2014)
- Lötjönen & Kässi (2013) mainitsivat 3,5 t/ha olkisadon, josta 2,5 t/ha saadaan kerättyä paaleina talteen
- Saarela & Lauhanen olettivat tekstissään keskimääräiseksi olkisaannoksi 2 t_{ka}/ha.

Kaikki listatut saantoarviot ovat edellä mainitun vaihteluvälin, noin 2–4 t_{ka}/ha, välissä. Tarkemmin ottaen näiden vaihteluväli on 1,8–3 t/ha. Hajontaa arvioissa tuottavat maantieteellisyys, puintikorkeus ja eri viljalajikkeet. Tässä työssä tukeudun Finérin et al. (2014), Lötjösen & Kässin (2013) ja Honkavaaran (2014) mainitsemaan 2,5 t/ha olkisaantoon. Avaintekijä oljen saannon kohdalla on korjuukaluston tarkkuus. Oljen korjuukaluston on oltava tarkka, jotta korjuulle saadaan hyvä saanto. Tanskassa käytetään laskelmissa olkisatona 3 t/ha. (Finér et al. 2014).

Saannon lisäksi oljen saatavuus, eli maanviljelijöiden halukkuus antaa tai myydä olkensa energiantuotantoon, vaikuttaa luonnollisesti energiapotentiaaliin. Raisioagron Varsinais-Suomen ja Satakunnan alueen sopimusviljelijöille teetetyn kyselyn perusteella noin 50 % viljelijöistä voisi myydä olkensa joka vuosi ja yli 20 % joka toinen vuosi. Kyselyyn tuli vastauksia 403 kappaletta 1936:sta. (Kuusela 2013). Välttilän (2014) teetti kyselyn 191 somerolaiselle maanviljelijälle. Kyselyyn vastanneista 55 maanviljelijästä 37 (67 %) oli valmis toimittamaan olkensa energiakäyttöön. (Välttilä 2014). Kolmannessa kyselyssä 50 % keskisuomalaisista viljatilallisista oli valmiita myymään kaiken olkensa. Lihakarjatilallisista vain 28 % oli valmiita myymään olkensa. Kyselyyn vastasi yhteensä 1 900 ha:n viljelyalueelta maanviljelijät Keski-Suomessa. (Paappanen et al. 2011).

3.3 Energiapotentiaali ja keräämisen kestävyys

Oljelle voidaan määrittää erilaisia energiapotentiaaleja riippuen siitä, kuinka karkeasti tai tarkasti energiapotentiaalia on tarkoitus käsitellä. Näitä ovat teoreettinen, tekninen ja teknis-taloudellinen energiapotentiaali. Kerätessä olkea pelloilta on huomioitava keräyksen vaikutus maalaatuun, eli keräyksen kestävyys. (Pahkala et al. 2009, Hakala et al. 2012).

3.3.1 Energiapotentiaali

Teoreettisen potentiaalin oljelle muodostaa oljen kaikki muu biomassa paitsi varsinainen sato eli jyvät. Tämä potentiaali tarkoittaa, että korjuun yhteydessä peltoon ei jäisi biomassaa lainkaan, vaan kaikki kerättäisiin talteen. Teoreettista olkimäärää ei saada korjattua talteen, sillä osa oljesta jää peltoon sänkenä (Virtanen et al.). *Tekninen potentiaali* puolestaan ottaa huomioon tämän joka tapauksessa korjuun yhteydessä peltoon jäävän osuuden, joka muodostuu puimurin jättämästä sängestä ja muutoin korjuukoneiden ulottumattomissa olevasta biomassasta. Viljoilla osa biomassasta jää peltoon sänkenä ja osa varisee korjuun takia. Pahkala et al. (2009) käyttivät raportissaan oljen kohdalla 30 %:n vähennystä teknisen potentiaalin saamiseksi teoreettisesta. *Teknis-taloudellinen potentiaali* ottaa huomioon teknisen potentiaalin rajoituksen lisäksi biologiset, muut tekniset ja taloudelliset tekijät. Raportissaan Hakala et al. (2012) mainitsivat tällaisiksi maan kasvukunnon vaatiman osuuden, oljen muun käytön osuuden, sääolojen takia käyttökelvottoman osuuden ja suuren kuljetusetäisyyden pois rajaaman osuuden.

Näiden vaikutus vaihtelee huomattavasti muun muassa alueittain ja maalajeittain. Hakala et al. (2012) olettivat kasvukunnon säilyttämisen vaikutuksen olevan 50 %, mikä on suurin vaikutuksista. Sääolojen vaikutus on Pohjoismaissa 10 %. Muun käytön, joka on lähinnä kuivikekäyttöä, vaikutus on 10–20 %. Myös Mikkola (2012) käytti väitöskirjassaan 20 %:n osuutta kuivikekäyttönä. Lisäksi kuljetusetäisyyden vaikutus rajaa esimerkiksi paalattun oljen maksimikuljetusetäisyydeksi noin 100–200 km (kilometri). Huomion arvoista on, että kyseessä on paalattu olki eikä irto-olki, mikä tarkoittaa, että olkea on käsitelty. Tosin olki paalataan lähes poikkeuksetta. Teoreettinen potentiaali rajautuu huomattavasti teknis-taloudellisista vaikutuksista. Hakala et al. (2012) käyttivät 80 % vähennystä, jota voi pitää jo melko varovaisena. Vertailun vuoksi Tanskassa oljen potentiaalista, joka on 5,5 milj. t/a, 1,8 milj. t/a (33 %) käytetään kuivikkeena, 1,3 milj. t/a (24 %) hyödynnetään energiantuotannossa ja loput noin 2,1 milj. t/a (38 %) muokataan maahan (Finér et al. 2014).

Oljen vuosittaiseksi energiapotentiaaliksi Mikkola (2012) arvioi 8–10 TWh. Samansuuntaiseen arvioon pääsen kuvan 8 laskelmalla, jossa, oletan että Suomessa on 1,2 milj. ha viljapeltoja, olkea saadaan pelloilta 2,5 t/ha ja oljen lämpöarvo on 13,4 MJ/kg. Näillä oletuksilla saan energiapotentiaaliksi noin 11 TWh. Laskelman tulos on tekninen energiapotentiaali.

<u>Viljapeltojen kokonaispinta-ala:</u>	
1 200 000 ha	
<u>Olkea keskimäärin hehtaarilta:</u>	
2 500 kg/ha	
<u>Oljen lämpöarvo:</u>	
13,4 MJ/kg	Kosteus-% ~20%
<u>Oljen energiamäärä:</u>	
40 200 000 000 MJ	
40 200 TJ	
11,17 TWh	

Kuva 8: Oljen tekninen energiapotentiaali Suomessa.

Oljen teknis-taloudelliseksi potentiaaliksi Hakala et al. (2012) arvioivat 2,1 TWh. Jos oljen kohdalla oletetaan, että vuonna 2003 oli sama teknis-taloudellinen energiapotentiaali kuin vuonna 2012, oli oljen energiakäyttö vain noin 1 % verran potentiaalista (Halonen et al. 2003).

3.3.2 Keräämisen kestävyys

Keräämisen kestävyden eli kasvukunnon säilyttämisen suureen vaikutuksen syynä on se, ettei kaikkea olkea voida kerätä talteen joka vuosi kaikilta alueilta. On oleellista jättää peltoon mikrobien ravinnoksi myös muuta biomassaa juuriston lisäksi (Kulmala 2013). Laajamittaisella poisviennillä on vaikutuksensa pellon ekologiaan muun muassa

multavuuden osalta. Tarkkaa tutkimustietoa tästä vaikutuksesta on kovin vähän. Maissin osalta USA:ssa vastaavaa tutkimustietoa on jonkin verran. Oljella on monia suotuisia vaikutuksia maalaatuun pellolle jätettynä (Pahkala et al. 2009, Finér et al. 2014):

- Lisää maan humusta eli orgaanista ainesta
- Parantaa maan rakennetta
- Lisää biologista aktiivisuutta
- Suojaa peltoa tuuli- ja vesieroosiolta
- Vähentää veden haihtumista pellolta
- Lisää pellon kestävyttä liettymistä vastaan.

Viileässä ilmastossa oljen pellolle jättämisellä saattaa kuitenkin olla myös sadon kannalta epäsuotuisa vaikutus, sillä ne hidastavat maan lämpenemistä. (Pahkala et al. 2009). Oljen poiskerääminen maalaadun heikentymättä eli kestävä keräys riippuu monesta tekijästä, kuten maalajista, ilmasto-olosuhteista, topografiasta, eroosioherkkyydestä, viljelykierrosta, satotasosta, orgaanisen lannoitteen määrästä ja pellon muokkaustekniikasta (Hakala et al. 2012). Tarvitaan siis hyvinkin aluekohtaista ohjeistusta, ettei viljelykelpoisuutta vaaranneta liiallisella poiskeräämisellä. Joitakin arvioita kirjallisuudesta löytyy siitä kuinka usein ja paljon olkea ja muita peltobiomassojen sivutuotteita voitaisiin kerätä pois, mutta ne eivät ota huomioon aluekohtaisuutta. Pahkala et al. (2009) mainitsivat raportissaan, että 30 % voitaisiin kyntämättömässä viljelyssä kerätä pois ilman, että lisittäisiin eroosiota. Hakala et al. (2012) puolestaan mainitsivat raportissaan kolme arviota, joista yhdessä voitaisiin kerätä pois joka kolmas vuosi (33 %), toisessa joka toinen vuosi (50 %) ja kolmannessa kahtena kolmesta vuodesta (66 %). Näistä Hakala et al. (2012) valitsivat omaan raporttiinsa keskimmäisen arvon eli peltobiomassojen sivutuotteet voitaisiin kerätä talteen joka toinen vuosi kuten edellisessä luvussa kävi ilmi. Mäkinen et al. (2006) oletivat, että ravinnetaloudellisista ja maaperärakenteellisista syistä olkea voi samalta paikalta kerätä joka toinen vuosi (50 %).

3.4 Oljen saannon, saatavuuden, energiapotentiaalien ja keräämisen kestävyden yhteisvaikutus

Taulukossa 1 on yhteenveto oljen eri energiapotentiaaleista. Siinä teknis-taloudellisia energiapotentiaaleja on 8 kappaletta suhteutettuna sekä teoreettiseen että tekniseen energiapotentiaaliin. Teknis-taloudellinen vaikutus muodostuu sään vaikutuksesta, 2 vaihtoehdosta kuivikekäytölle ja 4 vaihtoehdosta kasvukunnon säilyttämiselle. Kuten taulukosta 1 käy ilmi teknis-taloudellinen energiapotentiaali vaihtelee liki 40 %:sta 15 %:iin teoreettisesta energiapotentiaalista.

Tähän työhön valitsen 50 % kasvukunnon säilyttämisen, eli olki olisi kerättävissä joka toinen vuosi energiakäyttöön. Tätä valintaa tukevat Hakalan et al. (2012) ja Mäkisen et al. (2006) arviot siitä, että olki voidaan kerätä joka toinen vuosi. Lisäksi Pahkalan et al. (2009) mukaan 30 % oljen teoreettisesta biomassasta jää joka tapauksessa joka vuosi

pellolle. Kuivikekäytölle ja sääolojen vaikutuksille molemmille valitsin 10 %:n vaikutuksen. Luvun 3.2 olkisaanto, 2,5 t/ha, edustaa teknistä energiapotentiaalia. Täten teoreettisen energiapotentiaalin mukainen olkisato olisi noin 3,6 t/ha ja teknis-taloudellisen energiapotentiaalin mukainen olkisato olisi noin 1,01 t/ha, joka on 40,5 % teknisestä. Luvussa 3.2 mainitsemieni kyselyiden tulosten perusteella oletan maanviljelijöiden halukkuudeksi myydä olkensa 60 %, mutta tämän en katso aiheuttavan saantoon vähennyksiä.

Taulukko 1: Oljen energiapotentiaaleja.

Teoreettinen energiapotentiaali	Tekninen osuus teoreettisesta	Teknis-taloudellisten vähennyksien vaikutukset			Teknis-taloudellinen osuus teoreettisesta	Teknis-taloudellinen osuus teknisestä
		Kasvukunnon säilyttämisen	Kuivikekäyttö	Sääolot		
100 %	70,0 %	66,0 %	90,0 %	90,0 %	37,4 %	53,5 %
		50,0 %	80,0 %		33,3 %	47,5 %
		33,0 %			28,4 %	40,5 %
		30,0 %			25,2 %	36,0 %
					18,7 %	26,7 %
					17,0 %	24,3 %
					16,6 %	23,8 %
					15,1 %	21,6 %

3.5 Oljen taloudellinen merkitys – hinnat ja tuet

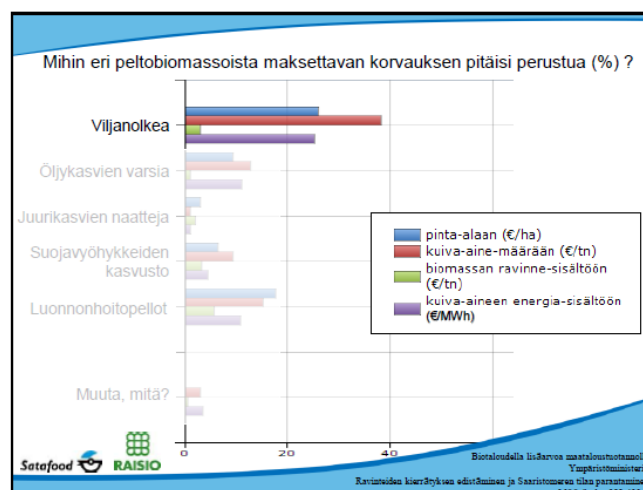
Suomeen ei ole samaan tapaan muodostunut vakiintuneita markkinoita oljelle kuten joissakin muissa Euroopan maissa on. Tanska on näistä hyvä esimerkkimaa. Suomessa maatilojen välisissä olkikaupoissa hinnoittelu on ollut paalien lukumääräisyyteen perustuvaa, ja niistä on jopa luovuttu ilmaiseksi, jos tämän on katsottu olevan eduksi viljelylle. Oljen käyttö eri tarkoituksiin on kuitenkin kasvamaan päin ja nykyisin enemmässä määrin olki mielletään tarkemmin hinnoiteltavaksi raaka-aineeksi kuten muutkin maataloustuotteet. (Finér et al. 2014).

Oljen hinta voidaan määrittää ainakin sen lannoitearvon ja polttoainearvon perustella. Lannoitearvon mukainen hinta oljelle vaihtelee välillä 7–13 €/t (euroa per tonni) (Finér et al. 2014). Lötjönen & Kässi (2013) puolestaan laskivat oljen lannoitearvoksi 28 €/t. Laukkanen arvioi, että olkitonnin hinta voisi olla noin 10–20 € (euroa) (Kykkänen 2014). Tanskassa oljen kantohinta on noin 20 €/t (Lötjönen & Kässi 2013). Nämä hinnat ovat viljelijälle maksettavia hintoja oljesta. Polttoainearvon mukainen hinta vaihtelee Tanskassa välillä 70–80 €/t ja Isossa-Britanniassa välillä 40–100 €/t riippuen alueesta, viljalajikkeesta ja paalin koosta (Finér et al. 2014). Yleisin oljen hinnoitteluperuste energiantuotannon kannalta on oljen massan ja kosteuden määritys. Kosteuden noustes-

sa olkitonnin hinta laskee, sillä kosteus heikentää oljen laatua, säilyvyyttä, lämpöarvoa ja vaikeuttaa käsittelyä. Oljen kosteudelle voidaan asettaa yläraja, jonka ylityttyä olki ei ole enää myynti- ja ostokelpoista. Oljen hinnan määrittäminen tulisi olla nopeaa ja luotettavaa. (Finér et al. 2014).

Energiantuotannon kannalta oljen hinnan tulisi olla sellainen, että koko tuotantoketju maanviljelijästä energiantuottajaan pystyy toimimaan kannattavasti (Finér et al. 2014). Viljelijän tulisi saada oljesta riittävä ja myyntiin kannustava hinta, mutta toisaalta hinta ei voi olla niin korkea, ettei energiantuottajan ole mahdollista saada voittoa tuottamastaan energiasta. Tähän vaikuttavat sähkön, lämmön, muiden polttoaineiden ja päästöoikeuksien hinnat.

Raisioagron Varsinais-Suomen ja Satakunnan alueen sopimusviljelijöille teetetyn kyselyn mukaan vajaa 40 % viljelijöistä kannatti kuiva-aineperusteista €/t_{ka} (euroa per kuiva-ainetonni) korvausperusteena, pinta-alaperusteista €/ha (euroa per hehtaari) ja biomassan ravinnesisältöön perustuvaa €/tn molempia kannatti reilu 20 %, kuva 9 (Kuusela 2013).



Kuva 9: Viljelijöiden mielipide oljen korvausperusteesta. Lähde: Kuusela 2013.

Markkinaehtoisten hintatasojen lisäksi poliittiset päätökset vaikuttavat vahvasti peltoenergian tuotantoon (Pahkala et al. 2009). Tällaisia poliittisia päätöksiä olisivat esimerkiksi korkea päästöoikeuden hintataso ja olkea koskeva peltoenergian syöttötariffi. Päästöoikeuksien korkea hintataso nostaisi fossiilisten polttoaineiden hintoja. Syöttötariffi puolestaan takaisi peltoenergiasta saatavan hinnan korkeammaksi, kuin mikä se olisi markkinavoimien määräämänä. Sillä taattaisiin energiantuottajien saama korvaus tuottamastaan energiasta ja samalla taattaisiin heidän kykyä maksaa polttoaineesta tuottajille alhaisien energiahintojen vallitessa. Peltoenergian syöttötariffin käytöstä Saksa on hyvä esimerkkimaa, jossa peltoenergiaa tuotettiin vuonna 2008 noin 1,75 milj. ha:n alueella. Saksassa syöttötariffilla kaikelle peltoenergiasta saatavalle energialle on taattu jopa 200 €/MWh (euroa per megawattitunti) hintataso. (Hakala et al. 2012).

3.6 Oljen haasteet energiantuotannossa

Raportissaan Hakala et al. (2012) listasivat hyvin peltoenergian tuotantoa koskevia haasteita tuotantoketjun eri vaiheissa. Seuraavassa on näitä haasteita sovellettuna pelkästään oljelle.

- Viljely;*
 - alhainen tuottajahinta
- Korjuu;*
 - korjuun sääriippuvuus
 - kalliit korjuukustannukset
 - toisinaan suuret korjuutappiot
- Varastointi;*
 - säilyvyys voi olla huono suuren kosteuden tai kastumisalttiuden takia
 - varastot kaukana toisistaan
- Kuljetus;*
 - kuormien energiatiheys usein alhainen
 - rajoittaa kuljetusmatkaa
 - sopivan kuljetuskaluston rajallisuus/puute
 - tiestö paikoin heikkoa
- Jalostaminen energiaksi;*
 - uudenlainen raaka-aine vaatii uutta teknologiaa
 - investointikynnys
 - tieto-taitoa puuttuu
 - päästöoikeuksien ja raaka-aineiden hinnat vaihtelevat
 - ennustettavuus- ja kannattavuusongelmia
 - asenneongelma uusien energialähteiden käyttöönotossa.

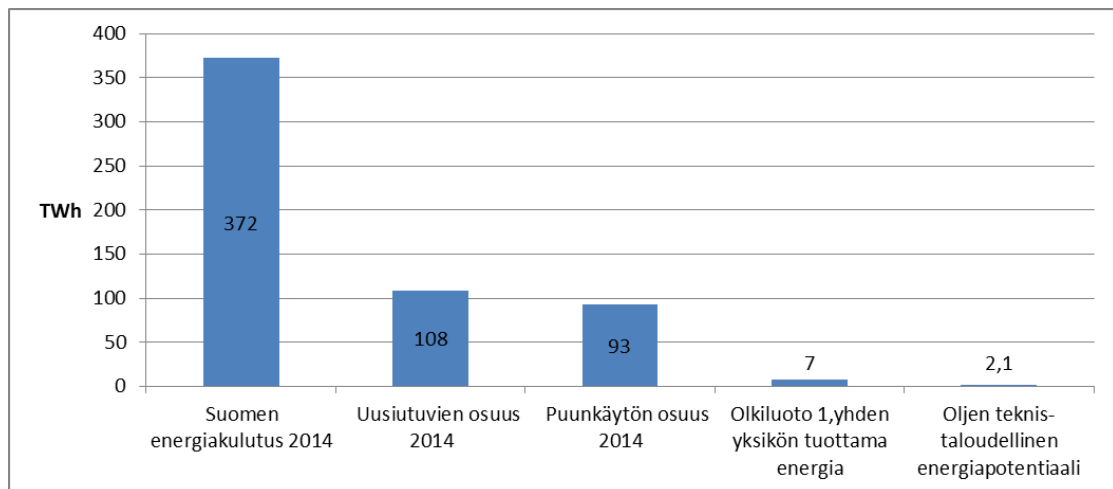
Hakala et al. (2012) myös huomauttivat, että useimmat edellä olleista haasteista ovat samanlaisia, jotka kohdattiin puuenergian osalta Suomessa 1980-luvulla. Haasteet on nyt kuitenkin ratkaistu ja puuenergia on vakavasti otettava energiamuoto. Peltoenergian kohdalla haasteiden ratkaisuisa voidaan hyödyntää kasvinjalostusta ja teknologiasarjaisuuksia parantamaan kannattavuutta. Lisäksi on tarve luoda peltobiomassoille omat tuotantoketjut, sillä peltobiomassat eivät sovellu hyvin nykyisiin puun ja turpeen tuotantoketjuihin. (Hakala et al. 2012).

3.7 Oljen vertailua muihin energialähteisiin

Olki muodostaa merkittävän potentiaalin, sillä oljella ei ole juurikaan muuta käyttöä eikä sen hyödyntäminen muodosta juuri minkäänlaista uhkaa ruoantuotannolle. Oljella ei tulla pääsemään esimerkiksi puunkäytön kanssa samalle tasolle energiantuotannossa, mutta puunkäytön kohdalla on huomioitava se, että jopa 25 % Suomen primäärienergiasta oli puuperäistä vuonna 2014. Oljen potentiaalin hyödyntäminen on tällä hetkellä vähäistä ja suurin osa potentiaalista on hyödyntämättä. Vaikka hyödyntämiseen liittyy

monia ongelmia, joista johtuen kaikkea potentiaalia, varsinkaan teoreettista potentiaalia, ei saada hyödynnettäväksi, pidän olkea vartenotettavana bioenergiälähteenä.

Suomen energiankulutus vuonna 2014 oli 372 TWh, josta uusiutuvien osuus oli 108 TWh (29 %) ja puun osuus oli 93 TWh (25 %) (Motiva 2014). Kuten edellä kävi ilmi, oljen teknis-taloudelliseksi energiapotentiaaliksi on arvioitu noin 2,1 TWh. Jos tämä potentiaali hyödynnettäisiin kokonaisuudessaan, saataisiin 0,5 % Suomen energiasta oljesta. Verrattaessa tätä puunkäytön lisäksi esimerkiksi Olkiluoto 1 ydinvoimalayksikön vuotuisen 7 TWh:n sähköntuotantomäärään, havaitaan, ettei oljella voitaisi parhaimmassakaan tapauksessa kovin merkittäviä määriä energiaa tuottaa, eikä täten pelkästään siihen turvautuminen tulisi kyseeseen.



Kuva 10: Oljen teknis-taloudellisen energiapotentiaalın vertailua.

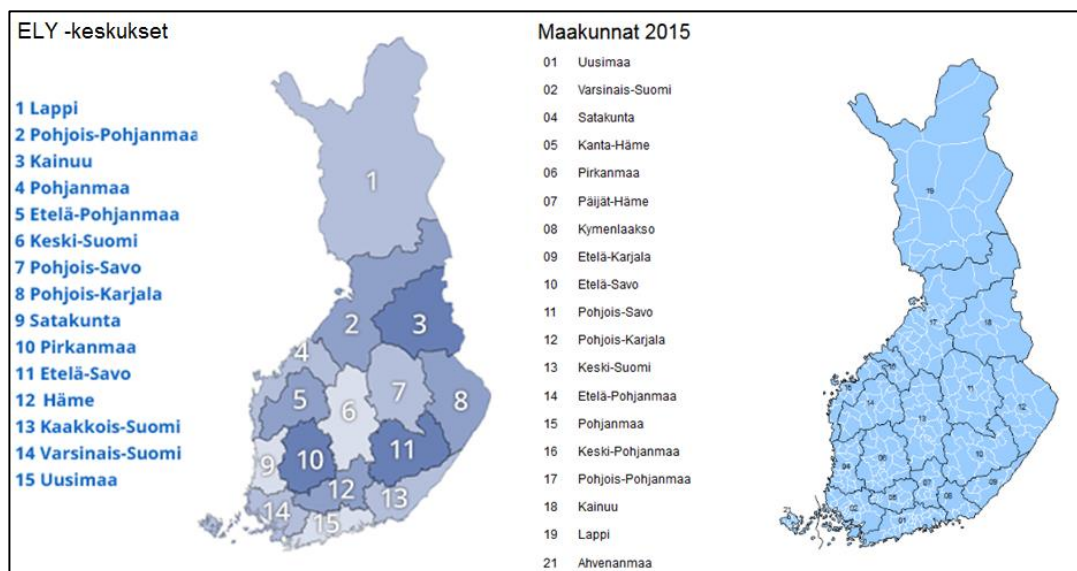
Kaikella kotimaisen polttoaineen, kuten oljen, käytön lisäämisellä saavutettaisiin kansantaloudellisia ja alueellisia hyötyjä muun muassa uusien työpaikkojen muodossa (Halonen et al. 2003). Hajautetussa energiantuotannossa ja muiden uusiutuvien energiamuotojen tukena oljella olisi paikkansa. (Hakala et al. 2012).

