

macon

# Heinolan biojalostamon raaka- ainepotentiaaliselvitys

11.01.2017

Jori Jokela, Mikko Ahoka

# Disclaimer

**Tärkeä huomioida:**

**Nämä dokumentit on alun perin tehty tukemaan Heinolan alueen elinkeinoelämän kehittämistä. Niissä olevia tietoja ei ole tarkoitettu esimerkiksi sijoitustoiminnan perusteiksi tai käytettäväksi pohjaksi tarjouksiin.**

**Kaikki dokumentit on tehty hyvässä tarkoituksessa sekä parhaiden mahdollisten tietojen pohjalta. Tästä huolimatta raporttien, dokumenttien ja selvitysten tekijät tai Heinolan kaupunki eivät ota vastuuta niiden sisältöjen oikeellisuudesta. Dokumenteissa, raporteissa ja selvityksissä saattaa olla vanhentunutta tietoa, koska niitä ei ole päivitetty valmistumisen jälkeen.**

**Dokumenteissa kuvattujen ratkaisujen oikeudet säilyvät niiden kehittäjillä ja niiden hyödyntämisestä ja esimerkiksi kaupallisista käyttöehdoista on sovittava aina erikseen.**

# Tiivistelmä

1. Hankkeen nimi: Heinolan biojalostamon raaka-ainepotentiaaliselvitys
2. Hankkeen aikataulu: 2017
3. Hankkeen tilaaja(t) ja toteuttajat: henkilöt ja organisaatiot.: Tilaaja: Heinolan kaupunki. Toteuttaja: Macon Oy: Jori Jokela, Mikko Ahokas
4. Hankkeen kohde: Perusselvitys bioraaka-aineen saatavuudesta Heinolan biojalostamon käyttöön
5. Miksi (elinvoima ja ”veronmaksaja”): Selvitettiin perusedellytyksiä biojalostamon perustemisella Heinolan alueella. Biojalostamo voisi olla merkittävä työllistäjä alueella sekä parantaa alueen elinvoimaa. Biojalostamon tuottama polttoaine vähentäisi liikennepäästöjä alueella ja valtakunnallisesti.
6. Mitä tutkittiin/selvitettiin
  - o Selvitettiin tuotantoon soveltuvien korsi- ja puubiomassojen määriä, raaka-ainelajien tuotantokustannuksia sekä tuotantopotentiaalia.
2. Tavoite:
  - o Hankkeen tavoitteena oli saada arvio Heinolan mahdollisuuksista biojalostamon sijoituspaikkana raaka-ainehuollon näkökulmasta.
3. Hankkeen tulos/tuotos
  - o Biojalostamon raaka-ainetuotannon järjestämiseen on selvityksen mukaan noin 805 802 tonnin vuotuinen potentiaali. Heinolan ympäriltä 150 km säteeltä on löydettävissä noin 768 920 tonnia raaka-ainetta biojalostamokäyttöön vuosittain, mutta seuraavin ehdoin:
    - Korsimassoista maksettavan hinnan on katettava pitkällä tähtäimellä korsimassojen laskennalliset tuotantokustannukset
    - Korsimassojen kokonaistuotantokustannusten vaihtelu biojalostamon portilla kuljetusmuodosta riippuen huomioidaan (jatkuu seuraava slide)
    - Biojalostamon raaka-aineen hintakatoksi on asetettu 80 €/tn, jolloin 150 km:n säteeltä Heinolan ympäristöstä viljan olkea olisi saatavissa arviolta n. 396 716 tn/v, ruokohelpeä ei kannattaisi hankkia yli 100 km:n kuljetusetäisyyksien päästä

- Käyttöön sopivia puupohjaisia raaka-ainelajeja ovat lehtikuitupuu, energiapuujaakeet soveltuvin osin sekä sahanpuru
- Korsimassojen tuotantoon on olemassa valmiit raaka-aineen tuotantoketjut

## Sisällys

Selvityksessä käytetyt yksiköt, lyhenteet ja muuntokertoimia	4
1. Biojalostamokonsepti	5
1.1. Cellunolix® –jalostusprosessi	5
1.2. FormicoBio™-jalostusmenetelmä	6
1.3. Biojalostamon koko ja raaka-ainetarve	7
1.4. Biojalostamon toimintaympäristöön vaikuttavia tekijöitä	8
2. Biojalostamon raaka-ainekäyttö	8
2.1. Raaka-ainemäärät	8
2.2. Raaka-ainelajit	8
2.2.1. Viljan olki	9
2.2.2. Ruokohelpi	9
2.2.3. Sahanpuru	9
2.2.4. Puubiomassat	10
2.2.5. Öljykasvien korsimassa	10
2.2.6. Muut ylijäämä korsimassat	10
2.3. Raaka-aineen laatuvaatimukset	11
2.3.1. Kosteusvaatimukset korsimassoille	11
2.3.2. Muut vaatimukset korsimassoille	11
2.3.3. Laatuvaatimukset sahanpurulle	12
2.3.4. Laatuvaatimukset puuraaka-aineelle	12
3. Tuotantologistiikan tarvearviointi	12
4. Raaka-aineiden tuotantokustannukset	13
4.1. Korsimassojen tuotantokustannuslaskelmat	13
4.1.1. Kustannusten perusteet	14
4.1.2. Ruokohelpikasvuston perustamiskustannus ja vuotuinen lannoituskustannus	15
4.1.3. Korsimassojen korjuu-, varastointi- ja kuljetuskustannukset	16
4.1.4. Oljen tuotannon kustannuslaskelma	18
4.1.5. Ruokohelven tuotannon kustannuslaskelma	19
4.1.6. Yhteenvedo ja analysointi korsimassojen tuotantokustannuksista	19
4.2. Puupohjaisten raaka-aineiden kustannuslaskelmat	22
4.2.1. Sahanpurun tuotantokustannukset	23
4.2.2. Puuaineksen tuotantokustannukset	24
4.2.3. Energiapuun tuotantokustannukset	26
4.2.4. Yhteenvedo biojalostamon raaka-aineiden tuotantokustannuksista	27

5.	Raaka--aineen tuotantopotentiali	29
5.1.	Raaka--aineen tuotantopotentialin määrittelytapa	29
5.2.	Alueen peltopinta--alatiedot ja pellon käyttö	30
5.3.	Viljelijäkyselyn toteutus	31
5.3.1.	Viljelijäkyselyn vastaukset	31
5.3.2.	Kiinnostus korsibiomassan tuotantoon	32
5.4.	Kyselyjen tulosten soveltaminen tarkastelualueelle	33
5.5.	Puuraaka--aineen tuotantopotentiali	36
5.6.	Sahanpurun tuotantopotentiali	38
5.7.	Öljykasvien korsi	40
5.8.	Yhteenveto raaka--aineen tuotantopotentialista	40
5.9.	Raaka--aineen hankintatoimen rahavirrat	41
5.10.	Raaka--ainetuotannon ympäristövaikutukset	41
6.	Loppupäätelmät ja jatkotoimenpiteet	41
6.1.	Loppupäätelmät	42
6.2.	Riskien arviointi	42
6.3.	Jatkokehitysmahdollisuudet	44
6.3.1.	Jatkoselvitystarpeet	44
6.3.2.	Selvityksen tulosten hyödyntäminen	44
	Lähteet	46

## Selvityksessä käytetyt yksiköt, lyhenteet ja muuntokertoimia

%	prosentti
cm	senttimetri (0,01 m)
d	halkaisija
€	euro
g	gramma
h	tunti
ha	hehtaari (10 000 m <sup>2</sup> )
i--m <sup>3</sup>	irtokuutiometri
ka	keskiarvo
kg	kilogramma
kpl	kappale
km	kilometri (1000 m)
lkm	lukumäärä
m	metri
m <sup>3</sup>	kiintokuutiometri
M€	miljoonaa euroa
p--m <sup>3</sup>	pinokuutio
tn	tonni (1000 kg)
v	vuosi

Kiintokuutiometri (m<sup>3</sup>) vastaa keskimäärin

- 1,5 pinokuutiometriä
- 2,5 irtokuutiometriä

Pinokuutiometri (p--m<sup>3</sup>) vastaa keskimäärin

- 1,67 irtokuutiometriä
- 0,67 kiintokuutiometriä

Irtokuutiometri (i--m<sup>3</sup>) vastaa keskimäärin

- 0,6 pinokuutiometriä
- 0,4 kiintokuutiometriä

Ruokohelven tuotos 1 ha = 7 tn

Viljojen oljen tuotos 1 ha = 2,5 tn

Pyöröpaalin tiheys = 120--160

kg/m<sup>3</sup>

Suurkanttipaalin tiheys = 140--190 kg/m<sup>3</sup>

Energiapuun (hake) ja sahanpurun keskimääräinen tiheys = 0,25 tn/m<sup>3</sup>

1 MWh sahanpurua = 1,7 i--m<sup>3</sup>

Koivun kuivatuoretiheys = 0,475 tn/m<sup>3</sup>

Männyn kuivatuoretiheys = 0,385 tn/m<sup>3</sup>

Kuusen kuivatuoretiheys = 0,400 tn/m<sup>3</sup>

## 1. Biojalostamokonsepti

Hankkeessa tarkastellaan kahta bioetanolin tuotantoprosessia; St1 Biofuels Oy:n kehittämää Cellunolix® --prosessia ja Chempolis Oy:n kehittämää FormicoBio™ --jalostusmenetelmää.