4. VILJELYALUEIDEN SIJAINNIT JA ALUEELLISET EROT SUOMESSA

Käsiteltäessä viljelyalueita koko Suomessa on syytä tarkentaa, että Maanmittauslaitos pitää tilastojaan perustuen maakuntajakoon, kun taas maataloustilastot ovat jaettu ELY-keskuksittain (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus). Näitä molempia tilastoja tarvitaan verrattaessa viljelyintensiteettiä eri puolilla Suomea. Viljelyintensiteetillä tarkoitetaan tässä yhteydessä viljelyalueen prosentuaalista osuutta vastaavan alueen kokonaismaapinta-alasta.

ELY-keskukset noudattavat hyvin maakuntajakoa, mutta muodostavat kuitenkin seuraavat poikkeukset:

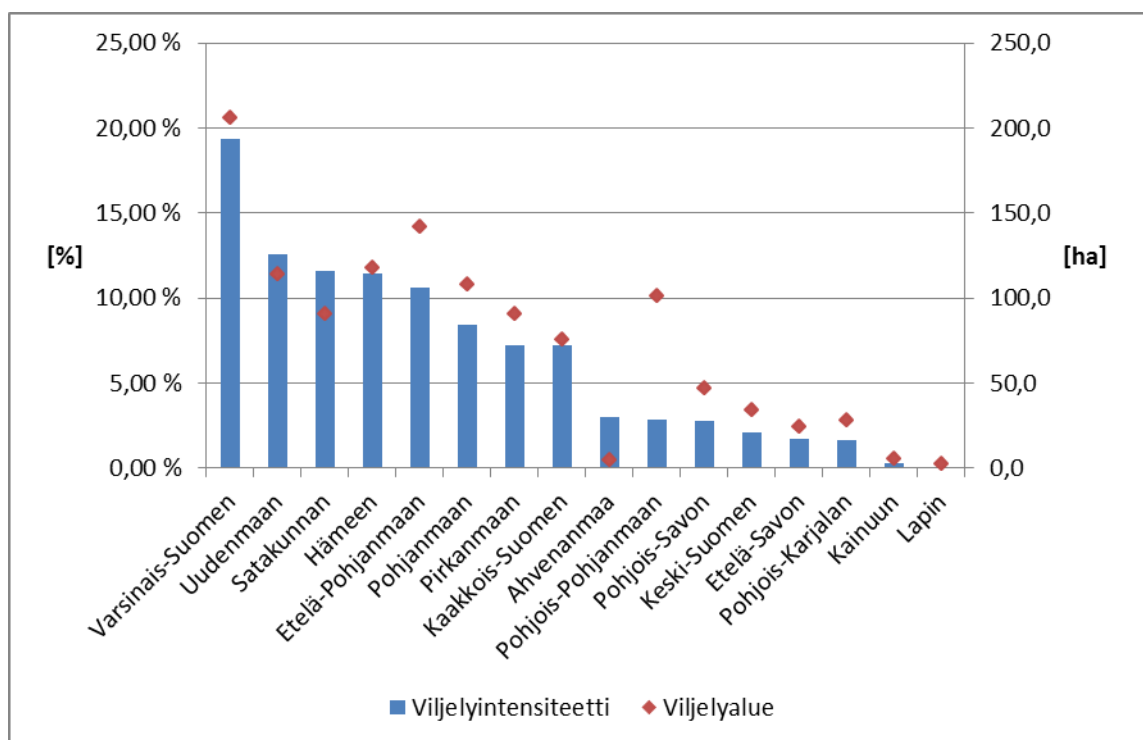
- Kanta-Hämeen ja Päijät-Hämeen maakunnat muodostavat Hämeen ELY-keskuksen
- Etelä-Karjalan ja Kymenlaakson maakunnat muodostavat Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen
- Pohjanmaan ja Keski-Pohjanmaan maakunnat muodostavat Pohjanmaan ELY-keskuksen
- Ahvenmaalla ei ole ELY-keskusta.



Kuva 11: ELY-keskukset ja maakunnat. Lähteet: Elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskus, Tilastokeskus.

Viljojen viljelypinta-ala Suomessa vuonna 2014 oli yhteensä noin 1,2 milj. ha eli 12 000 km²(neliökilometri). Muutosta vuoteen 2013 oli vain 117 km², eli viljelypinta-alan kas-

vua oli vain noin 1 % verran (Luonnonvarakeskus 2014). Suomen kokonaismaapinta-ala vuonna 2014 oli 303 900 km² (Maanmittauslaitos 2014). Edellisten lukujen perusteella vain noin 4 % käytettävissä olevasta maapinta-alasta on viljeltynä, mutta tämä luku on vääristävä, koska se ottaa huomioon koko Suomen. Ottamalla huomioon 8 intensiivisesti viljellyintä ELY-keskusta 16:ta keskuksista, maapinta-alasta on jo 11 % viljeltynä. Liitteeseen B olen kerännyt pinta-alatiedot ELY-keskuksista sekä maakunnista, ja laskenut jokaiselle ELY-keskukselle viljelyintensiteetin. Tarkastelun ja vertailun lähtökohdaksi on viljelyintensiteetti, koska tarkasteltaessa oljen energiapotentiaalia ja sen hyödyntämistä, on hyödyntäminen helpointa etenkin logistisista syistä intensiivisesti viljellyillä alueilla. Tanskassa viljelyintensiteetti on noin 35 %, sillä maan kokonaispinta-ala on 4,4 milj. ha, mistä vilja viljellään 1,5 milj. ha:lla (Finér et al. 2014).



Kuva 12: Viljelyalueet ja -intensiteetit ELY-keskuksittain.

Mietittäessä oljen energiapotentiaalin hyödyntämistä Suomessa, otollisinta se olisi Etelä-Suomessa, varsinkin Varsinais-Suomen ELY-keskuksen alueella, koska siellä on sekä eniten peltoa että alueella on intensiivisin viljely. Seuraavaksi otollisimpia olisivat Uudenmaan, Satakunnan, Hämeen, Etelä-Pohjanmaan, Pohjanmaan, Pirkanmaan ja Kaakkois-Suomen ELY-keskukset. Puolestaan vähemmän suotuisia ovat Ahvenanmaan, Pohjois-Pohjanmaan, Keski-Suomen, Etelä-Savon, Pohjois-Karjalän, Kainuun ja Lapin ELY-keskukset, joilla ainakin oljen energian hyödyntäminen suuressa mittakaavassa olisi vaikeampaa, koska näiden keskusten alueella viljelyalat ovat suhteellisen pienet ja alueiden viljelyintensiteetit ovat matalia, pois lukien Pohjois-Pohjanmaan keskus, jolla viljelyalueen määrä on hyvällä tasolla, kuudenneksi suurin. Heikoiten vertailussa sijoittuu Lapin ELY-keskus, jonka viljelypinta-ala vuonna 2014 oli vain 2 400 ha eli 24 km²

(Luonnonvarakeskus 2014) ja maakunnan kokonaismaapinta-ala 92 700 km² (Maanmittauslaitos 2014), joiden perusteella Lapin alueen viljelyintensiteetti on 0,03 %. Erot ovat valtavat Varsinais-Suomen ELY-keskuksen viljelypinta-alaan ja etenkin Varsinais-Suomen alueen viljelyintensiteettiin. Näin suuret erot kuvastavat sitä kuinka epätasaisesti viljelyalueet ovat muodostuneet Suomessa.

4.1 Varsinais-Suomi ja sitä ympäröivät ELY-keskukset

Varsinais-Suomen ELY-keskuksen viljelypinta-ala oli vuonna 2014 206 000 ha eli 2 060 km² (Luonnonvarakeskus 2014) ja maakunnan kokonaismaapinta-ala 10 700 km² (Maanmittauslaitos 2014). Näillä luvuilla saadaan Varsinais-Suomen alueen viljelyintensiteetiksi 19,30 %, joka on lähes 5-kertainen verrattuna koko Suomen viljelyintensiteettiin. Varsinais-Suomen ELY-keskusta ympäröivät Satakunnan, Uudenmaan, Pirkanmaan ja Hämeen keskukset. Huomioitavan arvoista on, että kaikki ympäröivät ELY-keskukset ovat edellisen luvun suotuisien keskuksien joukossa.

Taulukko 2: Varsinais-Suomea ympäröivät ELY-keskukset ja maakunnat.

Maakunnat	ELY-keskukset	Viljojen viljelypinta-ala		Kokonaispinta-ala		Viljely-intensiteetti
		1000 ha	km ²	km ²	km ²	
	Uudenmaan	114,3	1 143	9097		12,57 %
	Satakunnan	90,9	909	7819		11,62 %
Päijät-Häme				5124		
Kanta-Häme	Hämeen	117,8	1 178	5199	10323	11,41 %
	Pirkanmaan	90,8	908	12585		7,22 %

Vuoden 2014 perusteella näiden viiden ELY-keskuksen viljelypinta-alaksi saadaan yhteenlaskettuna noin 620 000 ha ja alueen keskimääräiseksi viljelyintensiteetiksi 12,4 %. Kaikki nämä ELY-keskukset sijaitsevat 250 km:n säteellä Turusta, joka on sekä Varsinais-Suomen ELY-keskuksen että Varsinais-Suomen maakunnan keskuskaupunki. Varsinais-Suomessa aikaisemmin alkava viljan puinti lisää mahdollisuutta korjata olki kuivana (Finér et al. 2014).

4.2 Muu Suomi

Muita edellisen luvun tapaisia viljelyalueiden ryhmittymiä voidaan löytää Pohjanmaan ja Kaakkois-Suomen ELY-keskusten ympäriltä. Nämä ryhmittymät eivät kuitenkaan yllä samanlaisiin hehtaarimääriin ja viljelyintensiteetteihin kuin Varsinais-Suomi.

Pohjanmaan ELY-keskustaa ympäröivät Etelä-Pohjanmaan, Pohjois-Pohjanmaan, Keski-Suomen ja Satakunnan keskukset. Näiden ELY-keskusten yhteenlaskettu viljelypinta-ala vuonna 2014 oli noin 475 000 ha ja keskimääräinen viljelyintensiteetti noin 7,1 %. Näistä ELY-keskuksista Keski-Suomen keskuksella on pieni viljelypinta-ala ja ma-

tala viljelyintensiteetti, Pohjois-Pohjanmaan keskuksella on matala viljelyintensiteetti ja Satakunnan keskus on jo kertaalleen otettu huomioon edellisen luvun ryhmittymässä.

Kaakkois-Suomen ELY-keskustaa ympäröivät Uudenmaan, Hämeen, Etelä-Savon ja Pohjois-Karjalan keskuksat. Tämän ELY-keskusten ryhmittymän yhteenlaskettu viljelypinta-ala vuonna 2014 oli noin 360 000 ha ja alueen keskimääräinen viljelyintensiteetti noin 6,9 %. Näistä ELY-keskuksista Etelä-Savon ja Pohjois-Karjalan keskuksilla on pienet viljelypinta-alat ja matalat viljelyintensiteetit, lisäksi Uudenmaan ja Hämeen keskuksat on jo kertaalleen otettu huomioon edellisen luvun ryhmittymässä.

5. OLJEN POLTTO

Olkea voidaan pitää potentiaalisena energialähteenä ja osittaisena fossiilisten polttoaineiden korvaajana. Riittävyys polton raaka-aineeksi on kuitenkin alueellinen kysymys, sillä viljojen kasvumahdollisuudet vaihtelevat. Pyrkimys mahdollisimman tehokkaaseen hyödyntämiseen voi aiheuttaa ongelmia ympäristölle maaperän köyhtymisenä. (Pahkala et al. 2009). Olkea voidaan hyödyntää polttolaitoksissa joko polttamalla olkea sellaisenaan tai seoksena muiden polttoaineiden seassa. Viljoja voidaan myös hyödyntää poltossa sellaisenaan silloin kun sato ei kelpaa elintarvikekäyttöön (Halonen et al. 2003). Oljen polttaminen fossiilisten polttoaineiden tilalla saattaa jopa pienentää hiilidioksidipäästöjä enemmän kuin oljen maahan muokkaaminen (Finér et al. 2014). Oljen hyödyntäminen energiantuotannossa ei poista ravinteita pelloilta kokonaan, sillä osa oljesta jää väkisin pelloille oljen korjuun aikana. Lisäksi oljen poltossa syntynyt ravinteita sisältävä tuhka on mahdollista levittää takaisin pelloille. Tuhkan palauttamista pellolle rajoittaa entisen maa- metsätalousministeriön asetus 646/2000, jossa säädetään lannoitteiden suurin typen ja fosforin määrä kasvilajeittain. Tuhka luokitellaan pellolle levitettynä lannoitteeksi. (Korppinen 2011).

Oljen jalostusarvo on sellaisenaan matala, minkä takia olki joudutaan hyödyntämään tuotantopaikan lähellä taloudellisista ja logistisista syistä. Jalostusarvoa nostaisi oljen jalostaminen kaasuksi tai nestemäiseksi biopolttoaineeksi, joita voidaan kuljettaa pitkiäkin matkoja. (Pahkala et al. 2009). Jatkojalostamisella on myös haittapuolensa, sillä oljen energiasisältö saadaan paremmin hyödynnettyä polttamalla se kuin käyttämällä sen jatkojalostustuotteita (Finér et al. 2014). Oljen energiasisältö laskee jatkojalostamisen hyötysuhteiden takia. Oljen jalostamista kaasuksi tai nestemäiseksi biopolttoaineeksi en tässä työssä käsittele tämän enempää. Oljen paalaamista ja varsinkin briketointiä sekä pelletointiä voidaan pitää irto-oljen ja jatkojalostuksen välisinä välimuotoina.

Oljen hyödyntäminen energiantuotannossa on Suomessa vähäistä ja sen hyödyntämistä voitaisiin lisätä huomattavasti (Saarela & Lauhanen 2011). Suomessa laajamittaisen oljen energian hyödyntämisen esteenä ovat syksyn kosteat ja epävakaa sääolot. Lisäksi oljen polttoa voimalaitoksissa on Suomessa vieroksuttu esimerkiksi sen sisältämän kloorin ja alkalimetallien takia, vaikka yli 20 MW:n (megawatti) voimalaitokset saisivat päästökauppahyötyä korvatesaan fossiilisia polttoaineita biopolttoaineilla kuten oljella (Lötjönen & Knuutila 2009, Hakala et al. 2012). Tanskassa olkea hyödynnetään isoissa voimalaitoksissa sekä paikallisissa ja maatilakokoluokan laitoksissa (Finér et al. 2014).

5.1 Oljen polttaminen

Olki voidaan polttaa paaleina, silppuna, briketteinä tai pelletteinä. Polttoaineensyöttö voi tapahtua käsin tai olla automaattinen. (Korppinen 2011). Brikettejä voidaan polttaa sekä voimalaitoksissa että erilaisissa kuluttajasovelluksissa (Finér et al. 2014).

Oljen polttaminen tapahtuu *kattiloissa*, joita on monia erilaisia. Kattilat voidaan jaotella muun muassa polttotekniikan, toimintaperiaatteen ja teholuokan perusteella. Kattiloiden tehojen osalta oljen polttaminen voidaan jakaa karkeasti kahteen kategoriaan, jotka ovat pienpoltto ja voimalaitospoltto. Oljen poltossa korostuu sopivan kattilan merkitys ja riittävän alhainen oljen kosteus (Saarela & Lauhanen 2011).

5.1.1 Pienpolttolaitokset

Pienpolttolaitoksissa käytetään lähes poikkeuksetta polttotekniikkana arinapolttoa. Pienpolttolaitoksissa oljen syöttö voi olla käsin tehtävää tai automaattinen. Tällaiset pienpolttolaitokset voivat toimia maatilojen lämmitysratkaisuinä tai lämpövoimalaitoksina lämmittäen kauppakeskuksia, kauppoja tai pieniä keskuksia. Viljaa viljelevillä mautiloilla olkilämmitys olisi yksinkertaista ja edullista, sillä olki on viljantuotannon sivutuote. (Korppinen 2011).

Käsisyöttöperiaatteella toimivat ylä- ja alapolttokattilat ovat edullisia, mutta niiden vaatima työmäärä on suuri ja hyötysuhde alhainen – luokkaa 60 %. Tällaisten kattiloiden käyttäminen on kannattavaa, kun lämmöntarve on alle 60 MWh/a (megawattituntia vuodessa). Poltettaessa pelkästään olkea, tulisi oljen kosteuden olla välillä 15–20 %. Alapolttokattilaa voidaan tehostaa palamisilmapuhaltimella, jolla saadaan nostettua teho liki 1 MW:n ja hyötysuhde noin 70 %:iin. Lisäksi kattilassa voidaan polttaa hieman kostempaa olkea. Tällaisia kattiloita voidaan käyttää jo kiinteistöjen lämpökeskuksissa. Kaikissa käsisyöttökattiloissa olki poltetaan paaleina ja paalien tiheyden tulisi olla välillä 50–80 kg/m³. (Korppinen 2011).

Automaattiset jatkuvasyöttöperiaatteella toimivat polttolaitokset ovat kalliimpia (Ylhäinen 2011). Ne voivat polttaa oljen joko kokonaisina paaleina tai revittyinä paaleina. Kokonaisia paaleja polttavan pienpolttolaitoksen kattilassa palaa vain yksi paali kerrallaan ja paalin kosteuden tulisi olla alle 22 %. Tuhka poistetaan kattilasta ruuvikuljettimella. Tällaisella polttolaitoksella voidaan päästä 70 %:n hyötysuhteeseen, kun polttolaitoksen nimellisteho on 80–90 kW (kilowatti). Automaattisyöttöisen pienpolttolaitoksen tapauksessa paalit yleensä revitään ennen polttokammiota. Paalien tiheys voi olla 100–160 kg/m³ ja kosteus voi olla jopa 26 %. Hyötysuhde voi olla jopa 80 % ja kattiloiden tehot vaihtelevat välillä 10–10 000 MW. Tällaisia pienpolttolaitoksia voidaan käyttää aluelämpölaitoksissa. (Korppinen 2011). Kokonaisia paaleja polttavan polttolaitoksen savuhaitat ovat suuremmat (Ylhäinen 2011).

5.1.2 Voimalaitokset

Voimalaitoksissa käytetään polttotekniikkoina arina-, kerrosleiju- ja kiertoleijupolttoja. Vanhemmissa ja teholtaan pienemmissä voimalaitoksissa käytetään yleensä arinapolttoa. Uudemmissa ja isommissa, yli 5 MW, voimalaitoksissa käytetään leijutekniikoita. (Halonen et al. 2003). Voimalaitoksissa kattilat ovat automaattisyöttöisiä ja paalien poltto voi tapahtua kokonaisina paaleina tai revittyinä paaleina. Voimalaitokset voivat olla joko kokonaan tai osittain oljella toimivia. (Korppinen 2011). Suurien voimalaitoksien seospoltossa oljen sopivana osuutena voidaan pitää 5 % kokonaisenergiasta (Virtanen et al.)

Arinakattiloissa palaminen tapahtuu liikkuvalla arinalla, jolle olki syötetään. Arina on kaksiosainen, joista toinen osa on vesijäähdytetty ja toinen osa on tärisevä. Vesijäähdytyksellä hallitaan palamislämpötilaa ja estetään sen nousu liian korkeaksi. Tärinällä saadaan palaminen tapahtumaan loppuun asti. (Korppinen 2011).

Etenkin kiertoleijupoltto on monipuolisempi ja tehokkaampi polttotekniikka ja omaa monia hyviä ominaisuuksia. Kiertoleijukattilassa voidaan polttaa eri polttoaineita yhtäaikaaisesti. Palaminen on hallitumpaa ja palamislämpötila on matalampi. Palamislämpötilaa on helpompi säätää, jolloin typen oksidipäästöt ovat pienemmät. Rikinpoiston mahdollisuutta voidaan hyödyntää kiertoleijukattilassa. Lisäksi paremman lämmönsiirtokyvyn ansiosta kiertoleijukattila on mahdollista rakentaa pienemmäksi. (Korppinen 2011, Makkonen 2000). Runsaskloorisia biomassoja kuten olkea ei yleensä polteta leijukattiloissa, jos on tarkoitus tuottaa korkea-arvoista höyryä. Maksimilämpötilaksi höyrypuolella on todettu 480 °C (celsius). Tätä korkeammassa lämpötiloissa alkaa kloorikorrosio, joka voi rikkoa päätulistimen kuukausissa. (Makkonen 2000).

5.1.3 Esimerkkejä voimaloista

Lötjönen et al. (2011) käyttivät tutkimuksessaan tanskalaistyyppistä kokopaalikattilaa, jonka teho oli 380 kW. Kattila täytettiin 3 pyöröpaalilla käyttäen traktorin etukuormaa. Paalien palo-aika oli noin 6–8 tuntia. Kattilaan oli kytkettynä 70 m³ (kuutiometri) varaaja. Tutkimuksen polttokokeiden tavoitteena oli selvittää suojavyöhykeheinän, järviruohon, ruokohelven ja oljen soveltuvuus kokopaalikattilassa poltettaviksi. Kattila toimi parhaiten olkipaaleilla, joiden tiheys oli noin 75 kg/m³. (Lötjönen et al. 2011)

Finér et al. (2014) mainitsivat raportissaan tanskalaisvalmisteisen kokopaalikattilan. Tämän, Faustin toimittaman, kattilan teho on 600 kW ja hyötysuhde on 70–75 %. Kattilan yhteydessä on 100 m³ varaaja. Kattilaan syötetään 3 paalia 2 kertaa päivässä ja paalien syöttämiseen kuluu aikaa noin 10 min. Paalien tiheys ei saa olla kovin suuri. Kattilalaitoksen ja varaajan investointikustannus oli noin 160 000 € ja kattilan käyttöikä 20–30 vuotta. Kattila lämmittää 2–3 km lämmitysputkistoa, joka puolestaan lämmittää lähialueella olevia rakennuksia. Tällaisen kattilan ehdottomaksi eduksi voidaan katsoa sen

toimitusaika. Kattila toimitetaan kolmessa erässä ja kattilan pystytys kestää vain 2 päivää, mikäli perustukset ovat valmiina. (Finér et al. 2014).



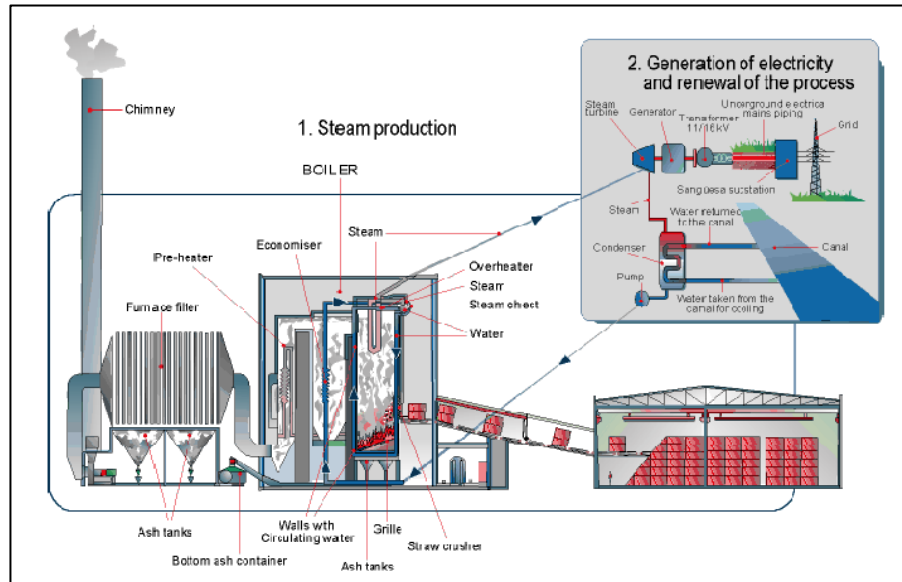
Kuva 13: Lötjösen et al. (2011) tutkimuksissaan käyttämä kokopaalikattila.



Kuva 14: Faustin kokopaalikattila. Lähde: Finér et al. 2014.

Korppinen (2011) mainitsee työssään Espanjan Sangüesassa olevan 25 MW:n arinapoltoilla toimivan voimalaitoksen, joka käyttää pääasiallisena polttoaineena olkipaaleja. Voimalaitos käyttää paaleja noin 160 000 t (tonnia) vuodessa. Paalien kosteuden tulee olla 11 %, mitä voidaan pitää jo todella alhaisena. Voimalaitos tuottaa 200 GWh sähköä vuodessa, mutta ei ollenkaan lämpöä. Verrattuna hiilivoimalaitokseen tämän voimalai-

toksen on laskettu vähentävän hiilidioksidipäästöjä 210 000 t ja rikkidioksidipäästöjä 4 600 t vuodessa. Arinatekniikkansa ansiosta voimalaitoksen kunnossapitokustannukset ovat alhaiset ja luotettavuus on korkea. Voimalaitoksessa muodostuva pohjatuhka kerätään arinan pohjalta ja lentotuhka kerätään pussisuodattimilla. (Korppinen 2011).



Kuva 15: Sangösan voimalaitos. Lähde: Korppinen 2011.



Kuva 16: Fynin voimalaitos. Lähde: Fjernvarmefyn.

Finér et al. (2014) mainitsivat raportissaan myös Fynin voimalaitoksen, jonka 8. yksikkö on olkikäyttöinen. Sähköä 8. yksikkö tuottaa noin 35 MW ja lämpöä noin 84 MW eli yhteensä noin 120 MW. Voimalaitos käyttää olkea 170 000 t vuodessa. Voimalaitoksella on 2 300 paalin varastointikapasiteetti, jolla katetaan viikonlopun käyttömäärä ja reservi. Pohjatuhka palautetaan viljelijöille pelloille levitettäväksi. Lentotuhka varastoidaan säkeissä ja loppusijoitetaan kaivoksiin. (Finér et al. 2014).

5.2 Oljen polton ongelmat

Olkea voidaan verrata energiapuuhun, jota pidetään samantyyppisenä polttoaineena ja joka on joiltain ominaisuuksiltaan samanlainen kuin olki. Oljen ja energiapuun lämpöarvoissa ei ole suurta eroa, sillä hakkeen lämpöarvo on 19,2 MJ/kg_{ka} ja oljen lämpöarvo on 17,2 MJ/kg_{ka}. Oljen energiatiheys on huomattavasti pienempi, sillä hakkeen irtotiheys on noin 450 kg/m³ ja irto-oljen vain noin 10 % siitä. Tuhkapitoisuudessa olki ja energiapuu eroavat, sillä esimerkiksi kuusen hakkuutähdehakkeen tuhkapitoisuus on 2–2,5 % ja oljen tuhkapitoisuus on 4–7 %. Alkuainepitoisuuksissakin olki ja energiapuu eroavat toisistaan kuten taulukosta 3 voidaan huomata. Nämä erot tekevät oljesta ongelmallisemman polttoaineen kuin energiapuu ja muut kiinteät polttoaineet. (Alakangas 2000).

Oljen kloori (Cl), kalium (K), kalsium (Ca), natrium (Na) ja magnesium (Mg) aiheuttavat voimalaitoksen kattilassa korroosio- ja likaantumisongelmia, eikä olki tästä syystä ole optimaalinen polttoaine nykyisille voimalaitoksien kattiloille (Hakala et al. 2012).

Taulukko 3: Alkuainepitoisuuksia. Lähde: Alakangas 2000.

Alkuainepitoisuuksia		
	Olki	Puu
Cl	0,31	0,01-0,03
K	0,99	0,15-0,21
Ca	0,4	-
Na	0,11	-
Mg	0,11	-

5.2.1 Tuhka

Olki sisältää suhteellisen paljon tuhkaa, joka aiheuttaa ongelmia oljen poltossa. Polton aikana tuhka sulaa muodostaen tahmeita tuhkapartikkeleita, jotka jähmettyvät uudelleen osuessaan kattilan lämmönsiirtopinnoille ja muodostavat kerrostumia. Tällaisesta tuhkan käyttäytymisestä käytetään termiä *kuonaantuminen* tai *likaantuminen*, riippuen siitä missä päin kattilaa tuhkapartikkelit jähmettyvät. (Nieminen 2013). Kerrostumisesta on monenlaista haittaa kattilalle (Nieminen 2013):

- kerrostumat huonontavat lämmönsiirtoa
 - lämpötilat kattilan tulipesässä ja savukaasukanavissa kohoavat
- suurista kerrostumista irtoaa kuonakappaleita
 - huonontavat leijutusominaisuuksia leijukattiloissa
- kerrostumat aiheuttavat korroosiota
- kerrostumat rajoittavat savukaasun virtausta

Kuten taulukossa 4 on listattu, oljen tuhkan sulaminen tapahtuu laajalla vaihteluvälillä, riippuen paljon viljalajikkeesta. Tämä aiheuttaa myös ongelmia oljen polttoon, sillä laajasta vaihteluvälisestä johtuen kattilan pitäisi toimia sekä sulalla että sulamattomalla tuhalla. Lisäksi tuhkanpoistolaitteiden pitäisi pystyä käsittelemään molempia tuhkatyyppjä. (Alakangas 2000).

Taulukko 4: Oljen sulamiskäyttäytyminen. Lähde: Alakangas 2000.

Oljen tuhkan sulamiskäyttäytyminen			
	Pehmenemispiste, °C	Puolipallopiste, °C	Sulamispiste, °C
Vehnä	1 050	1 350	1 400
Ohra	765	1 035	1 190
Kaura	735	1 045	1 175
Ruis	840	1 350	1 190

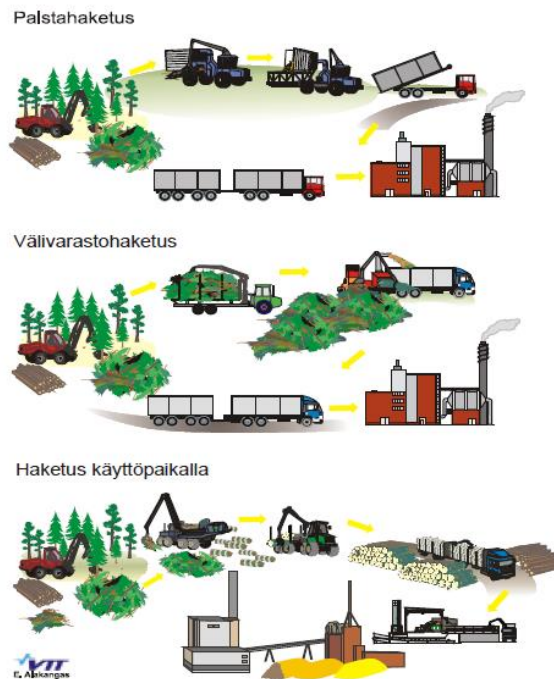
5.2.2 Oljen polton ongelmien ratkaisumahdollisuudet

Oljen korjuuajankohdan viivästyttämisellä puintiajankohdasta on omat etunsa. Oljen kloori- ja muut alkuainepitoisuudet laskevat, jos oljen annetaan olla pellolla sateen huuhtottavana. Esimerkiksi aikaisin korjatun oljen klooripitoisuus on lähes nelinkertainen myöhään korjattuun olkeen verrattuna. Huuhtoutumisesta huolimatta oljen hiili-, vety- ja typpipitoisuudet pysyvät lähes muuttumattomina. Tällaisesta oljesta käytetään termiä *harmaa olki*. (Alakangas 2000). Harmaan oljen pienemmistä alkuainepitoisuuksista johtuen kattilan syöpyminen ja kattilakiven muodostuminen ovat vähäisempää (Finér et al. 2014). Lisäksi harmaan oljen tuhkan sulamispiste on 150 °C korkeampi (Alakangas 2000).

Ongelmia voitaisiin lisäksi ainakin lieventää seospoltolla, jossa olkea poltettaisiin esimerkiksi turpeen tai kivihiilen kanssa. Tällöin turpeen tai kivihiilen sisältämä rikki saataisiin poltossa sitoutumaan tuhkaan juuri oljen korkeiden haitallisten alkuainepitoisuuksien ansioista, muodostaen esimerkiksi kaliumsulfaattia kaliumkloridin sijaan. Seospoltolla saadaan nostettua tuhkan sulamispistettä. Tuhkan sulamispistettä voidaan nostaa myös käyttämällä lisäaineita kuten kaoliinia. (Alakangas 2000). Tanskassa on yritetty polttaa olkea ja puuta seospolttona, mutta ne eivät ole kattilan toiminnan kannalta hyvä polttoaineyhdistelmä (Finér et al. 2014).

6. OLJEN KORJUU JA KÄSITTELY

Olki ja energiapuu ovat joidenkin ominaisuuksien lisäksi samankaltaisia energialähteitä korjuun ja käsittelyn osalta, vaikkakin korjuulaitteistot eroavat toisistaan. Olki on viljantuotannon sivutuote ja energiapuusta pääosa korjataan päätehakkuiden hakkuutähteenä, joka muodostuu latvuksista, oksista ja hukkapuusta. (Halonen et al. 2003, Mikkola 2012). Hakkuutähteen korjuukohteissa on jonkin verran muutettava korjuutekniikkaa ja kasattava hakkuutähteet jatkokuljetuksen helpottamiseksi ja hyvän laadun varmistamiseksi (Halonen et al. 2003). Nämä kohdat pätevät myös olkeen, joskaan korjuutekniikka ei kovin olennaisesti muutu.



Kuva 17: Esimerkkejä hakkuutähteen toimitusketjuista. Lähde: Halonen et al. 2003.

Hakkuutähteen haketus, murskaus tai risutukkien teko voidaan tehdä hakkuualueella, tienvarsivarastossa, terminaalivarastossa tai käyttöpaikalla (Halonen et al. 2003). Oljen paalaus tehdään luonnollisesti pellolla. Molemmille mahdollinen briketointi tai pelletointi voidaan tehdä muuallakin. Briketointi voidaan tehdä oljelle pellonreunassa ja hakkuutähteelle tienvarsivarastossa. Molemmat voidaan briketöidä myös terminaalivarastossa tai käyttöpaikalla. Pelletointi tehdään pellettitehtaassa, joka voi toimia samalla terminaalivarastona tai joka on käyttöpaikan yhteydessä. Briketointi ja pelletointi lisäävät oljen tiheyttä ja helpottavat oljen käsittelyä (Alakangas 2000). Hakkeen kohdalla tienvarsivarastolla tapahtuva haketus on yleisin menetelmä (Halonen et al. 2003). Se

mitä käsittelyitä oljelle tarvitsee tehdä puinnin jälkeen, riippuu suuresti siitä miten, missä ja kuinka paljon olkea tullaan hyödyntämään. Tässä työssä oljen kerääminen pelloilta irto-olkenä ja paaleina ovat oljen korjuuta. Briketöinti ja pelletöinti ovat käsittelyitä.

Oljen korjuu voi olla tehokasta ja joustavaa, mutta se vaatii investointeja paalauslaitteiston, keruulaitteiston, kuljetuskaluston sekä varastoinnin osalta. Viljelijöillä ei ole välttämättä aikaa oljen korjaamiseen pelloilta ja siirtämiseen varastoihin, sillä oljen korjuu ajoittuu syksyyn, jolloin maatiloilla on syystöiden aiheuttama työsesonki. Tarvittavan kaluston määräkään viljelijöillä ei ole välttämättä tarvittavalla tasolla. Ajan ja kaluston puutteen lisäksi kustannustehokkuuden kannalta ammattimaiset urakoitsijat olisivat hyvä ratkaisu. Raisioagron teettämässä kyselyssä vuonna 2013 lähes kaksi kolmesta (62 %) vastaajasta antaisi korjuun urakoitsijoille. Urakoitsijoiden käyttäminen oljen korjuussa lisää kustannuksia oljen arvoketjussa, sillä sekä viljelijä luovuttamastaan raaka-aineesta että urakoitsija tekemästään työstä tarvitsevat korvauksen. (Finér et al. 2014).

Lyhyt sadonkorjuukausi ja epävakaat syysääät Suomessa korostavat varsinkin suurten olkimäärien keräämisen haasteellisuutta. Joinain syksyinä puinti ja oljenkorjuu saadaan tehtyä ilman ongelmia. Toisina syksyinä kosteat korjuuajan sääolot vaikeuttavat sadonkorjuuta, lisäävät pellon tiivistymisriskiä ja viivästyttävät oljenkorjuun ajankohtaa. Lisäksi olkea joudutaan keräämään isommalta alueelta saman olkimäärän kokoon saamiseksi, mikäli kasvukausi on puolestaan ollut kuiva (Finér et al. 2014, Hakala et al. 2012).

6.1 Puinti ja sen vaikutus olkeen



Kuva 18: Leikkuupuimuri. Lähde: Hakala et al. 2012.

Hyvän viljasadon sivutuotteena syntyy paljon myös olkea. Ensimmäinen ja välttämätön vaihe oljen korjuussa ja käsittelyssä on puinti. Vilja puidaan leikkuupuimurilla. Leik-

kuukorkeus ja sitä myöten sängin korkeus vaikuttaa huomattavasti saatavaan olkisatoon. Puinti voitaisiin tehdä hyvin lyhyeen sänkeen, mutta käytännössä pyritään 20–40 cm:n (senttimetri) sänkeen. Pitkään sänkeen jättämisellä vähennetään puintikoneiston kuormittamista olkimassalla, mutta tämä luonnollisesti vähentää olkisadon määrää. (Finér et al. 2014, Hakala et al. 2012). Tavoiteltaessa suurta olkisatoa puintikorkeutta kannattaa laskea jo sen takia, että iso osa oljen massasta on kasvuston alaosissa (Lötjönen et al. 2011). Kotimaisen tutkimuksen mukaan 30 cm:n puintikorkeudella 29–53 % kasvustosta jää peltoon kasvilajista riippuen ja 10 cm:n puintikorkeudella enää 15–21 %, eli 20 cm puintikorkeuden madallus lisää oljen määrää 14–32 prosenttiyksikköä. (Hakala et al. 2012). Samansuuntaisen sängin pituuden vaikutuksen olkisatoon mainitsivat Pahkala & Kontturi (2008) tekstissään: jätettäessä 15 cm korkuinen sänki, menetetään 27 % potentiaalisesta olkisadosta.

Oljen puintikosteus on tyypillisesti 30–60 %. Polttotarkoitukseen menevän oljen kosteuden tulisi olla mieluiten alle 15 %, mutta vähintään alle 20 %. Varastoinnin aikana olki kuivuu 2–6 prosenttiyksikköä, joten korjattaessa oljen kosteus saisi olla noin 25 %. (Alakangas 2000, Finér et al. 2014, Lötjönen et al. 2011). Tämä tarkoittaa sitä, että olki on jätettävä hyvinäkin vuosina joksikin aikaa pellolle kuivumaan auringon ja tuulen vaikutuksesta. Kosteampi olki lämpenee ja saattaa homehtua menettäen lämpöarvoaan varastoinnin aikana. Homehtuminen altistaa olkea käsittelevät työntekijät homepölylle. Kosteaa oljen homehtumisen voi estää varastoimalla olki ilmatiiviisti. Kosteaa olkea vaikeuttaa isoissa laitoksissa olevien paalien repijälaitteiden toimintaa. (Finér et al. 2014, Lötjönen et al. 2011).

6.2 Puinnin jälkeinen karho

Koska vilja kuivuu nopeammin puitavaksi kuin olki korjattavaksi, olki on hyvä jättää pellolle joksikin aikaa. Yleensä tarvitsee olla ainakin 1–2 sateetonta päivää puinnin jälkeen, jotta olki on tasaisesti kuivunut. Mitä pidempään oljen annetaan olla poutaisella pellolla, sitä kuivempana se saataisiin korjattua talteen. Riski oljen kastumiselle sateen takia on kuitenkin syksyllä suuri, joten käytännössä olki korjataan pois heti sen kuivuttua tarpeeksi. (Finér et al. 2014). Puinnin jäljiltä olki on karhossa ja sään ollessa hyvä olki on lähes korjuuvalmis. Sateen sattuessa olki tarvitsee uudelleen karhottaa. Myös karheiden yhdistäminen voi olla tarpeen, mikäli korjuu tehdään suuritehoisella korjuukoneella. (Finér et al. 2014, Lötjönen & Knuutila 2009). Oljen irtotiheys on vain noin 30–40 kg/m³, joten varsinkin pidemmälle olkea kuljetettaessa jokin jatkokäsittely oljelle on tehtävä (Alakangas 2000).

6.3 Oljen paalaaminen

Karholla oleva korjuuvalmis olki voidaan paalata tai kerätä irto-olkenä esimerkiksi tarkkuussilppurilla, noukinvaunulla tai imuvaunulla (Lötjönen & Kässi 2013, Salo 2000). Tyypillisin korjuumenetelmä oljelle on paalaaminen. Tanskassa paalaaminen on

keskittynyt urakoitsijoille, joiden toiminta on ammattimaista ja tehokasta (Finér et al. 2014).



Kuva 19: Pyörö- ja kanttipaalain. Lähde: Lötjönen & Kässi 2013.

Yleisimmät paalintyytit ovat pyörö- ja kanttipaalaimet. Pyöröpaalaimia on toimintaperiaatteeltaan kahdenlaisia, muuttuva- ja kiinteäkammioisia. (Finér et al. 2014). Näistä muuttuvakammioisilla saadaan aikaan hieman tiheämpiä paaleja (Finér 2015). Pyöröpaalaimet ovat edullisempia ja kevyempiä kuin kanttipaalaimet, mutta kanttipaalainten etuja ovat suurempi kapasiteetti, tiiviimmät paalit ja parempi tilankäyttö niin varastoinnissa kuin kuljetuksessa paalin muodosta johtuen. Näistä syistä kanttipaalaimet ovat urakoitsijoille sopivia (Lötjönen & Knuutila 2009). Kanttipaalien tyypillinen koko on 120 cm leveys, 70 cm korkeus ja 240 cm pituus. Kanttipaali voi olla myös mitoiltaan 120 x 90 x 160 cm. Tyypillisesti pyöröpaalien halkaisija on 130 cm ja pituus 120 cm. (Lötjönen & Knuutila 2009, Finér et al. 2014). Pyöröpaalaimet käyttävät sidontaan verkkoa tai narua, kun taas kanttipaalaimet käyttävät pelkästään narua. Naruista muovinaru on suositumpi paremman vetolujuuden ansiosta kuin sisalnaru. (Lötjönen & Knuutila 2009).

Paalin tiheyteen vaikuttaa moni asia ja samallakin paalaimella tehtyjen paalien tiheys saattaa vaihdella. Näitä paalin tiheyteen vaikuttavia tekijöitä ovat kosteus, paalaimen tyyppi, paalaimen säädöt sekä kuljettajan ajotavat (Finér et al. 2014, Lötjönen et al. 2011). Kosteus nostaa paalin tiheyttä, mutta tällainen tiheyden kasvu on epäsuotuisaa, sillä olki halutaan kerätä mahdollisimman kuivana. Pyöröpaalaimilla paalikammion avautumispaine on paalintiiveyden perussäätö. Mitä suurempi se on, sitä tiiviimpiä paaleja paalaimella saadaan. Paalikammion avautumispaine ei kuitenkaan saa olla liian suuri, sillä seurauksena voi olla paalaimen hajoaminen. (Lötjönen et al. 2011)

6.3.1 Paalien tiheys

Oljen irtotiheyden ollessa vain 30–40 kg/m³ saadaan se helposti kaksinkertaistettua, sillä jo löyhästi paalatun pyöröpaalin irtotiheys on noin 80 kg/m³ (Lötjönen et al. 2011). Kanttipaalien tiheydessä päästään noin 150 kg/m³ tiheyteen ja pyöröpaaleilla noin 120 kg/m³ tiheyteen. Saksassa kehitetyn suurpaineaalaimen prototyypin paalin tiheys vaih-

teli jopa 300–400 kg/m³ (Salo 2000). Suurpainepaalaimen paalin tiheys on kuitenkin vain osoitus siitä, kuinka tiheäksi paali voitaisiin saada paalaimilla, käytännössä suurpainepaalaimen paalin kaltaisiin tiheyksiin ei päästä.

Taulukko 3: Oljen tiheydet irto-olkena ja paaleina.

Oljen tiheyksiä	
Irto-olki	35 kg/m ³
Paali	
Pyöröpaali	120 kg/m ³
Kanttipaali	150 kg/m ³
<i>Suurpainepaali</i>	<i>350 kg/m³</i>

6.4 Briketöinti

Brikettejä tehdään yleensä lähinnä puupurusta ja kutterilastusta. Muita raaka-aineita ovat turve, kuiva yhdyskuntajäte ja olki. (Halonen et al. 2003). Oljen briketöinnissä on monia vaihtoehtoja. Olkibriketin raaka-aineena voi olla sekä irto-olki että varastoinnin tai lähikuljetuksen takia paalattu olki. Briketöinti voidaan tehdä pellonreunavarastolla, terminaalivarastolla tai käyttöpaikalla tarpeesta ja briketöintilaitteistosta riippuen. Briketöitynä oljen poltto-ominaisuudet paranevat (Alakoski 2008).



Kuva 20: Olkibriketti. Lähde: C.F. Nielsen.

Ennen varsinaista briketiksi puristamista, on paalimuodossa oleva olki käsiteltävä paalisilppurilla tai -repijällä, jonka jälkeen olki vielä murskataan vasaramyllyllä. Olkimurskan tulisi olla mahdollisimman tasalaatuista brikettien hyvän laadun varmistamiseksi, eikä se saisi sisältää epäpuhtauksia kuten kiviä, hiekkaa tai metallia. Olkimurskan partikkelikoon tulisi olla 15–30 mm (millimetri). (Alakoski 2008, Himanen 2014). Briketöitävän oljen kosteuden tulisi olla alle 20 %, mieluummin alle 16 %, sillä kosteuden ollessa yli 16 % briketöinnissä tapahtuvista höyryräjähdyksistä tulee niin voimakkaita, etteivät valmiit briketit pysy välttämättä koossa. Lisäksi kostea olki haittaa vasaramyllyn toimintaa. (Finér et al. 2014). Briketöitäessä olki kuumenee ja kuivuu hieman (Olkipellettien biokaasutuskoe).

Vuonna 2003 Suomessa brikettituotantoa oli parilla kymmenellä tuotantolaitoksella, joiden kokonaistuotanto oli 45 000 t/a (tonnia per vuosi). Suurien brikettilaitosten tuotannot olivat noin 5 000 t/a, pienien 50–3 000 t/a ja keskimäärin 2 150 t/a. (Halonen et al. 2003)

Taulukko 4: Esimerkkilaitteistokokoonpanoja briketöinnille. Lähde: Halonen et al. 2003.

Tehdas	Laitteet	Lkm
Pieni 500–2 000 t/a	Vasaramylly	1
	Puristin	1
	Jäähdytysrata	1
	Pakkaus	1
Suuri 2 000–10 000 t/a	Vasaramylly	1
	Puristin	1–2
	Jäähdytysrata	1
	Pakkaus	1
	Varasto	1

6.4.1 Briketöintilaitteiden toimintaperiaatteet ja valmistajat

Briketöintilaitte voi olla toimintaperiaatteeltaan joko mekaaninen mäntäpuristin, hydraulinen valssipuristin tai ruuvipuristin (Alakangas 2000). Näistä mekaaninen mäntäpuristin on yleisin (Halonen et al. 2003). Mekaanisten briketöintilaitteiden männät liikkuvat kampiakselin välityksellä ja puristavat murskatun oljen tiiviiksi pötköksi yleensä 1 000–2 500 baarin tai jopa 3 000 baarin paineella (Halonen et al. 2003, Finér et al. 2014).

Mekaaniset puristimet toimivat korkeammassa paineissa kuin hydrauliset puristimet, jolloin ne tuottavat myös hieman tiiviimpiä brikettejä, mutta ovat silti kestävämpiä. Mekaanisilla puristimilla energiahäviö on myös pienempi, koska mekaanista puristinta käytetään sähkömoottorilla. Näistä syistä mekaanisten puristimien tuotannon ja energiakulutuksen suhde on optimaalinen ja niitä käytetään tyypillisesti isoissa laitoksissa, joiden tuotanto vaihtelee 200–2 500 kg/h (kilogrammaa per tunti). (Finér et al. 2014). Mekaanisten puristimien etuja siis ovat:

- tiiviimmät briketit
- ovat kestävämpiä
- pienempi energiahäviö

Yksi maailman suurimmista briketöintilaitteiden valmistajista on tanskalainen C.F. Nielsen, jonka laitteet ovat joko mekaanisia, hydraulisia tai ruuviperiaatteella toimivia.

C.F. Nielsenin briketöintilaitteistoilla briketöidään biomassaa tyypillisesti 2 t/h. Heillä on laitteita sekä kiinteisiin briketöintiasemiin, joihin tuodaan briketöitävä raaka-aine että laitteita, jotka voidaan viedä briketöitävän raaka-aineen luo. Jälkimmäisistä briketöintilaitteista voitaneen käyttää termiä *mobiilit briketöintilaitteet*. C.F. Nielsenin briketöintilaitteet ovat täysin automatisoituja. (Finér et al. 2014). Muita briketöintilaitteiden valmistajia ovat muun muassa saksalaiset Weima ja Adelman sekä belgialainen Ecomec.

6.4.2 Olkibriketin ominaisuudet

Brikitit ovat muodoltaan suorakulmaisia ja tyynymäisiä tai pyöreitä kiekkoja ja tankoja. Brikkien halkaisija vaihtelee välillä 50–100 mm. (Alakangas 2000, Halonen et al. 2003). Briketöinti ei muuta oljen tuhkan määrää tai alkuaineidenpitoisuutta kuiva-aineessa, mutta muissa ominaisuuksissa tapahtuu muutosta (Alakoski 2008). Koska briketöitävän oljen tulee olla kuivempaa kuin esimerkiksi paalattavan oljen ja olki hieman kuivuu briketöitäessä, on olkibrikkien lämpöarvo hieman korkeampi kuin paalattun oljen. Olkibriketin kosteus on 12–15 % ja lämpöarvo on noin 14,8 – 15,5 MJ/kg (Alakoski 2008). Suurin muutos tapahtuu tiheydessä, sillä olkibrikkien kiintotiheys on välillä 450–1100 kg/m³ tyypillisesti noin 950 kg/m³ ja irtotiheys on välillä 300–550 kg/m³ tyypillisesti noin 500 kg/m³ (Alakangas 2000, Alakoski 2008).

Taulukko 5: Oljen tiheydet irto-olkenä ja brikkienä.

Oljen tiheyksiä	
Irto-olki	35 kg/m ³
Briketti	500 kg/m ³

6.4.3 Briketöinnin energiankulutus ja työllistävyys

Briketöintilaitteet ovat pitkälle automatisoituja, joten niiden työllistävyys on vähäistä. Työllistävyyteen vaikuttaa suuresti briketöintilaitteen koko, sillä isojen briketöintilaitosten prosessia valvoo 1–2 henkilöä vuorossa, mutta 1 henkilö vaaditaan vähintään valvomaan jo pieniäkin briketöintilaitteita. (Halonen et al. 2003)

Olkea briketöitäessä puristimen energiankulutus vaihtelee välillä 40–90 kWh/t (kilowattituntia per tonni) riippuen laitteen kokoluokasta, isoilla laitteilla puristaminen tehokkaampaa. Lisäksi murskaaminen kuluttaa noin 40 kWh olkitonnia kohti. Yhteisenergiankulutukseksi saadaan 80–130 kWh/t eli 288–468 MJ/t (megajoulea per tonni). (Halonen et al. 2003, Finér et al. 2014). Näillä energiankulutusluvuilla 2–3 % oljen lämpöarvosta kuluu briketöintiin.