Bioetanolin tuotanto biomassoista on kehittynyt viimeisen vuosikymmenen aikana huomattavasti. Erilaiset jalostusmenetelmät jaetaan yleensä kolmeen eri sukupolveen (jaottelu ei ole tieteellinen, mutta se kuvaa hyvin eri menetelmien välisiä eroja). Ensimmäisen sukupolven bioetanoliprosessit käyttivät raaka--aineenaan viljaa tai sokeriruokoa (tärkkelystä ja/tai sokereita). Niiden ongelmina ovat olleet korkeat raaka-- ainekustannukset sekä kilpailu ruoantuotannon kanssa. Valtaosa (95%) liikenteen polttoaineesta käytettävästä etanolista tuotetaan kuitenkin ensimmäisen sukupolven prosesseilla, koska toisen sukupolven teknologialla tuotettu etanoli on kalliimpaa, kuin perinteisellä menetelmällä tuotettu etanoli. Maailmalla onkin herännyt paljon arvostelua ensimmäisen sukupolven bioetanolin tuotantoa kohtaan, ja sitä on jopa syytetty yleisestä viljan hinnan noususta. Ensimmäisen sukupolven etanolilaitoksiin ei ole ollut mahdollista saada valtion energiatukea.

Toisen sukupolven bioetanolin valmistusprosessit käyttävät raaka--aineenaan ruoaksi kelpaamattomia materiaaleja kuten biojätettä tai lignoselluloosaa, jolloin etanolin valmistus on mahdollista myös korsi-- ja puumassoista. Raaka--aineen sisältämä selluloosa hajotetaan sokereiksi, jotka prosessin kautta jalostetaan etanoliksi. Lignoselluloosapohjaiset bioetanolin valmistusprosessit ovat saaneet paremman vastaanoton kuin ensimmäisen sukupolven prosessit. Toisen sukupolven bioetanolin tuotanto ei perustu samoihin raaka--aineisiin ruoan tuotannon kanssa, vaan pikemminkin antavat lisätuotantomahdollisuuksia ruoantuotantoketjun sivutuotteille. Erilaisia konsepteja selluloosaetanolin tuotantoon on maailmalla useita, ja ne kehittyvät jatkuvasti. Toisen sukupolven bioetanolilaitokset kilpailevat kuitenkin samoista raaka--aineista bioenergiatuotannon kanssa.

Niin sanotut kolmannen sukupolven bioetanolin valmistusprosessit perustuvat myös selluloosamateriaaleihin. Chempolis Oy:n FormicoBio™ --prosessi on tehokkaampi kuin toisen sukupolven prosessit, ja siinä on huomioitu myös prosessin sivutuotteiden jatkojalostusmahdollisuudet, jolloin prosessin kokonaisjalostusarvo paranee. St1 Biofuels Oy:n Cellunolix® --prosessin raaka--aineina valikoima on laaja. Raaka--aineena voidaan käyttää niin olkea, sahanpurua, haketta kuin yhdyskuntajätettäkin. Ensimmäinen Cellunolix® --laitos on rakennettu Kajaaniin, ja sen pääraaka--aine on sahanpuru.

### 1.1. Cellunolix® --jalostusprosessi

Cellunolix® on St1 Biofuels Oy:n kehittämä bioetanolin valmistusprosessi, joka käyttää raaka--aineenaan mm. sahanpurua, puuhaketta ja olkea. Vastaanotettu raaka--aine käsitellään ensin termomekaanisesti, jonka jälkeen se siirtyy entsyymattisen hydrolyysin kautta fermentointiin eli käymisvaiheeseen. Lopuksi syntynyt etanoli otetaan talteen ja tislataan noin 90 %:in vahvaiseksi. Laitoksen toimintaan kuuluu mahdollisesti myös hiivan ja entsyymien valmistus. Kuvassa 1 on kuvattu Cellunolix®--prosessin päävaiheet.