6.5 Pelletöinti

Kuten brikettejä myös pellettejä tehdään yleensä puupurusta ja kutterilastusta. Muita pellettien raaka-aineita ovat ruokohelpi, turve, metsähake, kuiva yhdyskuntajäte ja olki. (Halonen et al. 2003). Oljen pelletöinnissä ei ole niin paljon vaihtoehtoja kuin oljen briketöinnissä, sillä pelletöintiä varten ei ole raaka-aineen luo vietäviä pelletöintilaitteita, vaan raaka-aine on aina tuotava pelletöintitehtaalle. Tämän takia pelletöinti tulee kyseeseen käytännössä vain paaleina kuljetetun oljen tapauksessa, sillä etäisyys pelolta pellettitehtaalle muodostuu väkisin liian suureksi irto-oljen kuljetuksen kannattavuuden kannalta. Pelletöinnillä oljen poltto yksinkertaistuu (Honkavaara 2014).



Kuva 21:Olkipellettejä. Lähde: Vuosjoki 2011.

Oljen pelletöinti on prosessina samankaltainen kuin briketöinti. Paalit rikotaan paalisilppurilla tai -repijällä, jonka jälkeen olki käsitellään vasaramyllyllä. Pellettien kohdalla olki jauhetaan murskauksen sijaan vasaramyllyllä ennen pelletiksi puristamista (Honkavaara 2014). Jauhetun oljen partikkelikoon tulisi olla 3–10 mm eli huomattavasti pienempi kuin briketöinnissä. Jauhaminen nostaa oljen tiheyden noin 220–240 kg/m³:iin (Alakangas 2000, Finér et al. 2014). Pelletöitävän oljen kosteuden tulisi olla alle 13 % eli vielä hieman kuivempaa kuin briketöitävän oljen (Honkavaara 2014). Vasaramyllyn osalta oljen kosteusvaatimus ei muutu, mutta pelletöinnissä on briketöintiä suuremmat puristusvoimat, jonka takia pelletit ovat brikettejä herkempiä höyryräjähdyksille. Pelletöinnissä lämpötila nousee jopa 150 °C -asteeseen ja olki kuivuu noin 10 prosenttiyksikköä. (Vuosjoki 2011). Lämpötila nousee automaattisesti laitteiston lämmitessä, mutta lämpötilaa voidaan joutua myös nostamaan lämmityksellä. Pelletöinnissä voidaan käyttää lisäaineita voiteluun ja sidosaineena. (Hyrkäs 2010).

Suomen ensimmäinen pellettitehdas aloitti toimintansa vuonna 1998, minkä perusteella voi todeta, että pelletöinti ei ole ollut kauan käytettyä teknologiaa. Vuonna 2001 pellettien tuotantomäärä oli noin 60 000–80 000 t/a. (Halonen et al. 2003).

Taulukko 6: Esimerkkilaitteistokokoonpanoja pelletöinnille. Lähde: Halonen et al. 2003.

Tehdas	Laitteet	Lkm
Pieni 500–5 000 t/a	Vasaramylly	1
	Puristin	1
	Jäähdytin	1
	Seula	1
Keskisuuri 5 000–20 000 t/a	Vasaramylly	1
	Puristin	1
	Jäähdytin	1
	Seula	1
	Varastosiilo	1
	Pussituslaitteisto	1
Suuri 20 000–100 000 t/a	(Kuivuri)	1
	Vasaramylly	2–4
	Puristin	2–4
	Jäähdytin	2–4
	Seula	2–4
	Varastosiilo	1–2
	Varasto	1
	Pussituslaitteisto	1–4
	Laboratorio	1

6.5.1 Pelletöinnin toimintaperiaate ja olkipelletin ominaisuudet

Olkipelletit kuten muutkin pelletit puristetaan rengas- tai tasomatriisikoneella, myös mäntäpuristimella voidaan tehdä pellettejä. Matriisikoneilla olki puristetaan kolleripyörien avulla rengas-, tai tasomatriisin läpi. (Alakangas 2000, Halonen et al. 2003, Hyrkäs 2010). Pelletöintilaitteita valmistaa muun muassa saksalainen Amandus Kahl (Hyrkäs 2010).

Pelletit ovat muodoltaan pyöreitä sylinterimäisiä kappaleita. Niiden halkaisija vaihtelee välillä 6–12 mm ja pituus vaihtelee välillä 10–35 mm. (Alakangas 2000, Halonen et al. 2003, Hyrkäs 2010). Pellettien halkaisija on näin ollen noin 10 % brikettien halkaisijasta. Pellettien kiintotiheys on välillä 800–1 400 kg/m³ ja irtotiheys on välillä 450 – 750

kg/m³ (Alakangas 2000, Honkavaara 2010). Olkipelletin lämpöarvo on 16,6 MJ/kg (Honkavaara 2010).

Taulukko 7: Oljen tiheydet irto-olkenä ja pellettinä.

Oljen tiheyksiä	
Irto-olki	35 kg/m ³
Pelletti	600 kg/m ³

6.5.2 Pelletöinnin energiankulutus ja työllistävyys

Pienemmät 5 000–10 000 t/a pellettiä tuottavat pellettitehtaat työllistävät 3–4 henkilöä kaksivuorotyössä. Suuremmat tehtaat, jotka tuottavat 10 000–20 000 t/a työllistävät 8 henkilöä kolmivuorotyössä. (Halonen et al. 2003)

Honkavaara (2014) mainitsee aineistossaan esimerkkilaitteiston oljen, 17,2 MJ/kg_{ka}, pelletöinnissä. Siinä 40 kW:n ottotehon paalisilppuri, 125 kW:n ottotehon vasaramylly ja 175 kW:n pellettipuristin, jonka tuotto on 1,3 – 2 t/h. Oljen pelletöinnin tehonkulutus on siis välillä 170–260 kWh/t eli 610–940 MJ/t. Näin ollen 35–55 % oljen lämpöarvosta kuluu pelletöintiin. Puun, 19,2 MJ/kg_{ka}, pelletöinnissä yhden teollisuuspuristimen tuotanto vaihtelee välillä 500–5 000 kg/h ja tehontarve vaihtelee vastaavasti välillä 30–300 kW eli noin 60 kWh/t eli 216 MJ/t (Halonen et al. 2003). Näin ollen vain hieman yli 1 % puun lämpöarvosta kuluu pelletöinnissä puristamiseen. Lasketut lämpöarvokulutuksia ei voi pitää kovin vertailukelpoisina, sillä puun laskelmasta puuttuu vasaramylly.

7. OLJEN LOGISTIIKKA

Siinä missä hakkuutähde voidaan säilyttää tienvarressa, terminaalissa tai käyttöpaikalla, voidaan olki vastaavasti varastoida pellonreunassa, terminaalimaisessa välivarastossa tai voimalaitoksen välittömässä läheisyydessä. Jokainen varastointipaikka tarjoaa monia varastointitapoja hieman vaihdellen sen mukaan missä muodossa olki on. Hakkuutähteen tai siitä tehdyn hakkeen kuljetukseen voidaan käyttää kuormatraktoria, maatalous-traktoria ja täysperävaunullista kuorma-autoa eli rekka-autoa. Myös oljen kuljetukseen käytetään yleensä traktori- tai rekka-autokuljetusta. (Finér et al. 2014, Halonen et al. 2003). Se onko olki irto-olkena, paalina, brikettinä vai pellettinä vaikuttaa sekä kuljetukseen että varastointiin.

7.1 Oljen varastointi

Olki tulisi keruun lisäksi myös varastoida mahdollisimman kuivana, oli olki missä muodossa tahansa (Lötjönen et al. 2011). Varastoinnin tarkoituksena on myös pitää oljen kosteus enintään samalla tasolla kuin se oli varastoon laitettaessa. (Yrjölä 2009). Varastointi olosuhteiden ollessa hyvät irto-olki ja olkipaalit kuivuvat 2–6 prosenttiyksikköä (Alakangas 2000).

Liiallinen kosteus aiheuttaa irto-oljen ja olkipaalien lämpenemistä ja homehtumista ilmavan varastoinnin aikana, minkä takia oljen lämpöarvo laskee. Lisäksi oljen homehtuminen ja kosteat olosuhteet altistavat olkea käsittelevät työntekijät mikrobeille, viruksille ja muille homepölyille, mitkä aiheuttavat terveysriskejä. Kosteankin irto-olkea ja paaleja voidaan varastoida, mutta tällöin varastoinnin tarvitsee olla ilmatiivistä. (Lötjönen et al. 2011, Yrjölä 2009). Kosteankin oljen lämpöarvo on kuitenkin pienempi ja kostea olki on painavampaa. Brikettien ja pellettien kohdalla kosteusvaatimus tulee jo prosessointivaatimuksena kuten edellä olleissa luvuissa 6.4 ja 6.5 kävi ilmi.

Irto-olkisilpun, jonka kosteus voi olla jopa 20–24 %, varastointi onnistuu tiivistetyissä ja muovilla peitetyissä aumoissa (Alakangas 2000). Paaleina oljen pitkäaikaiseen varastointiin voimalaitoksilla on harvoin sopivia varastoalueita, joten paaleja olisi voimalaitoksella vain pienen tasausvaraston verran ja pääasiassa paaleja tuotaisiin käytön mukaan voimalaitokselle (Lötjönen & Knuutila 2009). Tanskassa paalit varastoidaan pääasiassa varastorakennuksiin tai Pomi Wrap -putkeen, joka on paalin muovittamisen yksi vaihtoehto. Käsittelyinä briketointi ja pelletöinti nostavat oljen tiheyttä, mikä vastaavasti pienentää varastotilan tarvetta. (Finér et al. 2014).

7.1.1 Paalien pellonreunavarastointi

Pellonreunavarastoinnissa paalikasoihin tai käärittyihin paaleihin turvautuessa on syytä muistaa, ettei oljen hyvä peittely ja kuivana pitäminen aina riitä, vaan on myös huomioitava varaston sijainti, varsinkin käytettäessä rekka-autokuljetusta. Varastopaikan tulee olla sellainen, että tie, jonka varressa varasto on, kestää rekka-auton. Lisäksi rekka-auto tarvitsee kääntöpaikan. Varasto ei saa sijaita siten, että rekka-auto joutuu pysähtymään mäkeen ja varaston on oltava rekka-auton nosturin ulottuvilla. (Lötjönen & Knuutila 2009). Pellonreunaan kasaaminen tai kääriminen ei luonnollisesti tule kyseeseen brikettien ja pellettien kohdalla.

Peitettyt paalikasat

Paaleja kannattaa kasata muuta maastoa korkeammalle ja tasaiselle kohtaa, mikäli mahdollista (Finér et al. 2014). Paalikasan alle kannattaa laittaa jotain, joka pitää paalikasaa hieman maasta irti. Tällaiseen tarkoitukseen käyvät rangat, hake, puutavara tai kuormalavat (Lötjönen & Knuutila 2009). Paalikasan pohjarakenteesta voi tehdä myös kiinteän, mutta tällöin rajoitetaan traktorin liikkumista paalikasaa tehtäessä tai purettaessa. Kiinteää pohjarakennetta suunniteltaessa kannattaakin varmistaa, että paalikasaa tehtäessä ja purettaessa käytössä on metsätraktori, jossa on kuormaaja. (Lötjönen et al. 2011).



Kuva 22: Esimerkki paalikasasta. Lähde: Lötjönen & Kässi 2013.

Pellonreunavarastointi paalikasoina on ulkovarastointia ja paalit voivat kastua monen eri tekijän seurauksena. Kastumisen voivat aiheuttaa esimerkiksi vesisade, lumisade, pintavesi, maasta nouseva kosteus sekä kosteuden kondensoituminen katemateriaalin sisäpuolelle. (Yrjölä 2009). Paalikasan peittämiseen on monia vaihtoehtoja, kuten aumamuovi, kevytpeite, kestopelite ja peitepaperi. Paalikasan peittäminen tulee tehdä en-

nen kuin paalit ehtivät kastua sateiden takia. Paalिकासan muodon tulisi olla sellainen, että peitteen päällä oleva vesi pääsee vapaasti valumaan kohti reunoja, eikä muodosta niin sanottuja vesipusseja. Lisäksi paalिकासan muodolla voidaan vaikuttaa siihen, kuinka hyvin ilma pääsee kiertämään peitteen alla. Homehtumisriski pienenee, mikäli ilma pääsee kiertämään hyvin peitteen alla. Peitteen painona voidaan käyttää muun muassa maa-ainesta tai paaleja. Maa-ainesta painona käytettäessä on sen pääsy paalien sekaan estetävä. (Finér et al. 2014, Lötjönen et al. 2011, Yrjölä 2009).

Käärityt paalit

Paalिकासojen lisäksi paaleja voidaan varastoida käärimällä ne eri tavoin muoviin. Paalien käärminen yksitellen on hidasta ja melko kallista suhteutettuna paalista saatavaan energiamäärään. Yksittäiskäärimistä kehittyneempi käärintämenetelmä on käärinää paalit muoviin vain kehältä ja latoa paalit peräkkäin päädyt vastakkain. Tällöin säästetään paalien päätyjen verran muovia. Latominen on kuitenkin vaikea tehdä siten, ettei jäisi rakoja paalien väleihin. Kehittynein käärintämenetelmä on niin sanottu tuubikäärinä esi-merkiksi Pomi Wrap -laitteella. (Lötjönen et al. 2011).



Kuva 23: Pomi Wrap 5. Lähde: Pomi.

Kuvan 16 mukainen Pomi Wrap -laite toimii niin, että paalit nostetaan koneen sisälle päällekkäin pinoon. Kuvan 16 mukaisessa laitteessa 5 paalia per pino. Sitä mukaan, kun pinot valmistuvat, laite siirtyy eteenpäin samalla käärin valmiin pinoon muovin sisään. Paalipinoista muodostuu yhtenäinen ja saumattomasti muovitettu jono. Kyseisellä valmistajalla on 5, 7 ja 12 paalin paalipinoja muovittavia laitteita (Yrjölä 2009, Pomi)

Vaikka muovitetuista paaleista säilytetään ulkona kuten paalिकासoja, eivät paalit muovituksen toimiessa altistu vesisateelle, lumisateelle, pintavedelle, maasta nousevalle kosteudelle tai kosteuden kondensoitumiselle.

Varastorakennukset ja -katokset

Olkipaalit voidaan varastoida myös käyttöä vailla olevissa tai varta vasten rakennetuissa rakennuksissa. Jos olkea tuottavalla tilalla on tyhjiä ja avaria varastorakennuksia, kannattaa tällaiset rakennukset hyödyntää olkipaalien varastoinnissa (Lötjönen et al. 2011). Varastorakennuksen sijaitessa lähellä peltoa paalit kannattaa kuljettaa suoraan varastorakennukseen sen sijaan että paalit peiteltäisiin tai käärittäisiin muoviin pellonreunaan (Finér et al. 2014). Varastorakennuksen sijaitessa samalla tilalla, lähellä peltoa ja varastointikapasiteetin ollessa pieni, varastointitapa voidaan luokitella pellonreunavarastoinniksi.



Kuva 24: Varastokatos. Lähde: Lötjönen & Kässi 2013.

Tanskassa paalien tuubikäärin lisäksi varastointiin rakennetaan yksikertaisia katoksia, joissa on sorapohja, runkotolpat ja katto. Seiniä katoksessa ei ole, mikä helpottaa varaston täyttämistä ja tyhjentämistä. (Lötjönen et al. 2011). Seinättömässä katoksessa on myös huono puoli, sillä tuulisilla alueilla katoksen pitää olla hyvin tuettuja kovan tuulikuorman takia, mikä puolestaan voi tehdä katoksista varsin kalliita. (Finér et al. 2014). Alankomaissa varastointiin käytetään puolestaan paljon kaarimaisia varastorakennuksia, jolloin tuulikuorma pienenee, mutta luontainen ilmanvaihto säilyy lähes yhtä hyvänä. Varastot ovat uudelleen rakennettavia, joten niiden paikkaa voidaan vaihtaa tarvittaessa. Yhdysvalloissa tehdyssä riisin korren varastointitutkimuksessa tällainen varastointitapa osoittautui edullisimmaksi. Samaisessa tutkimuksessa kävi ilmi myös, että mitä suurempi varasto on, sitä edullisemmaksi varastointikustannukset muodostuvat. (Yrjölä 2009).

7.1.2 Terminaalivarastointi

Terminaalivarastoinnissa alue on rakennettu varta vasten paalien varastointiin. Rakennukset ovat varastointikapasiteetiltaan suuria, rakennuksia voi olla useampia ja paalien jatkokäsittely on mahdollista, eli terminaalivaraston yhteydessä voi olla briketöintilaitteisto tai pellettitehdas. Brikitit voidaan varastoida samankaltaisissa varastorakennuksissa kuin paalit, mutta pelletit vaativat viljasiilomaisen varastointiratkaisun pienen kokonsa takia. Terminaalivarastoinnissa paalikasoiista on mahdollista tehdä korkeampia kuin paalikasavarastoinnissa tai katosvarastoinnissa, mikäli etukuormaintraktorin sijaan käytettävissä on kurottaja (Lötjönen & Knuutila 2009).

7.2 Oljen kuljetus

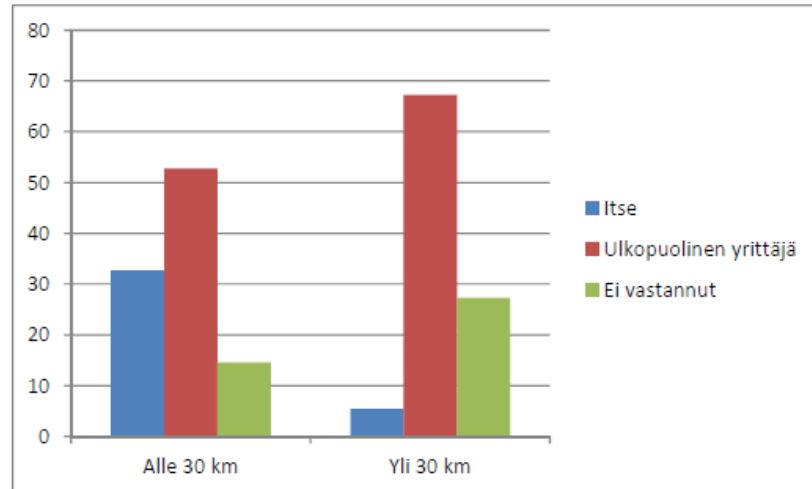
Kuljetuksen osalta hakkuutähteellä ja oljella on paljon yhteneväisyyksiä. Hakkuutähde lähikuljetetaan yleensä esimerkiksi kuormatraktorilla tai metsäperävaunulla ja kuormaimella varustetulla maataloustraktorilla. Vastaavasti oljen lähikuljetukseen käytetään esimerkiksi traktoria ja paalivaunua. Kaukokuljetukseen molemmilla yleensä käytetään rekka-autokuljetusta. (Finér et al. 2014, Halonen et al. 2003). Muita kaukokuljetusmahdollisuuksia olisivat rautatie- ja vesitiekuljetukset. Hakkuutähde voidaan kaukokuljettaa irtotavarana, risutukkeina, hakkeena, briketteinä tai pelletteinä (Halonen et al. 2003). Täysin vastaavasti olki voidaan kaukokuljettaa irto-olkena, paaleina, briketteinä tai pelletteinä.

Pitkät etäisyydet Suomessa vaativat paljon siirtoajoa ja senpä takia niin hakkuutähteen kuin oljen esimerkiksi paalaamisella pyritään parantamaan kuljetustehokkuutta (Halonen et al. 2003). Poikkeuksena ovat hyvin lyhyet kuljetusmatkat, jolloin irto-oljenketjun aiheuttama polttoaineiden kokonaiskulutus voi olla pienempi kuin esimerkiksi paalausketjun (Mäkinen et al. 2006). Paaleilla sekä paalien tiheyden että kuljetukseen lastaamisen tiheyden pitää olla mahdollisimman suuri varsinkin kaukokuljetuksessa (Finer et al. 2014). Kanttipaaleilla saadaan 30–50 % painavampia kuormia kuin pyöröpaaleilla (Lötjönen & Knuutila 2009). Näinkin suuren eron paalityyppien välillä selittää se, että kanttipaalien tiheys on suurempi ja kanttipaalit saadaan muotonsa ansiosta tiiviimmin lastattua kuljetukseen. Brikettien ja pellettien kilpailukykyä parantavat vielä alhaisemmat kuljetuskustannukset, sillä briketeillä ja pelleteillä saadaan parempi täyttöaste (Alakoski 2008). Brikettien ja metsätähdehakkeen kuljetusten yhdistäminen tarjoaisi mielenkiintoisen mahdollisuuden. Lisäksi meno-paluu -kuljetuksien hyödyntämisellä parannettaisiin kannattavuutta (Laurila & Saarinen 2014).

7.2.1 Traktori ja lähikuljetus

Traktoreita voidaan käyttää kuljetuksessa paalien keräämiseen pellolta pellonreunavarastoon (peitetty paalikasat, käärityt paalit, varastorakennukset ja -katokset). Traktoreita

voidaan käyttää myös oljen hieman pidemmän matkan kuljetukseen aina 30 km:iin asti, jonka jälkeen rekka-autokuljetus on kannattavampi (Lötjönen & Kässä 2013).



Kuva 25: Somerolaisten maanviljelijöiden vastaukset kyselyssä paalien kuljetuksen hoitamisesta osalta. Lähde: Välttilä 2014.

30 km:n kuljetusmatkaa traktorin enimmäismatkaksi tukee Välttilän (2014) teettämän kyselyn tulokset. Kyselyssä viljelijöistä 33 % oli valmiita kuljettamaan itse paalit alle 30 km matkan, mutta vain noin 5 % oli valmiita kuljettamaan yli 30 km matkan. Suurin osa viljelijöistä halusi, että sekä alle että yli 30 km:n kuljetusmatkan hoitaisi ulkopuolinen kuljetusyritys. (Välttilä 2014). Traktoreita voidaan käyttää lyhyen matkan kaukokuljetukseen, mutta tämän työn kannalta kaikki traktoreilla tapahtuva kuljettaminen luetaan lähikuljetukseksi.

7.2.2 Paalien lähikuljetuksen tehostaminen

Paalaimet ilman lisälaitteita jättävät paalit siihen kohtaan, missä paalit valmistuvat. Paalauksen valmistuttua paaleja on ympäri peltoa ja paalit pitäisi saada kerättyä pellon reunaan tai muuten varastoitua. Yksi paalienkeruumenetelmä on käyttää traktoria, jossa on paalipiikki, -pihti tai jopa molemmat. Tällöin traktorin kuljetuskapasiteetti rajoittuu kahteen paaliin, joka puolestaan tarkoittaa paljon ajamista pellolla, tehottomuutta ajan kulumisena ja mahdollisesti pellon liiallista tiivistymistä. Paalit voidaan kerätä kahdella traktorilla, jolloin toiseen traktoriin olisi liitettynä kärry tai vaunu ja toiseen traktoriin olisi liitettynä etukuormaaja. Etukuormaajalla kuormattaisiin kuormaa kärryyn tai vauvuun. Tällä menettelyllä saadaan nopeutettua keruuta ja vähennetään ajontarvetta pellolla. Kuitenkin tämä menettely tarkoittaa sekä traktorien että luonnollisesti ajajien lukumäärän kasvamista. Metsävaunulla ja puutavarakuormaimella vastaava keruu onnistuu yhdellä traktorilla. Automatisoidut ja hydraulikalla toimivat paalien keruuvaunut, kuten NHK -pyöröpaalivaunu, nopeuttavat vielä entisestään paalien keruuta. Paalien keruuvaunujen kapasiteetti vaihtelee välillä 9–18 paalia keruuvaunukohtaisesti. Automaattiset paalien keruuvaunut eivät kuitenkaan poista keruutraktorin tarvetta, ja ovat kalliita, mi-

kä ohjaa niiden hankintaa urakoitsijoille. (Lötjönen et al. 2011, Lötjönen & Knuutila 2009).



Kuva 26: Paalikärri (vas.) ja automaattinen paalien keruvaunu. Lähde: Lötjönen et al. 2011.



Kuva 27: Trakorivetoinen paalivaunu. Lähde: Lötjönen et al. 2011.

Eräs Tanskassa käytetty ratkaisu on paalaimen perään kiinnitettävä paalikärri. Paalit siirtyvät automaattisesti hydrauliiikan avulla paalikärrielle valmistuttuaan paalaimesta ja paalikärri myös tyhjennetään hydraulisesti kippaamalla. Paalikärriä on sekä pyöröpaaleille että kantipaaleille ja niiden kapasiteetti on noin 3 paalia. Paalikärrien tarkoitus on viedä paalit pellon päähän tai ainakin lähemmäksi sitä. Paalikärriellä saadaan tehostettua paalien keruuta, sillä erillistä keruutraktoria ei tarvita niin paljoa ja pellon pinta pysyy tasaisempuna. Paalikärrien hyötyyn vaikuttaa pellon koko, sillä pienimillä pelloilla pellon reunasta reunaan paalaaminen voi olla lyhyempi matka kuin matka, jonka aikana 3 paalia valmistuu. Huomionarvoista on, että paalit jäävät kaikilla keruutavoilla yhteen kerrokseen, pois lukien etukuormaajassa olevat paalipihdit. Paaleja on vielä nostettava päällekkäin varastointitilan säästämiseksi. (Finér et al. 2014, Lötjönen et al. 2011, Lötjönen & Knuutila 2009).

7.2.3 Rekka-auto ja kaukokuljetus

Suurimman kuljetuskapasiteetin omaavista tieliikennekelpoisista rekka-autoista yleisimpiä ovat 7 -akseliset täysperävaunuyhdistelmät. Näiden kokonaismassa on 60 t hyötykuorman massan ollessa 33–35 t eli rekka-auton omamassa on 25–27 t. Tällaisten rekka-autojen kuormatilavuus on 115–120 m³, korkeus 4,2 m, leveys 2,6 m ja pituus 22 m. Uusimpien asetusten mukaan rekka-auton kokonaismassan maksimi on nostettu 76 t:iin, pituuden maksimia on nostettu 25,25 m:iin ja korkeuden maksimia on nostettu 4,4 m:iin. Uusien asetusten ansiosta rekka-auton kuormatilavuus voi olla jopa 150 m³ ja hyötykuorma voi olla jopa 51 t. (Halonen et al. 2003, Pöyskö et al. 2014).

Taulukko 8: Rekka-auton kuorman maksimimassat ja -tilavuudet vanhoilla ja uusilla asetuksilla.

	Vanhat rajat	Uudet rajat	
Kuorman massa [t]	35	51	+ 45,7 %
Kuorman tilavuus [m ³]	120	150	+ 25,0 %



Kuva 28: Esimerkki kanttipaalilla lastatusta rekka-autosta. Lähde: Hakala et al. 2012.

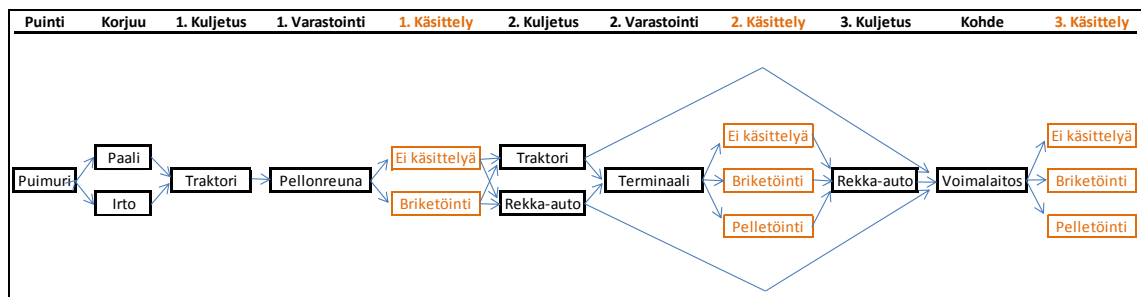
Oljen kaukokuljetuksen enimmäismatkaksi on arvioitu 100 km:n kuljetusmatka. (Saari-
nen & Laurila 2014). Tätä arvioita tukevat ruokohelpipaalien kuljetusten 100 km:n
enimmäismatka, turvekuljetusten keskimääräinen 100 km:n kuljetusmatka ja Tanskan
150 km:n olkipaalien kuljetuksen enimmäismatka. (Lähdevaara et al. 2010, Paappanen
et al. 2008). Huomion arvoista on, että Lähdevaara et al. (2010) ja Paappanen et al.
(2008) käsittelevät paalien kuljetusta, joten brikettien ja pellettien kuljettamisen enim-
mäismatka voi olla pidempi.

8. OLKI PELLOLTA KATTILAAN

Tässä luvussa tarkastelen ja vertailen oljen eri vaiheita ja reittejä pelloilta polttoon. Joi-takin arvoja valitsen edellisten lukujen perusteella laskemista ja vertailua varten. Esi-merkiksi luvun 3.2 mukaisesti valitsen oljen teknis-taloudelliseksi saannoksi 1,01 t/ha ja saatavuudeksi 60 %. Polttotekniikoita en vertaile tässä työssä.

8.1 Oljen toimitusketjujen vertailua

Oljen toimitusketjujen vertailu on yhtä kuin oljen korjuu-, käsittely-, varastointi-, ja kuljetustapojen vertailua. Oljen korjuu ei tarjonnut kovin paljon vaihtoehtoja. Puinti on välttämätön, korjattiin olki talteen tai ei. Varsinainen oljen korjuu voidaan tehdä irto-olkena tai paaleina. Käsittelyn osalta paalien tai irto-oljen käsittely voidaan jättää teke-mättä, ne voidaan myös briketöidä briketeiksi tai pelletöidä pelleteiksi. Olki voidaan varastoida pellonreunassa paalikasoina, aumoina tai käärittyinä, terminaalimaisissa vä-livaraston varastorakennuksissa tai voimalaitoksen välittömässä läheisyydessä. Olkea kuljetetaan traktoreilla tai rekka-autoilla. Se kuinka paljon olkea käsitellään, missä olki varastoidaan ja miten olkea kuljetetaan liittyvät vahvasti toisiinsa.

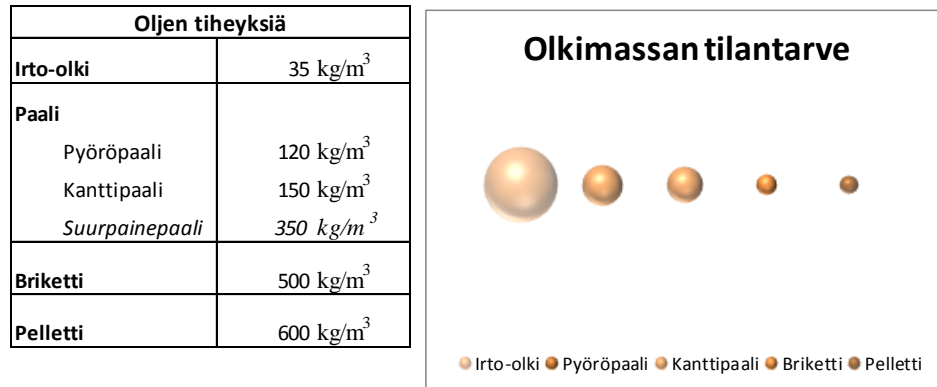


Kuva 29: Oljen toimitusketjun muodostumismahdollisuudet käsittelyn, varastoinnin ja kuljetuksen osalta.

Kuvassa 28 paalikorjuu tarkoittaa sekä pyörö- että kanttipaalikorjuuta, irtokorjuu sisältää kaikki irto-oljen korjuumenetelmät, 1. kuljetus tarkoittaa vain lyhyttä kuljetusta pel-lonreunavarastoon, pellonreunavarasto voi olla paalikasa, muovitettuja paaleja, varasto-rakennus tai varastokatos. Lisäksi on syytä huomauttaa, ettei käsittelyä tehdä kahteen kertaan, pellonreunassa vain briketöinti on mahdollista ja 2. kuljetuksen traktorikulje-tuksen maksimi etäisyys on 30 km luvun 7.2.1 mukaisesti. Näilläkin rajauksilla muo-dostuu laskennallisesti 40 erilaista toimitusketjua, jotka olen listannut liitteeseen C.

8.1.1 Korjuu ja käsittelyt

Lukujen 6.3.1, 6.4.2 ja 6.5.1 taulukoiden 3, 4 ja 6 perusteella olen havainnollistanut kuvassa 29 olkimassan tilavuuden suhteen massaan eri muodoissa.



Kuva 30: Oljen tiheyksiä ja tilavuuksia eri muodoissa.

Tiheyden muutoksen ja sen myötä myös tilantarpeen lisäksi oljen lämpöarvo hieman muuttuu kosteuspitoisuuden muuttuessa:

- Luvun 3.1 mukaisesti valitsen irto-oljen ja paalien lämpöarvoksi 13,4 MJ/kg
- Luvun 6.4.2 mukaisesti valitsen olkibriketin lämpöarvoksi 15,5 MJ/kg
- Luvun 6.5.1 mukaisesti valitsen olkipelletin lämpöarvoksi 16,6 MJ/kg.

Muita muutoksia en katso oljessa tapahtuvan sen perusteella onko olki irto-olkena, paalina, brikettinä vai pellettinä. Tosin luvun 5.2.2 mukaan oljen huuhtoutuminen vesisateissa laskee oljen haitallisten alkuaineiden pitoisuutta, mutta se ei vaikuta tähän tarkasteluun.

8.1.2 Briketöinnin ja pelletöinnin vertailua

Briketöinnillä on monia etuja verrattuna pelletöintiin. Alakosken (2008) mukaan briketöintilaitteiston investointikustannus on noin kymmenesosa pellettitehtaasta, brikettejä on huomattavasti helpompi valmistaa kuin pellettejä, briketöintilaitteiston siirtäminen on helppoa, brikettien valmistaminen pienilläkin volyyymeillä on kannattavaa ja briketti-tuotannon liiketoimintariski on pienempi kuin pellettituotannon. Finér et al. (2014) mukaan briketöintilaitteiston energiankulutus on pienempi ja briketöintilaitteisto on investointikustannuksien lisäksi käyttökustannuksiltaan edullisempi. Briketöinnin osalta voitaisiin verrata vielä kiinteitä briketöintilaitteistoja ja mobiileja briketöintilaitteita. Briketöinnin ja pelletöinnin kohdalla on syytä muistaa, että ne käsittelyinä nostavat polttoaineen hintaa (Finér et al. 2014).

8.1.3 Kuljetus

Tässä työssä en ota pelolla tapahtuvaa paalien kuljetusta mukaan vertailuun. Katson sen olevan maanviljelijän tai urakoitsijan itsensä päätettävissä, kuinka paljon halutaan panostaa paalien keruuseen esimerkiksi paalikärrien ja -vaunujen muodossa. Tähän vaikuttaa olennaisesti oljesta saatava korvaus suhteessa laitteiden hintaan.

Traktorikuljetusta käytettäessä pitkän matkan kuljettamiseen, maksimissaan 30 km, luvun 7.2.2 perusteella arvioin paalivaunun maksimikapasiteetiksi 20 paalia sekä pyöröettä kantipaaleille. Täten yhden paalivaunun kuorman massaksi saan pyöröpaaleilla 3 820 kg ja pienemmillä kantipaaleilla 5 180 kg. Kuormien massan eron selittävät kantipaalien suurempi tiheys ja parempi lastattavuus.

Traktorikuljetusta voitaisiin käyttää myös mobiilileilla briketöintilaitteilla valmistettujen brikettien kuljettamiseen. Tuhti telivaunujen keskimääräinen tilavuus lisälaidoilla on 14,5 m³, jolloin brikettikuorman massa on 7 250 kg. Vastaavien telivaunujen keskimääräinen kantavuus on 13 t. Samoilla telivaunuilla rehulaidoin varustettuna olisi mahdollista kuljettaa irto-olkea vain 890 kg. (Tuhti perävaunut 2013).

Taulukko 9: Paalivaunun kuorman massat pyörö- ja kantipaaleilla ja telivaunujen kuorman massa briketeillä ja irto-oljella.

	Tilavuus	Tiheys	Määrä	Kuorman massa
Pyöröpaali	$\pi \cdot 1.2m \cdot (0.65m)^2$ 1,59 m ³	120 kg/m ³	20 kpl	3823 kg
Kanttipaali	1.2m*0.9m*1.6m 1,73 m ³	150 kg/m ³	20 kpl	5184 kg

	Telivaunujen tilavuus	Tiheys	Kuorman massa
Briketti	14.5 m ³	500 kg/m ³	7250 kg
Irto-olki	25.5 m ³	35 kg/m ³	893 kg

Taulukko 10: Rekka-autokuljetuksen massoja.

	Kuorman tilavuus	Kuormaus-tiheys	Kuorman massa	Kuorman massa-rajoitus huomioiden	
Irto-olki	120 m ³	35 kg/m ³	4,2 t	4,2 t	Todellisen kuorman tilavuus
Pyöröpaali	120 m ³	100 kg/m ³	12,0 t	12,0 t	
Kanttipaali	120 m ³	150 kg/m ³	18,0 t	18,0 t	
Briketti	120 m ³	500 kg/m ³	60,0 t	35,0 t	
Pelletti	120 m ³	600 kg/m ³	72,0 t	35,0 t	

Rekka-autokuljetusta voidaan periaatteessa käyttää irto-oljelle, paaleille, briketeille ja pelleteille. Rekka-autokuljetusta tarkasteltaessa käytän varmuuden vuoksi vanhoja rajoituksia kuorman mitoille ja massalle. Lisäksi on syytä huomauttaa, että käytän samoja rajoja riippumatta siitä missä muodossa olki on, vaikka kuljetuskalusto on erilainen esimerkiksi paaleja kuljettaessa kuin brikettejä kuljettaessa.

Paalattunakin olki on suhteellisen kevyttä, eikä paalikuorman massa ole kuin puolet maksimikantavuudesta eli kuljetuskapasiteettia ei saada hyödynnettyä kokonaan. Tämä nostaa rahtikustannuksia. Irto-oljen rekka-autokuljetukseen voi suhtautua hyvin varauksella samasta syystä. Luvun 6.3 perusteella käytän taulukossa 10 pyöröpaalille kuormaustiheytenä paalin tiheyttä pienempää arvoa.

8.2 Hinnan muodostuminen oljelle toimitusketjussa

Oljen hinnan tulisi olla sellainen, että energiantuottajan on kannattavaa tuottaa energiaa oljella. Oljen hinnan muodostumiselle käytän tässä työssä seuraavanlaisia muodostajia:

- maanviljelijälle korvaus oljesta
- maanviljelijälle tai urakoitsijalle korvaus korjuutyöstä
- kuljetusyriykselle korvaus kuljettamisesta
- briketöinnin tai pelletöinnin tekijälle korvaus käsittelystä

Terminaalivarastointikustannuksien muodostamisen muodossa €/MWh katson olevan todella hankalaa, joten sitä en sitä käsittele tässä työssä.

8.2.1 Maanviljelijän korvaus oljesta

Maanviljelijälle maksettava korvaus oljesta vaihtelee hieman lähteittäin:

- Kykkänen (2013) mainitsi tekstissään, että olkitonnin hinta voisi olla 10–20 €/t
- Lötjösen & Kässin (2013) laskelmassa oljen kantohinta on 28 €/t_{ka}
- Finér (2015) mukaan Raisioagro on maksanut oljesta 30 €/ha eli 12 €/t
- Lötjösen & Kässin (2013) mukaan Tanskassa oljen kantohinta on 20 €/t

Näiden hintojen perusteella oletan maanviljelijälle maksettavan korvauksen myymästään oljesta olevan 20 €/t. Tämä korvaus on niin sanotusti kantohinta eli se ei sisällä työpanoksia vaan ostaja hoitaa oljen korjuun tässä tapauksessa. 20 €/t on noin 5,4 €/MWh. Lötjösen & Kässin (2013) laskelmasta voi laskea myös €/MWh hinnan, se on 6,1 €/MWh.

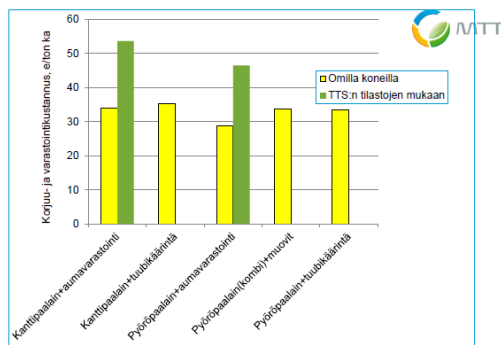
8.2.2 Korjuu- ja varastointikustannukset

Korjuu- ja varastointikustannus pellonreunaan vaihtelee tekijän sekä käytettyjen menetelmien mukaan. Lötjösellä & Kässillä (2013) on tekstissään hyvä kuva, josta selviää tekijän ja käytettävien menetelmien vaikutus.

Kuvan 32 perusteella omilla koneilla kustannukset vaihtelevat noin 30–35 €/t_{ka} ja TTS:n (Työtehoseuran) urakointikyselyn mukaan urakoitsijan tekemänä noin 47–53 €/t_{ka}. Näi-

den kustannusten keskiarvot muutettuna muotoon €/MWh saadaan arvot omilla koneilla 7 €/MWh ja urakoitsijalla 11 €/MWh.

Ylhäisen (2011) mukaan oljen korjuukustannus paalattuna olisi 6–7 €/MWh. Karhotus, paalaus ja varastointi pellonreunaan urakoitsijalla teetettynä maksaisi 40 €/t eli 10,8 €/MWh (Finér 2015). Välttilän (2014) teettämässä kyselyssä oljen hinta voisi alimmillaan olla 20 €/t ja korkeimmillaan 100 €/t. Keskiarvo kyselyssä 67,6 €/t. Kyselyssä hintaa kysyttäessä paalien piti olla paalattuna ja kasattuna pellonpähän, joten olettamalla oljen hinnaksi 20€/t eivät viljelijät velottaisi työstään mitään alimman hinnan mukaan. Keskiarvolla veloittaisivat 47,6 €/t eli 12,8 €/MWh.



Kuva 31: Tekijän ja menetelmien vaikutus korjuu- ja varastointikustannukseen.
Lähde: Lötjönen & Kässi 2013.

Edellä ilmenneiden lukujen perusteella oljen korjuu- ja varastointikustannus on maanviljelijän itsensä tekemänä 7 €/MWh ja urakoitsijan tekemänä 11 €/MWh. Kaikki edellä mainitut arviot korjuu- ja varastointikustannuksille koskevat paaleja ja ilman sen tarkempaa tietoa oletan kustannuksien olevan samat irto-oljelle.

8.2.3 Kuljetuskustannus

Kuljetuksessa traktorin kustannukseksi Paappanen et al. (2011) olettivat 40 €/h. Työtehoseuran raportissa traktorin ja peräkärryn kustannuksesi on ilmoitettu 48 €/h (Finér 2015). Näiden keskiarvona saadaan 44 €/h. Kuorman lastaukset ja purkamiset huomioiden traktorin nopeudeksi kuljetuksessa oletan 40 km/h. Näillä arvoilla kuljetuksen kilometrihinnaksi tulee 1,1 €/km. Olkikuorman massa on irto-oljella 890 kg, pyöröpaaleilla 3 820 kg, kanttipaaleilla 5 180 kg ja briketeillä 7 250 kg. Vastaavat energiamäärät ovat: irto-oljella 3,3 MWh, pyöröpaaleilla 14,2 MWh, kanttipaaleilla 19,3 MWh ja briketeillä 31,2 MWh, joten kuljetuskustannukseksi tulee:

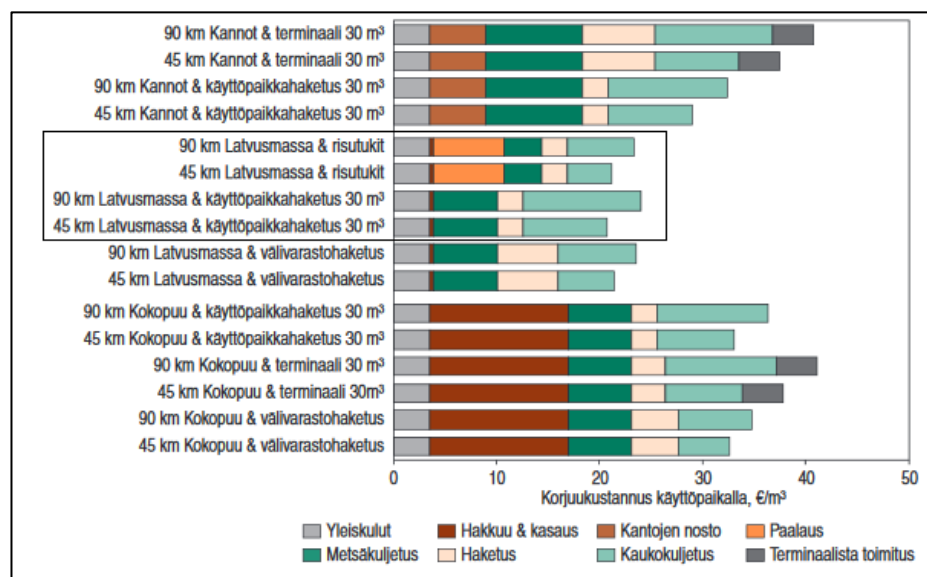
$$- \text{ irto-oljella } \quad 0,333 \frac{\text{€}}{\text{MWh} \times \text{km}}$$

- pyöröpaaleilla $0,077 \frac{\text{€}}{\text{MWh} \times \text{km}}$
- kanttpaaleilla $0,057 \frac{\text{€}}{\text{MWh} \times \text{km}}$
- briketeillä $0,035 \frac{\text{€}}{\text{MWh} \times \text{km}}$

Olettamalla kuljetusmatka maksimaaliseksi eli 30 km per suunta, tulisi kuljetuskustannukseksi irto-oljella 20,0 €/MWh, pyöröpaaleilla 4,6 €/MWh, kanttpaaleilla 3,4 €/MWh ja briketeillä 2,1 €/MWh. Lötjösen & Kässin (2013) laskelman mukaan 20 km edestakaisen kuljetuksen kustannus olisi 10 €/t_{ka} tai 2,2 €/MWh eli 30 km:llä se olisi 3,3 €/MWh, joka on erittäin hyvin linjassa kanttpaalikuljetuskustannuksen kanssa.

Rekka-autoilla tehtävän kaukokuljetuksen osalta lastauksen, 30 km kuljetuksen ja purkamisen kustannus on paaleilla 16 €/t (Finér 2015). Irto-oljen, brikettien ja pellettien kaukokuljetuskustannukset olen johtanut traktorikuljetuksesta.

- irto-oljella $0,711 \frac{\text{€}}{\text{MWh} \times \text{km}}$
- paaleilla $0,143 \frac{\text{€}}{\text{MWh} \times \text{km}}$
- briketeillä $0,075 \frac{\text{€}}{\text{MWh} \times \text{km}}$
- pelleteillä $0,057 \frac{\text{€}}{\text{MWh} \times \text{km}}$



Kuva 32: Metsähakkeen korjuukustannus käyttöpaikalla kaukokuljetusmatka pituuden mukaan eri korjuumenetelmillä ja metsähakelajikkeilla. Lähde: Asikainen et al. 2012.

Kuvan 33 perusteella risutukkien kaukokuljetuskustannus olisi 45 km:n kuljetusmatkalla noin 4,4 €/m³ ja 90 km:n matkalla noin 6,2 €/m³. Näistä johdettuna risutukkien keskimääräinen kaukokuljetuskustannus olisi noin 0,078 €/(km*m³). Samoin kuvan 33 perusteella irtonaisen latvusmassan keskimääräinen kaukokuljetuskustannus olisi 45 km:n kuljetusmatkalla noin 8,3 €/m³ ja 90 km:n matkalla noin 11,5 €/m³. Näistä johdettuna

risutukkien kaukokuljetuskustannus olisi noin $0,147 \text{ €/}(km \cdot m^3)$. 1 m^3 :n vastatessa noin 2 MWh, saadaan

- risutukkien keskimääräiseksi kaukokuljetuskustannukseksi $0,156 \frac{\text{€}}{\text{MWh} \times \text{km}}$
- latvusmassan keskimääräiseksi kaukokuljetuskustannukseksi $0,294 \frac{\text{€}}{\text{MWh} \times \text{km}}$.

Näistä kaukokuljetuskustannuksista risutukkien keskimääräinen kaukokuljetuskustannus on lähellä olkipaalien kaukokuljetuskustannusta, joten risutukkien ja olkipaalien kaukokuljetuksia voidaan pitää kustannuksiltaan toisiaan vastaavina.

8.2.4 Käsittelykustannus

Käsittelyiden vaikutusta oljen hintaan lähestyn esimerkkitapausten avulla. Lähtötiedot tapauksiin olen saanut Aki Finérltä (2015) ja Tapani Bastmanilta (2015).

Tapaus 1: Pellettitehdas

Pellettitehtaan investointikustannus: esikäsittelylaitteisto 650 000 €, kuivauslaitteisto 815 000 €, pelletöinti- ja jäähdytyslaitteisto 880 000 € ja varastointisiilo 200 000 €. Yhteensä noin 2,6 milj. €. Tuotanto 8 t/h, käyttöaika 8 000 h/a ja takaisinmaksuaika 15 a. 15 vuoden tuotanto olisi 960 000 t, joka olisi energiana 4,43 TWh. Luvun 6.5.2 mukaan 35 % oljen energiasta kuluu pelletöintiin. Tämä vähennettynä tuotetun pellettimäärän energiasta saadaan 2,88 TWh. Tehtaassa olisi jatkuvasti 1 henkilö paikalla ja tuntityökustannus olisi 40 €/h. Työvoimakustannus olisi 3,6 milj. €.

- pelletöinnin käsittelykustannukseksi tulee 2,2 €/MWh.

Tapaus 2: Briketöintilaitteisto

Briketöintilaitteiston investointikustannus: 200 000 €. Tuotanto 2 t/h, käyttöaika 2 000 h/a ja takaisinmaksuaika 7 a. 7 vuoden tuotanto olisi 28 000 t, joka olisi energiana 120,5 GWh. Luvun 6.4.3 mukaan 3 % oljen energiasta kuluu briketöintiin. Tämä vähennettynä tuotetun brikettimäärän energiasta saadaan 116,9 GWh. Briketöintilaitteistoa käyttäisi 1 henkilö, ja tuntityökustannus olisi 25 €/h. Työvoimakustannus olisi 350 000 €.

- briketöinnin käsittelykustannukseksi tulee 4,6 €/MWh.