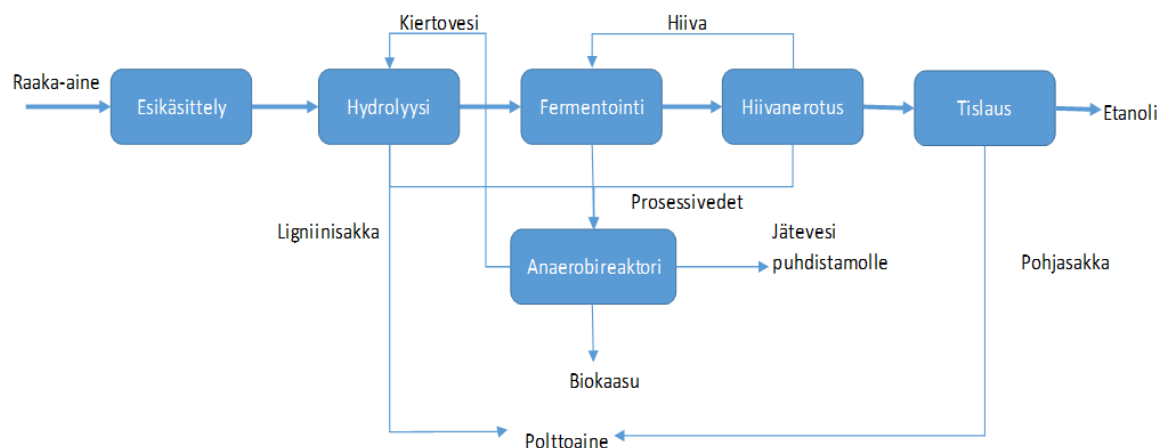
Kajaaniin rakennettu Cellunolix®--laitos käsittelee sahanpurua noin 80 000 tonnia vuodessa. Prosessi tuottaa 90 %:sta etanolia noin 8 800 tn/v (eli n. 11 miljoonaa litraa) sekä



sivutuotteena 80 %:sta tärpähtiä n. 190 tn/v. Tärpähti voidaan toimittaa jatkojalostajille tai hyödyntää polttoaineena voimalaitoksessa, ellei jatkojalostajaa löydy.

Laitokseen kuuluu myös anaerobinen jäteveden käsittelyreaktori, joka mahdollistaa prosessiveden kierrätyksen. Sivutuotteena jäteveden käsittelyssä syntyy biokaasua, joka hyödynnetään sähkön ja lämmöntuotannossa. Prosessista on mahdollista ottaa talteen myös furfuraalia, jolla on laajat käyttökohteet kemianteollisuudessa esim. muovien valmistuksessa.

Sivutuotteena syntyy myös ligniinipohjaista massaa, jonka kiintoainepitoisuus on 45--55 %, eikä se sisällä merkittäviä määriä haitallisia aineita. Kokeiden mukaan ligniinimassa vastaa lämpöarvoltaan sahanpurua ja on luokiteltavissa SFS--EN 14588 Kiinteät polttoaineet – standardin mukaan luokkaan 1.2.2.4 (1--Puubiomassa; 2-- Puunjalostusteollisuuden sivutuotteet ja tähteet; 2-- Kemiallisesti käsitelty puutähde, kuidut ja puuaines; 4-- Kuidut ja puuaines). Se voidaan ohjata voimalaitospolttoon sellaisenaan tai kuoren, turpeen tai muun puupolttoaineen seassa.



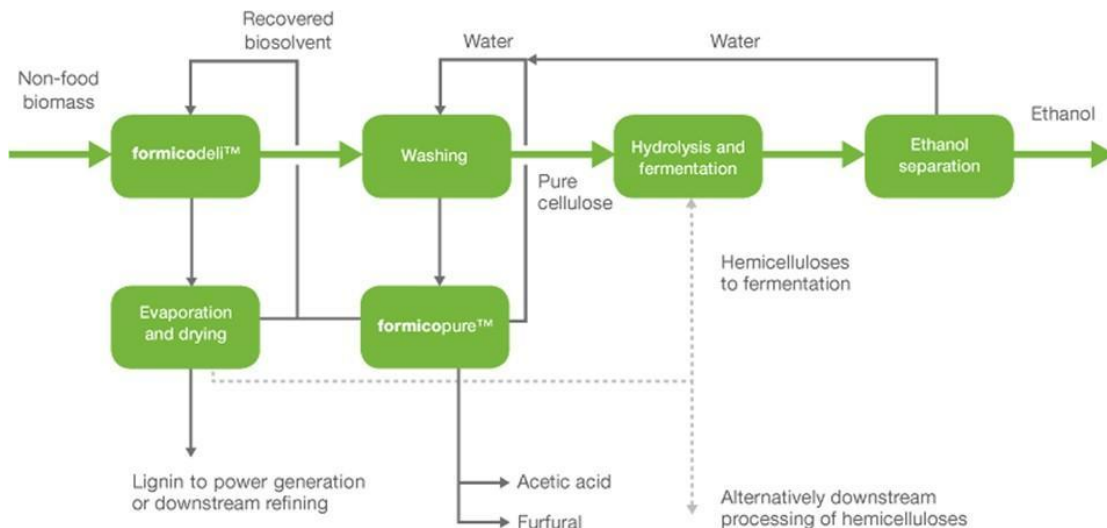
**Kuva 1. Cellunolix® -prosessin päävaiheet.**