8.3 Yhteenveto oljen hinnan muodostumisesta

- maanviljelijälle tulisi maksaa oljesta	5,4 €/MWh
- korjuu- ja varastointikustannuksista:	
• maanviljelijälle	7,0 €/MWh
tai	
• urakoitsijalle	11,0 €/MWh
- traktorikuljetuksen järjestäjälle	
• irto-olkena	$0,333 \frac{\text{€}}{\text{MWh} \times \text{km}}$
• pyöröpaaleina	$0,077 \frac{\text{€}}{\text{MWh} \times \text{km}}$
• kanttipaaleina	$0,057 \frac{\text{€}}{\text{MWh} \times \text{km}}$
• briketteinä	$0,035 \frac{\text{€}}{\text{MWh} \times \text{km}}$
- rekka-autokuljetuksen järjestäjälle	
• <i>irto-olkena</i>	$0,711 \frac{\text{€}}{\text{MWh} \times \text{km}}$
• <i>paaleina</i>	$0,143 \frac{\text{€}}{\text{MWh} \times \text{km}}$
• briketteinä	$0,075 \frac{\text{€}}{\text{MWh} \times \text{km}}$
• <i>pelletteinä</i>	$0,057 \frac{\text{€}}{\text{MWh} \times \text{km}}$
- käsittelyn tekijälle	
• pelletöinnistä	2,2 €/MWh
• briketöinnistä	4,6 €/MWh
- terminaalivarastointi	<i>ei määritelty</i>

9. CASE – NA 4 CHP

Tässä luvussa käsittelen Naantaliin tulevaa monipolttoainevoimalaitosta – NA4 CHP – esimerkki voimalaitoksena oljen hyödyntämisestä energiantuotannossa. NA4 tarkoittaa Naantalin 4. voimalaitosta ja CHP tarkoittaa, että se on yhdistetyn sähkön- ja lämmön tuotannon voimalaitos. Voimalaitos on TSE:n eli Turun Seudun Energiantuotanto Oy:n hanke. TSE:n omistajarakenne on seuraavanlainen: 49,5 % Fortum, 39,5 % Turku Energia, 5 % Raision kaupunki, 3 % Kaarinan kaupunki ja 3 % Naantalin kaupunki. (NA4 CHP-projekti).

Voimalaitoksen rakentamisesta on päätetty 14.4.2014 ja se pitäisi ottaa käyttöön syksyllä 2017. Rakentamisesta vastaa TSE:n, A-Insinöörien, Insinööritoimisto AX-LVI:n ja YIT:n allianssiryhmittymä. Tämä voimalaitoshanke on ensimmäinen allianssimallilla toteutettava teollisuuskohde. Tämä uusi NA4 CHP-voimalaitos rakennetaan nykyisten voimalaitosten (NA1, NA2 ja NA3) yhteyteen. (NA4 CHP-projekti).

NA4 CHP-voimalaitoksen on suunniteltu olevan polttoaineteholtaan noin 430 MW ja energiatuottoteholtaan 396 MW, eli voimalaitoksen hyötysuhde olisi 92 %. Tuotetusta energiasta tuotettaisiin 146 MW sähköä ja 250 MW lämpöä, joten voimalaitoksen rakennusaste olisi 0,58. Voimalaitoksen kattilana tulee olemaan Valmetin toimittama CYMIC-kattila, joka on kiertoleijukattila. Kattilassa on tarkoitus polttaa seoksena biomassoja, hiiltä ja turvetta. Voimalaitoksen tavoitteena on 60 %:n biopolttoaineisuus. Biomassalle on vastaanotossa kolme vastaanottolinjaa, jotka kuljettavat biomassan seullonnan kautta varastoon. Varastoon mahtuu biomassaa 15 000 m³. (NA4 CHP-projekti).

9.1 Oljen rooli NA4 CHP:ssa

NA4 CHP-voimalaitoksella on suunnitelmien mukaan korkea biopolttoaineiden osuus, joten voimalaitoksen kannalta on hyvä tarkastella oljen hyödyntämistä energiantuotannossa. Valitsen voimalaitostarkasteluun 3 erilaista energiantuotantotavoitetta oljen osuudelle: 300 GWh/a, 150 GWh/a ja 75 GWh/a. Nämä ja muut lähtötiedot laskelmia varten ovat liitteessä D. Lähtötiedoista voimalaitoksen toiminta-aika, vuotuisten kuljetuspäivien lukumäärät sekä paalien esikäsittelykustannukset olen saanut TSE:n toimitusjohtajalta Tapani Bastmanilta suullisesti 29.4.2015. Lisäksi paalin tiheydessä, tilavuudessa ja kuljetuskustannuksissa olen käyttänyt pyörö- ja kanttipaalien keskiarvoja. Muut laskelmissa käyttämäni lähtöarvot ovat suoraan tästä työstä.

Kuten kuvasta 34 käy ilmi, 300 GWh/a vastaa oljen noin 10,6 %:n osuutta, 150 GWh/a noin 5,3 %:n osuutta ja 75 GWh/a noin 2,7 %:n osuutta. Suurin oljen energiatuottotaivoitteista, 300 GWh/a, on prosentuaalisesti lähellä voimalaitoksessa poltettavan oljen maksimiarvoa, 10 % (Bastman 2015). Lisäksi kuvan 34 perusteella teen päätelmän, että voimalaitoksella tarvittavat massat ovat niin suuria, että suljen tässä vaiheessa irto-oljen pois toimitusketjuvaihtoehdoista. Myös oljen toimitus paaleina NA4 CHP-voimalaitokselle on osittain poissuljettu vaihtoehto tilanpuutteen takia, sillä tämä voimalaitos tulee alueelle, jolla on jo muita voimalaitoksia (NA1, NA2 ja NA3) (Bastman 2015). Oljen toimituksen paaleina otan kuitenkin mukaan laskelmiini vertailukohdaksi.

Tarvittavat massat		
Tavoite 1:	Tavoite 2:	Tavoite 3:
300 GWh	150 GWh	75 GWh
300 000 MWh	150 000 MWh	75 000 MWh
1 080 000 000 MJ	540 000 000 MJ	270 000 000 MJ
Oljen osuus:	Oljen osuus:	Oljen osuus:
45,66 MW	22,83 MW	11,42 MW
10,62 %	5,31 %	2,65 %
Tarvittava olkimassa:	Tarvittava olkimassa:	Tarvittava olkimassa:
80597014,93 kg	40 298 507,46 kg	20 149 253,73 kg
<u>80597,01 t</u>	<u>40 298,51 t</u>	<u>20 149,25 t</u>

Kuva 33: Voimalaitoksessa tarvittavat olkimassat.

Toimitusketjuista päädyin valitsemaan, Tapani Bastmanin kanssa käymäni keskustelun perusteella, vaihtoehtoiksi seuraavat toimitusketjut:

- 1 tarkastelu paaleille, missä paalit kerätään pellonreunaan, josta ne kuljetetaan ilman käsittelyä traktorikuljetuksella terminaalivarastoon, josta ne ilman käsitte-lyä kuljetetaan rekka-autokuljetuksella voimalaitokselle
- 2 tarkastelua briketeille;
 - toisessa paalit kerätään pellonreunaan, josta ne kuljetetaan ilman käsitte-lyä traktorikuljetuksella terminaalivarastoon, jossa ne briketöidään, min-ikä jälkeen briketit kuljetetaan rekka-autokuljetuksella voimalaitokselle
 - toisessa paalit kerätään pellonreunaan, jossa ne briketöidään, minkä jäl-keen briketit kuljetetaan traktorikuljetuksella terminaalivarastoon, josta ne kuljetetaan rekka-autokuljetuksella voimalaitokselle
- 1 tarkastelu pelleteille, missä paalit kerätään pellonreunaan, josta ne kuljetetaan ilman käsittelyä traktorikuljetuksella terminaalivarastoon, josta ne ilman käsitte-lyä kuljetetaan rekka-autokuljetuksella voimalaitoksen läheisyydessä olevaan pelletöintitehtaaseen.

Liitteissä E ja G käytetty kuva on peräisin Maanmittauslaitoksen pohjakartasta ja tilastot ovat peräisin Luonnonvarakeskukselta. Traktorikuljetuksissa käytän 20 km:n keskimääräistä kuljetusmatkaa. Rekka-autokuljetuksissa kuljetusmatka vaihtelee.

9.2 Toimitusketju 1 – Paaleina

Toimitusketjulle 1 olen liitteessä E muodostanut 4 oljen keruualuetta, joiden säteet ovat 30 km. Keruualueet olen nimennyt keskeisimmän paikkakunnan mukaan: Naantali, Laitila, Loimaa ja Salo. Laitilan keruualueella olevan Euran olen ottanut huomioon vain puoliksi, koska Eura on vain noin puoliksi Laitilan keruualueella. Toimitusketjussa 1 oljet toimitettaisiin paaleina traktorikuljetuksella keruualueiden keskellä sijaitseviin terminaaleihin, Naantalin keruualueen kohdalla luonnollisesti suoraan voimalaitokselle. Terminaaleista paalit kuljetettaisiin rekka-autoilla voimalaitokselle. Liitteessä F olen laskenut toimitusketjun 1 kuljetuskustannukset ja lisännyt ne muihin, liitteessä D mainittuihin kustannuksiin. Huomion arvoista on, ettei pelkkä Naantalin keruualue riitä kattamaan edes pienintä tavoitetta, joten kaikissa tapauksissa olkea joudutaan keräämään muualtakin. Lisäksi paaleille on lisätty esikäsitteilykustannukset, sillä paalit aiheuttaisivat NA4 CHP-voimalaitoksella käsitteilykustannuksia, joita brikettien tai pellettien käyttö ei aiheuttaisi. Esikäsitteilykustannukset näkyvät liitteessä D.

9.3 Toimitusketjut 2 ja 3 – Briketöintiasemat ja mobiilit briketöintilaitteet

Toimitusketjuille 2 ja 3 olen liitteessä G muodostanut 6 oljen keruualuetta, joiden säteet ovat 30 km. Keruualueet olen nimennyt keskeisimmän paikkakunnan mukaan: Kaarina, Mynämäki, Loimaa, Eura, Somero ja Raasepori. Uudenkaupungin, Huittisen, Punkalaitumen, Ypäjän ja Kokemäen olen ottanut huomioon vain puoliksi, sillä ne ovat vain puoliksi omilla keruualueilla. Salon olen jakanut tasaisesti Kaarinan, Someron ja Raaseporin keruualueille.

Toimitusketjussa 2 oljet toimitettaisiin paaleina traktorikuljetuksella keruualueiden keskellä oleviin terminaaleihin. Terminaaleissa paalit briketöitäisiin, joten terminaalit olisivat samalla briketöintiasemia. Terminaaleista briketit kuljetettaisiin kahdelta lähimmältä terminaalilta traktorikuljetuksella ja muilta rekka-autokuljetuksella voimalaitokselle.

Toimitusketjussa 3 paalit briketöitäisiin pellonreunavarastoilla käyttäen mobiileja briketöintilaitteita. Briketit kuljetettaisiin traktorikuljetuksella keruualueiden keskellä oleviin terminaaleihin. Terminaaleista briketit kuljetettaisiin rekka-autoilla voimalaitokselle.

Liitteessä H olen laskenut toimitusketjujen 2 ja 3 kuljetuskustannukset ja lisännyt ne muihin, liitteessä D mainittuihin kustannuksiin.

9.4 Toimitusketju 4 – Pellettitehdas

Toimitusketjulla 4 on samat oljen keruualueet kuin toimitusketjulla 1. Toimitusketjussa 4 oljet toimitettaisiin paaleina traktorikuljetuksella keruualueiden keskellä sijaitseviin terminaaleihin. Terminaaleista paalit kuljetettaisiin rekka-autoilla voimalaitoksen läheisyydessä olevalle pellettitehtaalle. Liitteessä I olen laskenut toimitusketjun 4 kuljetuskustannukset ja lisännyt ne muihin, liitteessä D mainittuihin kustannuksiin. Huomion arvoista on, ettei pelkkä Naantalin keruualue riitä kattamaan edes pienintä tavoitetta, joten kaikissa tapauksissa olkea joudutaan keräämään muualtakin. Toimitusketjun 4 etu suhteessa toimitusketjuun 1 on se, etteivät pelletit aiheuta esikäsitteilykustannuksia voimalaitoksella.

9.5 Oljen hinnan muodostuminen toimitusketjuissa

Liitteessä J on kootusti oljen kokonaiskustannukset eri toimitusketjujen ja tavoitteiden mukaan. Liitteen D mukaisesti maanviljelijän korvaus oljesta, maanviljelijän tai urakoitsijan korvaus työstä ovat samansuuruiset kaikilla toimitusketjuilla. Erot toimitusketjujen välillä muodostavat briketöinnin ja pelletöinnin käsittelykustannukset, paalien esikäsitteilykustannukset sekä kuljetuskustannukset.

Tilastokeskuksen (2015) energiahintojen liitekuvioiden 3 ja 4 perusteella metsähakkeen ja -murskeen hinta sähkön- ja lämmöntuotannossa oli vuonna 2015 noin 21–22 €/MWh. Tätä voidaan pitää vertailukohtana oljen kokonaiskustannukselle polttoaineiden samankaltaisuuden perusteella. Liitteen J perusteella maanviljelijän suorittaessa oljen korjuun, molemmat briketöintitoimitusketjut ovat kannattavia kaikilla 3 tavoitteella. Mikäli oljen korjuun suorittaa urakoitsija, vain 150 GWh:n ja 75 GWh:n tavoitteet ovat kannattavia molemmilla briketöintitoimitusketjuilla. Paali- sekä pellettitehdastoimitusketjut ovat kannattamattomia kaikilla tavoitteilla.

Parhaimmaksi vaihtoehdoksi toimitusketjujen vertailussa nousevat mobiilit briketöintilaitteet eli toimitusketju 3 maanviljelijän suorittaessa oljen korjuun. Oljen kokonaiskustannus 300 GWh:n tavoitteella 20,8 €/MWh sekä 150 GWh:n ja 75 GWh:n tavoitteella 17,7 €/MWh. 150 GWh:n ja 75 GWh:n tavoitteiden samat kokonaiskustannukset johtuvat siitä, että molemmat tavoitteet saavutetaan Kaarinan ja Mynämäen keruualueilla, eikä näin ollen kuljetuskustannuseroakaan muodostu tavoitteiden kesken. Tätä, kuten muitakin toimitusketjuja tarkasteltaessa huomion arvoista on, ettei terminaalikustannuksia ole laskelmissa otettu huomioon.

10. YHTEENVETO

Olki, joka on viljanviljelyn sivutuote, tarjoaa valtavan energiapotentiaalin energiantuotannossa nykytasoon verrattuna ja sillä voitaisiin osittain korvata fossiilisia polttoaineita. Tässä diplomityössä käsitelin oljen hyödyntämismahdollisuuksia voimalaitoksen energiantuotannossa. Lisäksi tarkastelin hyödyntämismahdollisuuksien taloudellisuutta. Tässä työssä käytin vertailukohtina oljen hyödyntämiselle metsähakkeen roolia Suomessa ja oljen roolia Tanskassa.

Oljen energiapotentiaaleista teknis-taloudellinen energiapotentiaali on käyttökelpoisen, sillä se ottaa huomioon oljen keräämisen kestävyuden. Tässä työssä käytin oljen teknis-taloudellisena saantona 1,01 t/ha, keräämisen kestävyuden vaikutuksena 50 % ja oljen saatavuutena 60 %. Oljen energiantuotannon haasteista esimerkiksi kuormien energiatiheyttä saataisiin nostettua briketöimällä tai pelletöimällä olki. Tuhkan ja haitallisten alkuaineiden haittavaikutuksia saadaan vähennettyä seospoltolla. Sääoloille emme kuitenkaan voi mitään.

Varsinais-Suomi olisi otollisin alue hyödyntää olkea energiantuotannossa, sillä sen viljelyintensiiviteetti on korkein Suomessa, 19,3 %. Tämän työn esimerkivoimalaitos – NA4 CHP – sijaitseekin juuri Varsinais-Suomessa. Voimalaitoksen kattila tulee olemaan polttotekniikaltaan kiertoleijukattila ja käyttää seospolttoa. Työssä tarkastelin oljen toimittamista paa-leina, briketteinä ja pelletteinä voimalaitokselle. Brikettien toimittamista tarkastelin kahdella eri toimitusketjulla, joista toinen nousikin tarkastelussa parhaimmaksi vaihtoehdoksi kannattavuuden kannalta oljen toimittamiselle voimalaitokselle.

Kannattavimmassa toimitusketjussa olki briketöitäisiin pellonreunavarastoilla käyttäen mobiileja briketöintilaitteita. Briketit kuljetettaisiin traktorikuljetuksella keruualueiden keskellä oleviin terminaaleihin. Terminaaleista briketit kuljetettaisiin kahdelta lähimmältä terminaalilta traktorikuljetuksella ja muilta rekka-autokuljetuksella voimalaitokselle. Oljen kokonaiskustannukseksi tällä toimitusketjulla muodostui joko 20,8 €/MWh tai 17,7 €/MWh riippuen oljella tuotettavan energiamäärän tavoitteesta, liite K. Liitteessä K on avattu kustannusrakenne havainnollisin tolppadiagrammein. Huomion arvoista on, etten tässä työssä käsitellyt terminaalivarastointikustannuksia. Lisäksi brikettien rekka-autokuljetuskustannus on tässä työssä enemmänkin arvio kuin tarkka laskelma. Oljen polttamiseen vaikuttaisivat myös taloudellisista tekijöistä päästöoikeuksien hinnat ja oljen polttamisen mahdolliset tuet.

LÄHTEET

- Alakangas E. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia, VTT Tiedotteita 2045, Espoo 2000, 172 s. + liit. 17 s. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/t2045.pdf>
- Alakoski K., Biopolttoaineiden briketöinnillä tehokkuutta, Urakointiuutiset, 2008, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 18.3.2016): <http://www.urakointiuutiset.fi/uutiset/biopolttoaineiden-briketoinnilla-tehokkuutta/>
- Asikainen A., Ilvesniemi H., Sievänen R., Vapaavuori E., Muhonen T., Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät, Metlan työraportti 240, 2012, 211 s. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp240.htm>
- Bastman T., Toimitusjohtaja, Turun Seudun Energiatuotanto, Suullinen tiedonanto 29.4.2015.
- Elinkeino-, liikenne-, ja ympäristökeskus, ELY -keskukset, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 14.4.2016): https://www.ely-keskus.fi/ely-theme/images/Ely/aluevalinta_ely.png
- Finér A., 2015, Asiantuntija, Raisio-konserni. Suullinen tiedonanto 17.4.2015.
- Finér A., Hällfors H., Laurila J., Saarinen J., Vesanen K., Biotalous lisääntymään, Biotalous 2014, 33 s. + liit. 68 s. Saatavissa: http://www.satafood.net/uploads/tiedostot/hankkeet/481%20biotalous%20RAKI/Biotalous%20lis%C3%A4arvoa%20maaloustuotannolle_loppuraportti.pdf
- Fjernvarme Fyn, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 16.5.2016): <http://www.fjernvarmefyn.dk/om-fjernvarme-fyn/fynsvaerket/>
- Hakala K., Lötjönen T., Niemeläinen O., Pahkala K., Peltobiomassat tulevaisuuden energiaresurssina, MTT Raportti 44, Jokioinen 2012, 50 s. Saatavissa: <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti44.pdf>
- Halonen P., Helynen S., Flyktman M., Kallio E., Kallio M., Paappanen T., Vesterinen P., Bioenergian tuotanto- ja käyttöketjut sekä niiden suorat työllisyysvaikutukset, VTT Tiedotteita 2219, Espoo 2003, 51 s. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2219.pdf>
- Hilli A., Pyy J.-P., Imppola R., Kauran oljen, ruokohelven ja hakkeen sopivuus pelleiksi, Oulun ammattikorkeakoulu, 2014, 5 s. Saatavissa: <http://www.oamk.fi/epooki/index.php?cID=526>
- Himanen P., Oljen briketointi, XO Group Oy, Loimaa 2014, 6 s. Saatavissa: <http://www.satafood.net/uploads/tiedostot/hankkeet/481%20biotalous%20RAKI/Pasi%20Himanen.pdf>

- Honkavaara H., Olki energiantuotantoon – Oljesta on moneen -seminaari, Biobotnia Oy, Loimaa 27.5.2014, 5 s. Saatavissa: <http://www.satafood.net/index.php?page=biotaloudella-lisaearvoa-maataloustuotannolle>
- Hyrkäs J., Biomassan pelletöinti, Oulun yliopisto, 2010, 25 s. Saatavissa: http://www.oamk.fi/hankkeet/ekopelletti/docs/pelletti_kirjallisuus_katsaus.pdf
- Kansallinen energia- ja ilmastostrategia, Työ- ja elinkeinoministeriö, 2013, 56 s. Saatavissa: https://www.tem.fi/files/36730/Energia-ja_ilmastostrategia_2013_SUOMENKIELINEN.pdf
- Kielitoimiston sanakirja, Kotimaisten kielten keskus ja Kielikone Oy, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.3.2016): <http://www.kielitoimistonsanakirja.fi/netmot.exe?motportal=80>
- Korpinen T., Oljen polton ja mädätyksen vertailu, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2011, 37 s. + liit. 2 s. Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/73978/nbnfi-fe201201251192.pdf?sequence=3>
- Kulmala A., Peltobiomassojen viljelyn vaikutus ravinne- ja kasvihuonepäästöihin, MTK, Loimaa 2013, 8 s. Saatavissa: <http://www.satafood.net/uploads/tiedostot/hankkeet/481%20biotalous%20RAKI/Airi%20Kulmala%20Baltic%20Deal-MTK.pdf>
- Kuusela H., Biotalousdella lisäarvoa maataloustuotannolle -hankkeen ja peltobiomassakyselyn tuloksien esittely, Loimaa 2013, 11 s. Saatavissa: <http://www.satafood.net/uploads/tiedostot/hankkeet/481%20biotalous%20RAKI/Hanna%20Kuusela%20Loimaa%2016.4.2013.pdf>
- Kykkänen V., Mikä on olkien hinta? – Myllykosken biolaitos toisi pienen lisätulon viljelijöille, Yle Kymenlaakso, 2014, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 14.5.2015): http://yle.fi/uutiset/mika_on_olkien_hinta_myllykosken_biolaitos_toisi_pienen_lisätulon_viljelijalle/7699323
- Luonnonvarakeskus, Käytössä oleva maatalousmaa vuonna 2014, 2014. Saatavissa (viitattu 13.4.2016): http://stat.luke.fi/k%C3%A4yt%C3%B6ss%C3%A4-oleva-maatalousmaa-2014_fi
- Lähdevaara H., Savolainen V., Paananen M., Vanhala A., Mailta ja manuilta – soilta ja saloilta, Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 107, 2010, 137 s. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/handle/10024/15785>
- Lötjönen T., Knuutila K., Pelloilta energiaa – opas ruokohelven käyttäjille, Jyväskylä Innovation Oy ja Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Jyväskylä 2009, 44 s. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/4244/Pelloilta_energiaa_opas_ruokohelven_kayttajille.pdf

- Lötjönen T., Kouki J., Vuorio K., Korsibiomassojen tuotantoketjut ja energiantuotanto kokopaalikattilalla, MTT Raportti 19, Jokioinen 2011, 28 s. Saatavissa: <http://www.mtt.fi/mtrraportti/pdf/mtrraportti19.pdf>
- Lötjönen T., Kässi P., Oljen ja vihreän biomassan korjuuketjut ja kustannukset, MTT, 2013, 11 s. Saatavissa: <http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/481473/Oljen%20ja%20vihre%C3%A4n%20biomassan%20korjuuketjut%20ja%20kustannukset.pdf?sequence=1>
- Maanmittauslaitos, Suomen pinta-ala kunnittain 1.1.2014, 2014, 8 s. Saatavissa (viitattu 28.1.2015): http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/alat_2014.pdf
- Maanmittauslaitos, Tilaston pohjakartta, Suomen kunnat, maakunnat ja aluehallintovirastot. Saatavissa: <http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/karttatuotteet/tilaston-pohjakartat>
- Makkonen P., Huonolaatuisten polttoaineiden poltto leijukattiloissa, Foster Wheeler Energia Oy, Karhula 2000, 11 s. Saatavissa: <http://ppom.mbnet.fi/PDF/Kemia97.pdf>
- Mikkola H., Peltobioenergian tuotanto Suomessa, Helsingin Yliopisto, 2012, 80 s. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/33977/Peltobio.pdf?sequence=1>
- Motiva, Energian kokonaiskulutus – Kokonaisenergiankulutus vuonna 2014, Motiva Oy, 2014, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 10.2.2016): http://www.motiva.fi/taustatietoa/energiankaytto_suomessa/energian_kokonaiskulutus
- Mäkinen T., Soimakallio S., Paappanen T., Pahkala K., Mikkola H., Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasviuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit, VTT Tiedotteita 2357, Espoo 2006, 134 s. + liit. 19 s. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2357.pdf>
- NA4 CHP -projekti, Projektiesite, TSE, 8 s. Saatavissa: <http://www.esitteemme.fi/tse/MailView/>
- Nieminen J., Biomassaa polttavan kerrosleijukattilan tulipesän kuonaantumisen mallintaminen, Tampereen teknillinen yliopisto, 2013, 105 s. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21719/nieminen.pdf?sequence=1>
- C.F. Nielsen, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 17.5.2016): <http://www.cfnielsen.com/infodk/-11>

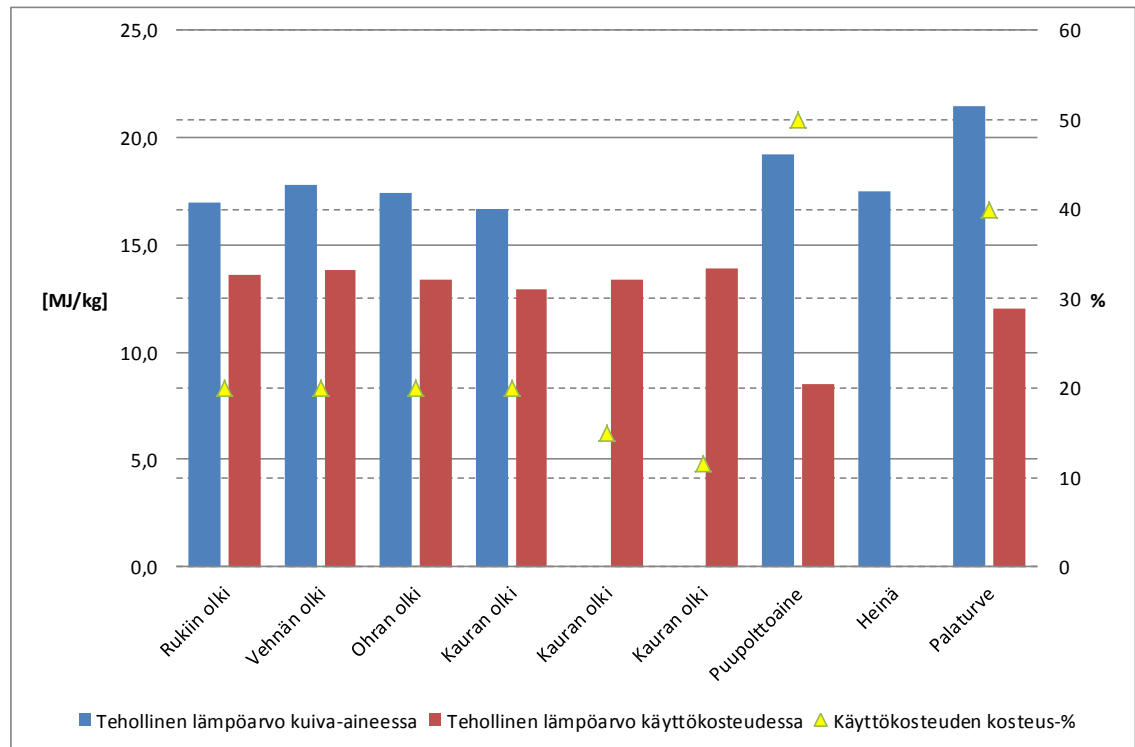
- Olkipellettien biokaasukoe, Biotaloudella lisäarvoa maataloustuotannolle, 3 s. Saatavissa:
http://www.satafood.net/uploads/tiedostot/hankkeet/481%20biotalous%20RAKI/Olkipellettien_biokaasukokeen_tulokset_24102014.pdf
- Paappanen T., Lindh T., Kärki J., Impola R., Rinne S., Lötjönen T., Kirkkari A.-M., Taipale R., Leino T., Ruokohelven polttoaineketjun kehittäminen liiketoimintamahdollisuuksien parantamiseksi, VTT Tiedotteita 2452, Espoo 2008, 158 s. + liit. 9 s. Saatavissa:
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2008/T2452.pdf>
- Paappanen T., Lindh T., Impola R., Järvinen T., Tiihonen I., Lötjönen T., Rinne S., Ruokohelven hankinta keskisuomalaiselle voimalaitokselle, VTT Tiedotteita 2577, Espoo 2011, 148 s. + liit. 5 s. Saatavissa:
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2011/T2577.pdf>
- Pahkala K., Kontturi M., Korsibiomassojen laatu bioetanolin raaka-aineena, MTT Kasvituotannon tutkimus, Jokioinen 2008, 6 s. Saatavuus: rajoitettu.
- Pahkala K., K., Kontturi M., Niemeläinen O., Peltobiomassat globaalina energialähteenä, MTT – Maa- ja elintarviketalous numero 137, Jokioinen 2009, 53 s.+ liit. 5. Saatavissa: <http://www.mtt.fi/met/pdf/met137.pdf>
- Peltonen-Sainio P., Rajala A., Seppälä R. T., Viljojen kehityksen ja kasvun ABC, MTT – Maa- ja elintarviketalous numero 67, Jokioinen 2005, 72 s. Saatavissa: <http://www.mtt.fi/met/pdf/met67.pdf>
- Pomi, verkkosivu, Saatavissa (viitattu 7.5.2016): <http://pomi.dk/en/products/wrap-5-gb.aspx>
- Pöyskö T., Sirkiä A., Lapp T., Raskaan liikenteen uudet enimmäismitat ja -massat, Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus Raportteja 25/2014, 41 s. Saatavissa:
http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/97265/Raportteja_25_2014.pdf?sequence=2
- Ruokatieto, Perustietoa viljoista, Ruokatieto Yhdistys ry, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 13.3.2016): <http://www.ruokatieto.fi/ruokakasvatus/ruokaketju-ruuan-matka-pelloilta-poytaan/maatila/peltokasvit/perustietoa-viljoista>
- Saarela A., Lauhanen R., Bioenergiapotentialit, Etelä-Pohjanmaan Järvialueen lähienergiahanke, Seinäjoen ammattikorkeakoulu, 2011, Saatavissa:
<http://www.seamk.fi/loader.aspx?id=c1e7daa5-c673-49a8-959c-75444aa92b23>

- Salo R., Biomassan tuottaminen kuidun ja energian raaka-aineeksi, Tutkimuksen loppuraportti, osa II, Ruokohelven ja oljen korjuu, tuotantokustannukset ja polttotekniikka, Maatalouden tutkimuskeskus sarja A 85, Jokioinen 2000, 169 s. Saatavissa: <http://www.mtt.fi/asarja/pdf/asarja85.pdf>
- Tilastokeskus, Energian hinnat, 2015 4. neljännes, 10 s. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ehi/2015/04/ehi_2015_04_2016-03-09_fi.pdf
- Tilastokeskus, Maakunnat 2015, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 14.4.2016): <http://tilastokeskus.fi/meta/luokitukset/maakunta/001-2015/index.html>
- Tuhti perävaunut, K-Maatalous esite, 2013, 6p. Saatavissa: https://www.k-maatalous.fi/globalassets/product-integration/liitteet/tuhti_peravaunut_esite_a46s_2013_b.pdf
- Virtanen Y., Usva K., Silvenius F., Sinkko T., Nurmi P., Kauppinen T., Nousiainen J., Peltoenergian tuotantojärjestelmien ympäristövaikutukset, MTT, 91 s. + liit. 7 s. Saatavissa: http://mmm.fi/documents/1410837/1801176/Peltobioenergia_2011.pdf/7843b6f6-79e2-4339-9c7a-a82f65f2878a
- Vuosjoki M., Olki energiaa, Kankaanpään Seutu, 2011, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.5.2015): <http://www.kankaanpaanseutu.fi/juttuarkisto/?cid=1194703562439>
- Välttilä J., Oljen saatavuus Somerolla bioenergiakäyttöön, Hämeen ammattikorkeakoulu, Muistiala 2014, 25 s. + liit. 7 s. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/73674>
- Ylhäinen A., Olki on edullisin polttoaine, Käytännön maamies 26.8.2011, 2011, verkkosivu. Saatavuus: rajoitettu.
- Yrjölä H., Ruokohelven varastointi energiakäyttöön, Helsingin yliopisto, 2009, 105 s. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/1975/8528/Gradu+Heikki+Yrj%F6l%E4.pdf?sequence=3>

LIITE A: OLJEN TEHOLLISIA LÄMPÖARVOJA

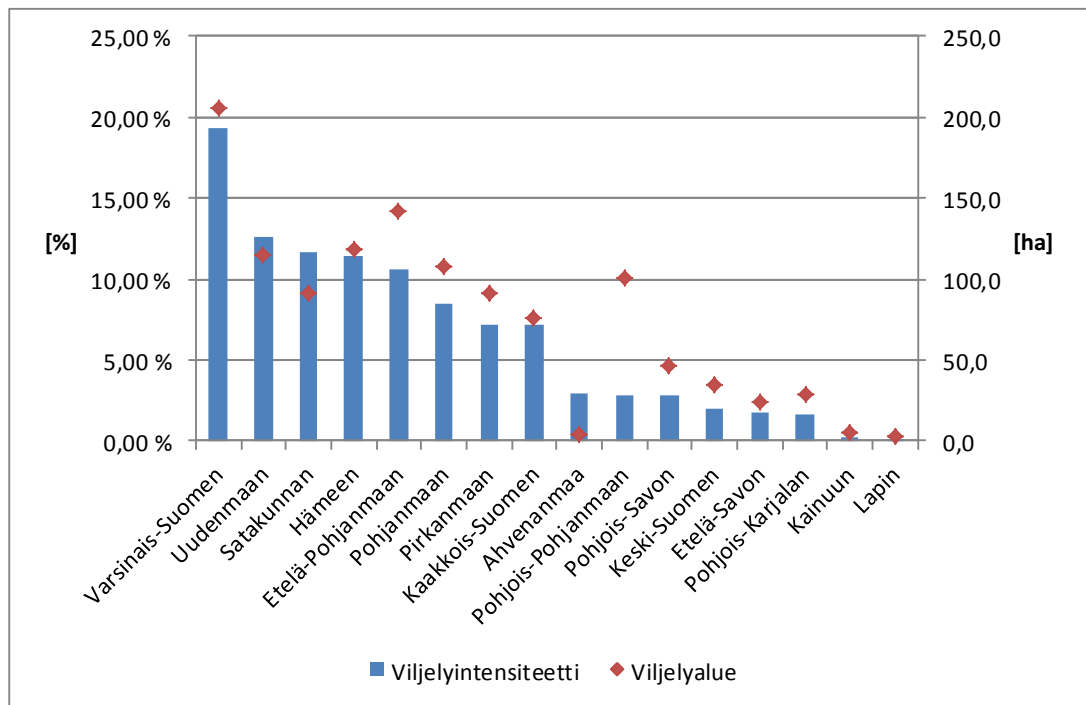
OLKI	Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa [MJ/kg]		
	Tehollinen lämpöarvo käyttökosteudessa [MJ/kg]		
	Kosteus-%		
Rukiin olki	17,0	13,6	20 *)
Vehnän olki	17,8	13,8	20 *)
Ohran olki	17,4	13,4	20 *)
Kauran olki	16,7	12,9	20 *)
Kauran olki		13,4	15 ***)
Kauran olki		13,9	12 ***)
<u>Keskiarvo</u>	<u>17,2</u>	<u>13,4</u>	
Puupolttoaine	19,2	8,5	50 *)
Heinä	17,5		**)
Palaturve	21,5	12,0	40 *)

*) Alakangas 2000
 **) Salo 2000
 ***) Hilli et al. 2014



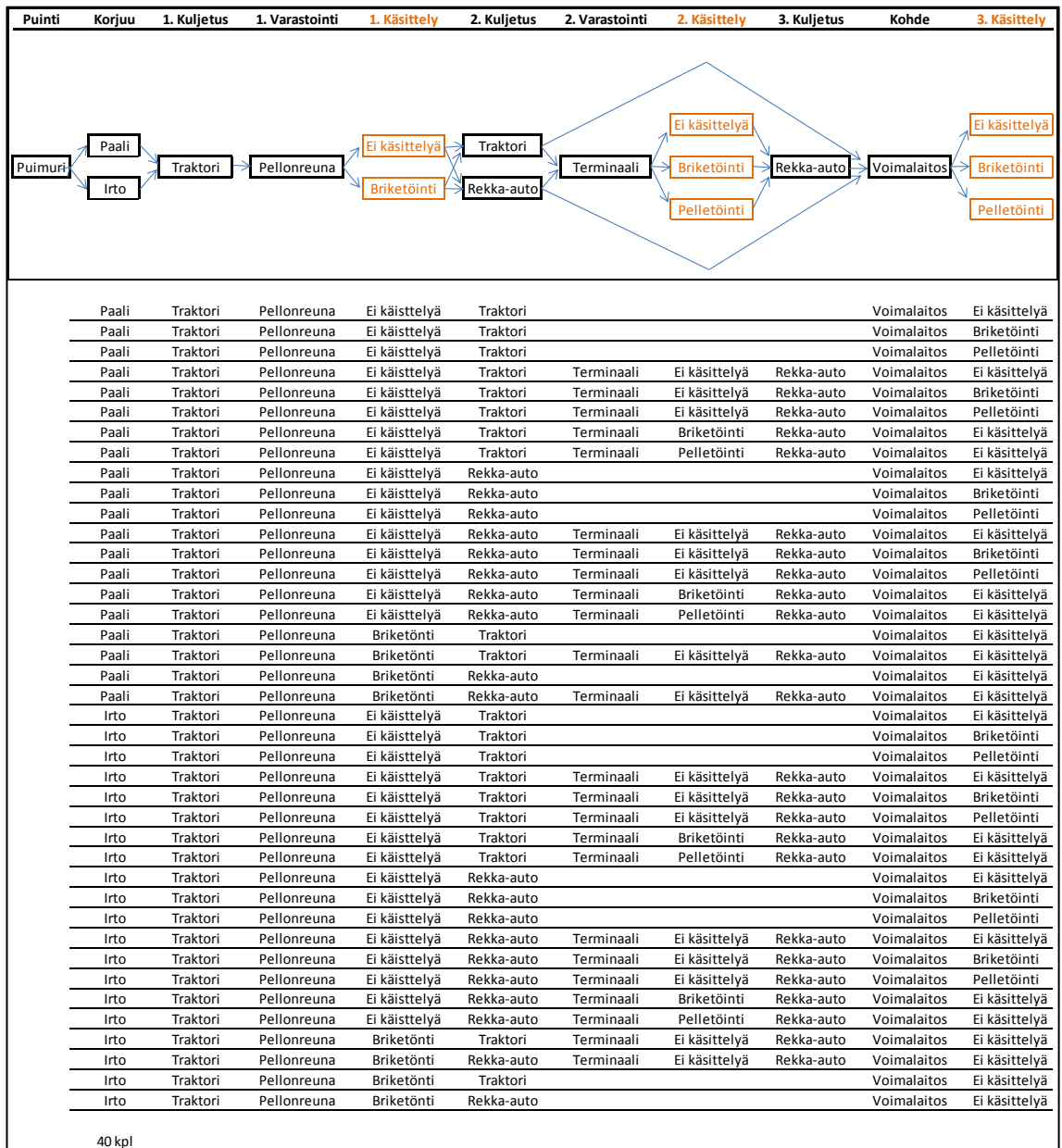
LIITE B: VILJELYINTENSITEETTI ERI PUOLILLA SUOMEA

Maakunnat	ELY-keskukset	Viljojen viljelypinta-ala		Kokonaispinta-ala		Viljely - intensiteetti
		1000 ha	km ²	km ²	km ²	
	Varsinais-Suomen	206,0	2 060	10661		19,32 %
	Uudenmaan	114,3	1 143	9097		12,57 %
	Satakunnan	90,9	909	7819		11,62 %
Päijät-Häme				5124		
Kanta-Häme	Hämeen	117,8	1 178	5199	10323	11,41 %
	Etelä-Pohjanmaan	142,1	1 421	13444		10,57 %
Keski-pohjanmaa				5019		
Pohjanmaa	Pohjanmaan	107,9	1 079	7752	12770	8,45 %
	Pirkanmaan	90,8	908	12585		7,22 %
Etelä-Karjala	Kaakkois-Suomen	75,5	755	5329	10477	7,21 %
Kymenlaakso				5148		
	Ahvenanmaa	4,6	46	1552		2,96 %
	Pohjois-Pohjanmaan	101,2	1 012	35508		2,85 %
	Pohjois-Savon	46,9	469	16768		2,80 %
	Keski-Suomen	34,2	342	16703		2,05 %
	Etelä-Savon	24,5	245	14260		1,71 %
	Pohjois-Karjalan	28,3	283	17762		1,59 %
	Kainuun	5,7	57	21500		0,26 %
	Lapin	2,4	24	92660		0,03 %
	Yhteensä - Totalt - Total	1193,0	11 930	303891		



Lähteet: Elinkeino-, liikenne- ja elinkeinokeskus, Maanmittauslaitos.

LIITE C: VAIHTOEHDOT OLJEN TOIMITUSKETJULLE

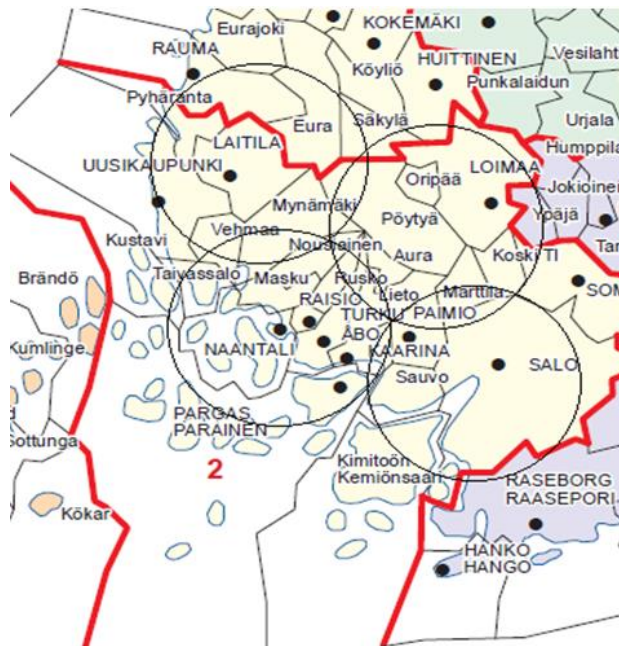


LIITE D: NA4 CHP-VOIMALAITOKSEN LASKELMIEN LÄHTÖTIEDOT

<u>LÄHTÖTIEDOT</u>		
VOIMALAITOS		
Voimalaitoksen polttoaineteho:	430	MW
Voimalaitoksen toiminta-aika:	9	kk
Voimalaitoksen toiminta-aika:	6 570	h
Voimalaitoksen polttoaineen energiamäärä:	2 825 100	MWh
Oljella tuotettu energiatavoite 1:	300	GWh
Oljella tuotettu energiatavoite 2:	150	GWh
Oljella tuotettu energiatavoite 3:	75	GWh
OLKI		
Oljen saanto hehtaarilta:	1,01	t/ha
Oljen saatavuus:	60 %	
Irto-oljen ja paalien lämpöarvo	13,40	MJ/kg
Paalin tilavuus:	1,66	m ³
TIHEYDET		
Paalin tiheys:	0,135	t/m ³
Briketin tiheys:	0,5	t/m ³
Pelletin tiheys:	0,6	t/m ³
TRAKTORIKULJETUS		
Kuljetuspäiviä vuodessa:	200	vrk/v
Keskimääräinen paalikuorman koko:	20	kpl
Telivaunujen tilavuus:	14,5	m ³
Traktorin massakapasiteetti paaleilla:	4,5	t
Traktorin massakapasiteetti briketeillä:	7,3	t
REKKA-AUTOKULJETUS		
Kuljetuspäiviä vuodessa:	250	vrk/v
Tilavuuskapasiteetti:	120	m ³
Rekka-auton massakapasiteetti paaleilla:	16,2	t
Rekka-auton massakapasiteetti briketeillä:	35,0	t
Rekka-auton massakapasiteetti pelleteillä:	35,0	t
OLJEN HINNAN MUODOSTUMINEN		
Maanviljelijän korvaus oljesta:	5,4	€/MWh
Maanviljelijän korvaus työstä:	7,0	€/MWh
Urakoitsijan korvaus työstä:	11,0	€/MWh
Briketöinnin käsittelykustannus:	4,6	€/MWh
Pelletöinnin käsittelykustannus:	2,2	€/MWh
Traktorikuljetuksen kustannus paaleille:	0,067	€/(MWh*km)
Traktorikuljetuksen kustannus briketeille:	0,035	€/(MWh*km)
Rekka-autokuljetuksen kustannus paaleille:	0,143	€/(MWh*km)
Rekka-autokuljetuksen kustannus briketeille:	0,075	€/(MWh*km)
Paalien esikäsittely voimalaitoksella, 300 GWh:	1,5	€/MWh
Paalien esikäsittely voimalaitoksella, 150 GWh:	2,07	€/MWh
Paalien esikäsittely voimalaitoksella, 75 GWh:	3,25	€/MWh

LIITE E: TOIMITUSKETJUJEN 1 JA 4 ALUEET JA HEHTAARIT

Toimitusketjujen 1 ja 4 keruualueet sekä kuntien viljan viljelymäärät hehtaareina										
Kunta	Syysvehnä	Kevätvehnä	Ruis	Rehuohra	Mallasohra	Kaura	Seosvilja	Muut viljat	Yhteensä	
Naantali	426	940	57	412	503	460	..	..	2 798	
Lieto	942	3 534	165	878	1 104	681	..	-	7 304	
Nousiainen	310	1 852	221	682	805	494	-	-	4 363	
Masku	340	2 032	72	566	399	370	-	-	3 778	
Rusko	398	1 480	176	389	579	362	..	..	3 385	
Turku	240	989	77	225	454	494	134	..	2 612	
Kaarina	365	1 030	115	293	336	214	23	..	2 377	Naantalin keruualue:
Raisio	..	161	..	..	45	..	-	-	206	26 824
Laitila	156	1 505	125	4 628	362	2 212	39	-	9 026	
Mynämäki	246	2 440	109	2 857	1 180	1 917	27	..	8 775	
Rauma	81	1 036	51	2 284	334	2 224	18	..	6 028	
Uusikaupunki	169	1 159	26	2 352	573	919	113	-	5 312	
Eura (50%)	286	2 578	329	3 276	868	2 954	6	-	5 148	
Vehmaa	359	1 230	..	2 110	342	541	49	-	4 630	
Taivassalo	208	633	..	824	195	375	..	-	2 236	
Säkylä	..	777	..	456	199	378	-	-	1 809	Laitilan keruualue:
Pyhäranta	..	367	..	376	44	387	-	-	1 174	44 139
Loimaa	3 418	7 930	583	10 404	4 926	4 067	271	22	31 621	
Pöytyä	1 445	4 291	597	3 847	2 048	2 834	455	45	15 562	
Koski Tl	464	2 416	176	2 221	860	1 386	101	-	7 623	
Marttila	503	1 939	168	1 160	915	922	9	-	5 615	
Oripää	523	751	70	1 871	403	610	24	-	4 252	Loimaan keruualue:
Aura	318	1 241	74	663	354	548	194	-	3 391	68 065
Salo	3 253	12 875	894	5 480	7 725	5 406	208	45	35 886	
Paimio	515	2 821	97	872	519	942	30	-	5 797	
Sauvo	482	2 268	129	665	685	450	43	-	4 722	Salon keruualue:
										46 405
										Keruualueet yhteensä:
										185 432

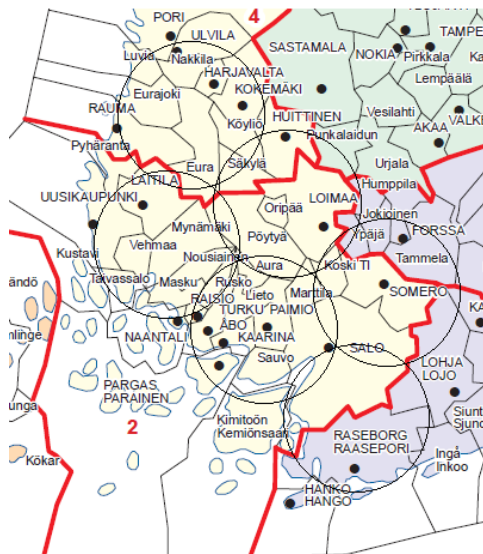


LIITE F: TOIMITUSKETJUN 1 KULJETUSKUSTANNUKSET

Tavoite 1										OLJEN KÄYTTÖ PAALEINA		
80 597 t		80 % oljesta tulisi Naantalin 30 km:n keruusäteen ulkopuolelta						64 342 t		Traktorikuljetus		30 km
300 000 MWh		joka vaatii noin 60 km:n kuljetuksen								Traktorilla kuljetettava massa		80 597 t
									Kuljetusten määrä vuodessa		17 982 kpl	
									Kuljetusten määrä päivässä		90 kpl	
									Traktorikuljetuksen kustannus		2,01 €/MWh	
									Rekka-autokuljetus		60 km	
									Rekka-autolla kuljetettava massa		64 342 t	
									Kuljetusten määrä vuodessa		3 972 kpl	
									Kuljetusten määrä päivässä		16 kpl	
									Rekka-autokuljetuksen kustannus		8,58 €/MWh	
Naantali	Naantali + Laitila	Naantali + Salo	Naantali + Loimaa	Naantali + Laitila + Salo	Naantali + Laitila + Loimaa	Naantali + Laitila + Loimaa + Salo	Naantali + Laitila + Loimaa + Salo	Kokonaishehtaarit				
26 824	70 963	73 229	94 889	117 368	139 028	141 294	185 432		Oljen hinta			
16 255	43 003	44 377	57 503	71 125	84 251	85 624	112 372	ok	Maanviljelijä suorittaa korjuun		24,49 €/MWh	
								ok	Urakoitsija suorittaa korjuun		28,49 €/MWh	
								ok				
Tavoite 2												
40 299 t		60 % oljesta tulisi Naantalin 30 km:n keruusäteen ulkopuolelta						24 043 t		Traktorikuljetus		30 km
150 000 MWh		joka vaatii noin 60 km:n kuljetuksen								Traktorilla kuljetettava massa		40 299 t
									Kuljetusten määrä vuodessa		8 991 kpl	
									Kuljetusten määrä päivässä		45 kpl	
									Traktorikuljetuksen kustannus		2,01 €/MWh	
									Rekka-autokuljetus		60 km	
									Rekka-autolla kuljetettava massa		24 043 t	
									Kuljetusten määrä vuodessa		1 484 kpl	
									Kuljetusten määrä päivässä		6 kpl	
									Rekka-autokuljetuksen kustannus		8,58 €/MWh	
Naantali	Naantali + Laitila	Naantali + Salo	Naantali + Loimaa	Naantali + Laitila + Salo	Naantali + Laitila + Loimaa	Naantali + Laitila + Loimaa + Salo	Naantali + Laitila + Loimaa + Salo	Kokonaishehtaarit				
26 824	70 963	73 229	94 889	117 368	139 028	141 294	185 432		Oljen hinta		25,06 €/MWh	
16 255	43 003	44 377	57 503	71 125	84 251	85 624	112 372	ok	Maanviljelijä suorittaa korjuun		29,06 €/MWh	
								ok	Urakoitsija suorittaa korjuun			
								ok				
								ok				
								ok				
Tavoite 3												
20 149 t		19 % oljesta tulisi Naantalin 30 km:n keruusäteen ulkopuolelta						3 894 t		Traktorikuljetus		30 km
75 000 MWh		joka vaatii noin 60 km:n kuljetuksen								Traktorilla kuljetettava massa		20 149 t
									Kuljetusten määrä vuodessa		4 496 kpl	
									Kuljetusten määrä päivässä		22 kpl	
									Traktorikuljetuksen kustannus		2,01 €/MWh	
									Rekka-autokuljetus		60 km	
									Rekka-autolla kuljetettava massa		3 894 t	
									Kuljetusten määrä vuodessa		240 kpl	
									Kuljetusten määrä päivässä		1 kpl	
									Rekka-autokuljetuksen kustannus		8,58 €/MWh	
Naantali	Naantali + Laitila	Naantali + Salo	Naantali + Loimaa	Naantali + Laitila + Salo	Naantali + Laitila + Loimaa	Naantali + Laitila + Loimaa + Salo	Naantali + Laitila + Loimaa + Salo	Kokonaishehtaarit				
26 824	70 963	73 229	94 889	117 368	139 028	141 294	185 432		Oljen hinta		26,24 €/MWh	
16 255	71 672	73 961	95 838	118 541	140 418	142 707	187 287	ok	Maanviljelijä suorittaa korjuun		30,24 €/MWh	
								ok	Urakoitsija suorittaa korjuun			
								ok				
								ok				

LIITE G: TOIMITUSKETJUJEN 2 JA 3 ALUEET JA HEHTAARIT

Toimitusketjujen 2 ja 3 keruualueet sekä kuntien viljan viljelymäärät hehtaareina									
Kunta	Syysvehnä	Kevätvehnä	Ruis	Rehuohra	Mallasohra	Kaura	Seosvilja	Muut viljat	Yhteensä
Kaarina	365	1 030	115	293	336	214	23	..	2 377
Salo 33%	3 253	12 875	894	5 480	7 725	5 406	208	45	11 842
Leito	942	3 534	165	878	1 104	681	..	-	7 304
Paimio	515	2 821	97	872	519	942	30	-	5 797
Marttila	503	1 939	168	1 160	915	922	9	-	5 615
Sauvo	482	2 268	129	665	685	450	43	-	4 722
Rusko	398	1 480	176	389	579	362	..	-	3 385
Aura	318	1 241	74	663	354	548	194	-	3 391
Turku	240	989	77	225	454	494	134	..	2 612
Raisio	..	161	..	..	45	..	-	-	206
									Kaarinan keruualue: 44 876
Mynämäki	246	2 440	109	2 857	1 180	1 917	27	..	8 775
Laitila	156	1 505	125	4 628	362	2 212	39	-	9 026
Vehmaa	359	1 230	..	2 110	342	541	49	-	4 630
Uusikaupunki 50%	169	1 159	26	2 352	573	919	113	-	2 656
Nousiainen	310	1 852	221	682	805	494	-	-	4 363
Masku	340	2 032	72	566	399	370	-	-	3 778
Taivassalo	208	633	..	824	195	375	..	-	2 236
									Mynämäen keruualue: 35 465
Loimaa	3 418	7 930	583	10 404	4 926	4 067	271	22	31 621
Pöytyä	1 445	4 291	597	3 847	2 048	2 834	455	45	15 562
Huittinen 50%	848	3 355	324	7 018	854	3 054	67	-	7 759
Punkalaidun 50%	620	1 581	84	4 005	363	2 683	99	-	4 717
Oripää	523	751	70	1 871	403	610	24	-	4 252
Ypäjä 50%	260	1 006	129	1 802	516	1 573	..	-	2 643
Säkylä	..	777	..	456	199	378	-	-	1 809
									Loimaan keruualue: 68 364
Eura	286	2 578	329	3 276	868	2 954	6	-	10 296
Rauma	81	1 036	51	2 284	334	2 224	18	..	6 028
Eurajoki	74	1 116	114	1 424	307	1 491	16	-	4 543
Köyliö	42	1 034	..	1 059	152	627	11	-	2 926
Nakkila	259	885	60	742	645	1 562	-	-	4 153
Kokemäki 50%	247	1 634	141	2 140	809	2 472	96	-	3 770
Luvia	36	581	20	453	219	383	45	-	1 737
Harjavalta	84	292	111	507	55	694	-	-	1 744
									Euran keruualue: 35 197
Somero	1 779	3 879	292	4 670	2 775	4 704	190	28	5 495
Salo 33%	3 253	12 875	894	5 480	7 725	5 406	208	45	11 842
Koski TI	464	2 416	176	2 221	860	1 386	101	-	2 287
Ypäjä	260	1 006	129	1 802	516	1 573	..	-	1 586
Jokioinen	415	1 019	51	2 195	490	1 505	27	..	1 711
Tammela	246	1 140	69	1 987	543	1 825	49	20	1 764
									Someron keruualue: 19 190
Raasepori	539	3 138	547	1 308	1 877	1 509	78	3	2 700
Salo 33%	3 253	12 875	894	5 480	7 725	5 406	208	45	11 842
									Raaseporin keruualue: 11 842
									Keruualueet yhteensä 214 934



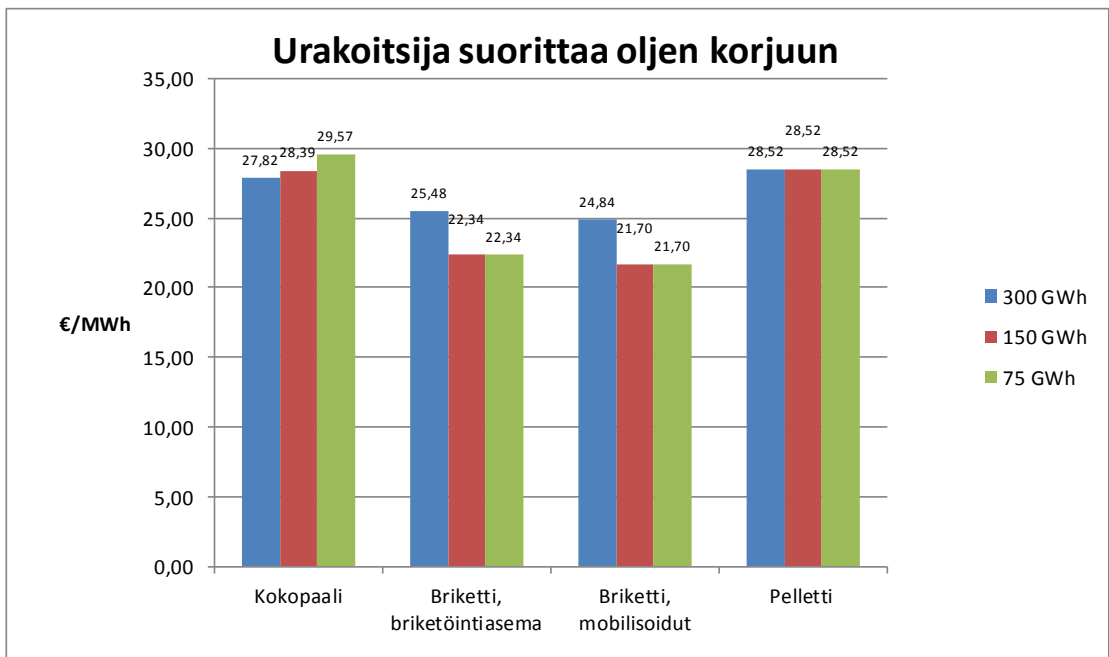
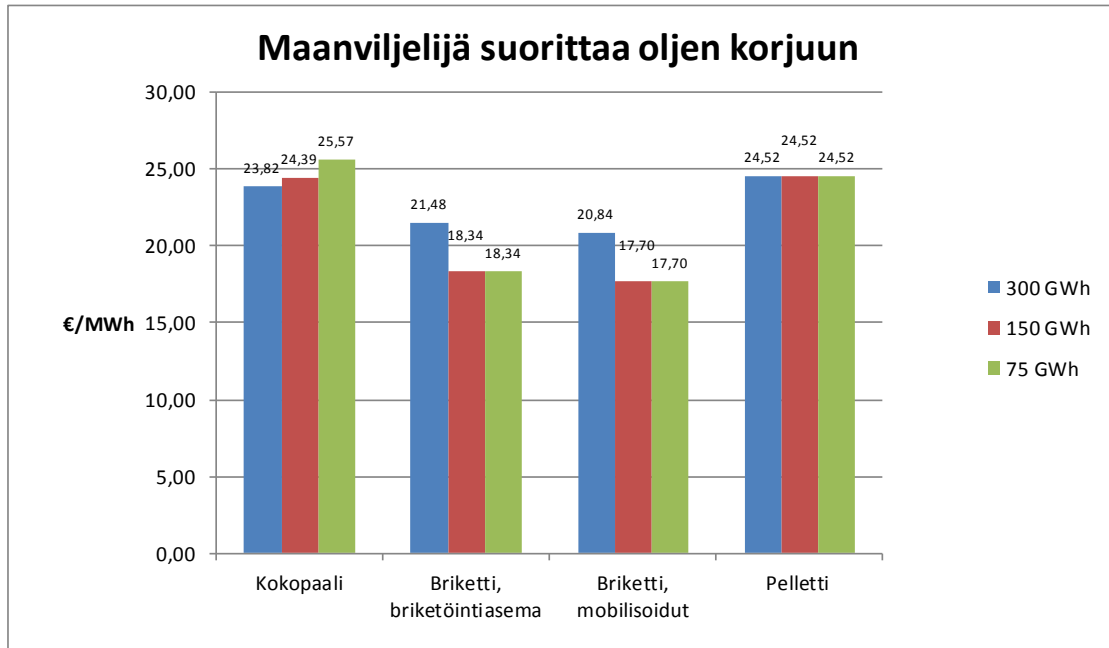
LIITE H: TOIMITUSKETJUJEN 2 JA 3 KULJETUSKUSTANNUKSET

Tavoite 1										OLJEN KÄYTTÖ BRIKETTEINÄ							
80 597 t/v 300 000 MWh										Briketöintilaitteistot terminaaliavarastoissa				Mobiliit briketöintilaitteistot			
60 % oljesta tulisi 30 km:n kaukukuljetuksella 40 % oljesta tulisi 60 km:n kaukukuljetuksella 0 % oljesta tulisi 90 km:n kaukukuljetuksella										Traktorikuljetus				Traktorikuljetus			
										Traktorilla kuljetettava massa				Traktorilla kuljetettava massa			
										Kuljetusten määrä vuodessa				Kuljetusten määrä vuodessa			
										Kuljetusten määrä päivässä				Kuljetusten määrä päivässä			
										Traktorikuljetuksen kustannus				Traktorikuljetuksen kustannus			
Mynämäki	Kaarina	Mynämäki + Kaarina	Mynämäki + Kaarina + Loimaa	Mynämäki + Kaarina + Loimaa + Somero	Mynämäki + Kaarina + Loimaa + Eura	Mynämäki + Kaarina + Loimaa + Eura + Somero	Mynämäki + Kaarina + Loimaa + Eura + Somero + Raasepori	Kokonaishehtaarit	Kokonaistonnit								
35 465	44 876	80 340	148 704	167 894	183 901	203 091	214 934	21 492	27 195	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Tavoite 2										Briketöintilaitteistot terminaaliavarastoissa				Mobiliit briketöintilaitteistot			
40 299 t/v 150 000 MWh										Traktorikuljetus				Traktorikuljetus			
100 % oljesta tulisi 30 km:n kaukukuljetuksella 0 % oljesta tulisi 60 km:n kaukukuljetuksella 0 % oljesta tulisi 90 km:n kaukukuljetuksella										Traktorilla kuljetettava massa				Traktorilla kuljetettava massa			
										Kuljetusten määrä vuodessa				Kuljetusten määrä vuodessa			
										Kuljetusten määrä päivässä				Kuljetusten määrä päivässä			
										Traktorikuljetuksen kustannus				Traktorikuljetuksen kustannus			
Mynämäki	Kaarina	Mynämäki + Kaarina	Mynämäki + Kaarina + Loimaa	Mynämäki + Kaarina + Loimaa + Somero	Mynämäki + Kaarina + Loimaa + Eura	Mynämäki + Kaarina + Loimaa + Eura + Somero	Mynämäki + Kaarina + Loimaa + Eura + Somero + Raasepori	Kokonaishehtaarit	Kokonaistonnit								
35 465	44 876	80 340	148 704	167 894	183 901	203 091	214 934	21 492	27 195	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Tavoite 3										Briketöintilaitteistot terminaaliavarastoissa				Mobiliit briketöintilaitteistot			
20 149 t/v 75 000 MWh										Traktorikuljetus				Traktorikuljetus			
100 % oljesta tulisi 30 km:n kaukukuljetuksella 0 % oljesta tulisi 60 km:n kaukukuljetuksella 0 % oljesta tulisi 90 km:n kaukukuljetuksella										Traktorilla kuljetettava massa				Traktorilla kuljetettava massa			
										Kuljetusten määrä vuodessa				Kuljetusten määrä vuodessa			
										Kuljetusten määrä päivässä				Kuljetusten määrä päivässä			
										Traktorikuljetuksen kustannus				Traktorikuljetuksen kustannus			
Mynämäki	Kaarina	Mynämäki + Kaarina	Mynämäki + Kaarina + Loimaa	Mynämäki + Kaarina + Loimaa + Somero	Mynämäki + Kaarina + Loimaa + Eura	Mynämäki + Kaarina + Loimaa + Eura + Somero	Mynämäki + Kaarina + Loimaa + Eura + Somero + Raasepori	Kokonaishehtaarit	Kokonaistonnit								
35 465	44 876	80 340	148 704	167 894	183 901	203 091	214 934	21 492	27 195	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
										Rekka-autokuljetus				Rekka-autokuljetus			
										Rekka-autolla kuljetettava massa				Rekka-autolla kuljetettava massa			
										Kuljetusten määrä vuodessa				Kuljetusten määrä vuodessa			
										Kuljetusten määrä päivässä				Kuljetusten määrä päivässä			
										Rekka-autokuljetuksen kustannus				Rekka-autokuljetuksen kustannus			
Mynämäki	Kaarina	Mynämäki + Kaarina	Mynämäki + Kaarina + Loimaa	Mynämäki + Kaarina + Loimaa + Somero	Mynämäki + Kaarina + Loimaa + Eura	Mynämäki + Kaarina + Loimaa + Eura + Somero	Mynämäki + Kaarina + Loimaa + Eura + Somero + Raasepori	Kokonaishehtaarit	Kokonaistonnit								
35 465	44 876	80 340	148 704	167 894	183 901	203 091	214 934	21 492	27 195	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok
										Oljen hinta				Oljen hinta			
										Maanviljelijä suorittaa korjuun				Maanviljelijä suorittaa korjuun			
										Urakoitsija suorittaa korjuun				Urakoitsija suorittaa korjuun			

LIITE I: TOIMITUSKETJUN 4 KULJETUSKUSTANNUKSET

OLJEN KÄYTTÖ PELLETEINÄ																																																																																							
Tavoite 1																																																																																							
80 597 t		80 % oljesta tulisi Naantal in 30 km:n keruusäteen ulkopuolelta						64 342 t																																																																															
300 000 MWh		joka vaatii noin 60 km:n kuljetuksen																																																																																					
Naantali	Naantali + Lahtia	Naantali + Salo	Naantali + Loimaa	Naantali + Lahtia + Salo	Naantali + Lahtia + Loimaa	Naantali + Loimaa + Salo	Naantali + Lahtia + Loimaa + Salo	Kokonaishehtaarit																																																																															
26 824	70 963	73 229	94 889	117 368	139 028	141 294	185 432																																																																																
16 255	43 003	44 377	57 503	71 125	84 251	85 624	112 372	Kokonaistonnit																																																																															
	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok																																																																																
Tavoite 2																																																																																							
40 299 t		60 % oljesta tulisi Naantal in 30 km:n keruusäteen ulkopuolelta						24 043 t																																																																															
150 000 MWh		joka vaatii noin 60 km:n kuljetuksen																																																																																					
Naantali	Naantali + Lahtia	Naantali + Salo	Naantali + Loimaa	Naantali + Lahtia + Salo	Naantali + Lahtia + Loimaa	Naantali + Loimaa + Salo	Naantali + Lahtia + Loimaa + Salo	Kokonaishehtaarit																																																																															
26 824	70 963	73 229	94 889	117 368	139 028	141 294	185 432																																																																																
16 255	43 003	44 377	57 503	71 125	84 251	85 624	112 372	Kokonaistonnit																																																																															
	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok																																																																																
Tavoite 3																																																																																							
20 149 t		19 % oljesta tulisi Naantal in 30 km:n keruusäteen ulkopuolelta						3 894 t																																																																															
75 000 MWh		joka vaatii noin 60 km:n kuljetuksen																																																																																					
Naantali	Naantali + Lahtia	Naantali + Salo	Naantali + Loimaa	Naantali + Lahtia + Salo	Naantali + Lahtia + Loimaa	Naantali + Loimaa + Salo	Naantali + Lahtia + Loimaa + Salo	Kokonaishehtaarit																																																																															
26 824	70 963	73 229	94 889	117 368	139 028	141 294	185 432																																																																																
16 255	43 003	44 377	57 503	71 125	84 251	85 624	112 372	Kokonaistonnit																																																																															
	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok																																																																																
<table border="0"> <tr> <td>Traktorikuljetus</td> <td>20 km</td> </tr> <tr> <td>Traktorilla kuljetettava massa</td> <td>80 597 t</td> </tr> <tr> <td>Kuljetusten määrä vuodessa</td> <td>17 982 kpl</td> </tr> <tr> <td>Kuljetusten määrä päivässä</td> <td>90 kpl</td> </tr> <tr> <td>Traktorikuljetuksen kustannus</td> <td>1,34 €/MWh</td> </tr> <tr> <td>Rekka-autokuljetus</td> <td>60 km</td> </tr> <tr> <td>Rekka-autolla kuljetettava massa</td> <td>64 342 t</td> </tr> <tr> <td>Kuljetusten määrä vuodessa</td> <td>3 972 kpl</td> </tr> <tr> <td>Kuljetusten määrä päivässä</td> <td>16 kpl</td> </tr> <tr> <td>Rekka-autokuljetuksen kustannus</td> <td>8,58 €/MWh</td> </tr> <tr> <td>Oljen hinta</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Maanviljelijä suorittaa korjuun</td> <td>24,52 €/MWh</td> </tr> <tr> <td>Urakoitsija suorittaa korjuun</td> <td>28,52 €/MWh</td> </tr> <tr> <td>Traktorikuljetus</td> <td>20 km</td> </tr> <tr> <td>Traktorilla kuljetettava massa</td> <td>40 299 t</td> </tr> <tr> <td>Kuljetusten määrä vuodessa</td> <td>8 991 kpl</td> </tr> <tr> <td>Kuljetusten määrä päivässä</td> <td>45 kpl</td> </tr> <tr> <td>Traktorikuljetuksen kustannus</td> <td>1,34 €/MWh</td> </tr> <tr> <td>Rekka-autokuljetus</td> <td>60 km</td> </tr> <tr> <td>Rekka-autolla kuljetettava massa</td> <td>24 043 t</td> </tr> <tr> <td>Kuljetusten määrä vuodessa</td> <td>1 484 kpl</td> </tr> <tr> <td>Kuljetusten määrä päivässä</td> <td>6 kpl</td> </tr> <tr> <td>Rekka-autokuljetuksen kustannus</td> <td>8,58 €/MWh</td> </tr> <tr> <td>Oljen hinta</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Maanviljelijä suorittaa korjuun</td> <td>24,52 €/MWh</td> </tr> <tr> <td>Urakoitsija suorittaa korjuun</td> <td>28,52 €/MWh</td> </tr> <tr> <td>Traktorikuljetus</td> <td>20 km</td> </tr> <tr> <td>Traktorilla kuljetettava massa</td> <td>20 149 t</td> </tr> <tr> <td>Kuljetusten määrä vuodessa</td> <td>4 496 kpl</td> </tr> <tr> <td>Kuljetusten määrä päivässä</td> <td>22 kpl</td> </tr> <tr> <td>Traktorikuljetuksen kustannus</td> <td>1,34 €/MWh</td> </tr> <tr> <td>Rekka-autokuljetus</td> <td>60 km</td> </tr> <tr> <td>Rekka-autolla kuljetettava massa</td> <td>3 894 t</td> </tr> <tr> <td>Kuljetusten määrä vuodessa</td> <td>240 kpl</td> </tr> <tr> <td>Kuljetusten määrä päivässä</td> <td>1 kpl</td> </tr> <tr> <td>Rekka-autokuljetuksen kustannus</td> <td>8,58 €/MWh</td> </tr> <tr> <td>Oljen hinta</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Maanviljelijä suorittaa korjuun</td> <td>24,52 €/MWh</td> </tr> <tr> <td>Urakoitsija suorittaa korjuun</td> <td>28,52 €/MWh</td> </tr> </table>										Traktorikuljetus	20 km	Traktorilla kuljetettava massa	80 597 t	Kuljetusten määrä vuodessa	17 982 kpl	Kuljetusten määrä päivässä	90 kpl	Traktorikuljetuksen kustannus	1,34 €/MWh	Rekka-autokuljetus	60 km	Rekka-autolla kuljetettava massa	64 342 t	Kuljetusten määrä vuodessa	3 972 kpl	Kuljetusten määrä päivässä	16 kpl	Rekka-autokuljetuksen kustannus	8,58 €/MWh	Oljen hinta		Maanviljelijä suorittaa korjuun	24,52 €/MWh	Urakoitsija suorittaa korjuun	28,52 €/MWh	Traktorikuljetus	20 km	Traktorilla kuljetettava massa	40 299 t	Kuljetusten määrä vuodessa	8 991 kpl	Kuljetusten määrä päivässä	45 kpl	Traktorikuljetuksen kustannus	1,34 €/MWh	Rekka-autokuljetus	60 km	Rekka-autolla kuljetettava massa	24 043 t	Kuljetusten määrä vuodessa	1 484 kpl	Kuljetusten määrä päivässä	6 kpl	Rekka-autokuljetuksen kustannus	8,58 €/MWh	Oljen hinta		Maanviljelijä suorittaa korjuun	24,52 €/MWh	Urakoitsija suorittaa korjuun	28,52 €/MWh	Traktorikuljetus	20 km	Traktorilla kuljetettava massa	20 149 t	Kuljetusten määrä vuodessa	4 496 kpl	Kuljetusten määrä päivässä	22 kpl	Traktorikuljetuksen kustannus	1,34 €/MWh	Rekka-autokuljetus	60 km	Rekka-autolla kuljetettava massa	3 894 t	Kuljetusten määrä vuodessa	240 kpl	Kuljetusten määrä päivässä	1 kpl	Rekka-autokuljetuksen kustannus	8,58 €/MWh	Oljen hinta		Maanviljelijä suorittaa korjuun	24,52 €/MWh	Urakoitsija suorittaa korjuun	28,52 €/MWh
Traktorikuljetus	20 km																																																																																						
Traktorilla kuljetettava massa	80 597 t																																																																																						
Kuljetusten määrä vuodessa	17 982 kpl																																																																																						
Kuljetusten määrä päivässä	90 kpl																																																																																						
Traktorikuljetuksen kustannus	1,34 €/MWh																																																																																						
Rekka-autokuljetus	60 km																																																																																						
Rekka-autolla kuljetettava massa	64 342 t																																																																																						
Kuljetusten määrä vuodessa	3 972 kpl																																																																																						
Kuljetusten määrä päivässä	16 kpl																																																																																						
Rekka-autokuljetuksen kustannus	8,58 €/MWh																																																																																						
Oljen hinta																																																																																							
Maanviljelijä suorittaa korjuun	24,52 €/MWh																																																																																						
Urakoitsija suorittaa korjuun	28,52 €/MWh																																																																																						
Traktorikuljetus	20 km																																																																																						
Traktorilla kuljetettava massa	40 299 t																																																																																						
Kuljetusten määrä vuodessa	8 991 kpl																																																																																						
Kuljetusten määrä päivässä	45 kpl																																																																																						
Traktorikuljetuksen kustannus	1,34 €/MWh																																																																																						
Rekka-autokuljetus	60 km																																																																																						
Rekka-autolla kuljetettava massa	24 043 t																																																																																						
Kuljetusten määrä vuodessa	1 484 kpl																																																																																						
Kuljetusten määrä päivässä	6 kpl																																																																																						
Rekka-autokuljetuksen kustannus	8,58 €/MWh																																																																																						
Oljen hinta																																																																																							
Maanviljelijä suorittaa korjuun	24,52 €/MWh																																																																																						
Urakoitsija suorittaa korjuun	28,52 €/MWh																																																																																						
Traktorikuljetus	20 km																																																																																						
Traktorilla kuljetettava massa	20 149 t																																																																																						
Kuljetusten määrä vuodessa	4 496 kpl																																																																																						
Kuljetusten määrä päivässä	22 kpl																																																																																						
Traktorikuljetuksen kustannus	1,34 €/MWh																																																																																						
Rekka-autokuljetus	60 km																																																																																						
Rekka-autolla kuljetettava massa	3 894 t																																																																																						
Kuljetusten määrä vuodessa	240 kpl																																																																																						
Kuljetusten määrä päivässä	1 kpl																																																																																						
Rekka-autokuljetuksen kustannus	8,58 €/MWh																																																																																						
Oljen hinta																																																																																							
Maanviljelijä suorittaa korjuun	24,52 €/MWh																																																																																						
Urakoitsija suorittaa korjuun	28,52 €/MWh																																																																																						

LIITE J: OLJEN HINNAN MUODOSTUMINEN TOIMITUSKET- JUISSA



LIITE K: NA4 CHP:n KANNATTAVIMMAN TOIMITUSKETJUN KUSTANNUSRAKENNE