Cellunolix® –bioetanolilaitos voi hyödyntää siis sahateollisuuden sivutuotetta raaka--aineenaan. Sen sijaan, että sahanpuru menisi suoraan polttoon, sitä hyödynnetään selluloosaetanolin valmistuksessa. Etanoliprosessin sivutuotteena syntyvä tärpähti voidaan ohjata jatkojalostukseen tai polttoon. Prosessin toinen sivutuote, energia-- ja ligniinipitoinen massa voidaan käyttää energian tuotannossa. Tämän sivuvirran energiasisältö on suurempi kuin Cellunolix® –prosessin tarvitsema energia, joten prosessi on energiaomavarainen.

## 1.2. FormicoBio™-jalostusmenetelmä

FormicoBio™ –prosessi hyödyntää raaka--aineenaan useita ruoan tuotannon sivutuotteita, kuten esimerkiksi olkea. Myös puhdas sahanpuru ja koivukuitu ovat sopivia raaka-- ainelähteitä. Prosessi perustuu Oululaisen Chempolis Oy:n tekemään pitkään kehitystyöhön lähtien 1990--luvulta. Vuosien aikana Chempolis Oy on kehittänyt pitkälle patentoidun biomassojen jalostusteknologian, jonka eri vaiheet on tuotteistettu.

FormicoBioTM--prosessi mahdollistaa hyvin monipuoliset jalostusmahdollisuudet biomassoille. Keskeinen ajatus on, että raaka--aine hajotetaan entsyymaattisesti, ja syntyneet sokerit voidaan prosessoida erilaisiksi tuotteiksi (esim. etanoli, furfuraali ja etikkahappo). Prosessi käyttää rikitöntä liuotinta, ja sen vesikierto on täysin suljettu. Prosessi ei myöskään vaadi ulkopuolista energiaa. Näin ollen prosessissa ei juurikaan synny jätettä, ja se hyödyntää biomassan maksimaalisesti. Kuvassa 2 on esitetty FormicoBioTM-- prosessin päävaiheet.



Copyright © 2011 Chempolis. All Rights Reserved.

**Kuva 2. Chempolis Oy:n FormicoBioTM -prosessi** ([http://www.chempolis.com/wp-content/uploads/2010/12/formicobio\\_technology.gif](http://www.chempolis.com/wp-content/uploads/2010/12/formicobio_technology.gif)).

Chempolis Oy:n mukaan FormicoBio™:n merkittävimmät edut ovat sen parempi kannattavuus toisen sukupolven bioetanoliprosesseihin verrattuna sekä suljettu, ympäristöystävällinen prosessikierto. Prosessin parempi kannattavuus perustuu kahteen tekijään; prosessin lopputuotteiden korkeampaan saantoon ja prosessin sivutuotteiden jatkojalostusmahdollisuuksiin. Sivutuotteista esimerkiksi furfuraali on kemianteollisuudessa laajasti käytetty kemikaali. Prosessin tuottama ligniini on rikitöntä ja tasalaatuista, jolloin sen jatkojalostus esim. sidosaineeksi komposiittimateriaaleihin on mahdollista. Suljettu prosessikierto mahdollistaa tavanomaista alhaisemmat käyttökustannukset. Raaka--aineen täydellinen hyödyntäminen, jätteettömyys ja tavanomaista alhaisemmat käyttökustannukset mahdollistavat FormicoBio™ -prosessin kannattavuuden ja raaka-- aineen maksukyvyyn.

### 1.3. Biojalostamon koko ja raaka--ainetarve

Etanolintuotannon aloittaminen vaatii alussa suuria investointeja, joten biojalostamon koon on oltava riittävä kannattavan tuotannon mahdollistamiseksi. Valittava biojalostamokonsepti jalostaisi puuraaka--ainetta ja korsimassoja erilaisiksi biokemikaaleiksi, joista merkittävin olisi liikennepolttonesteenä käytettävissä oleva bioetanoli. Biojalostamon kokoluokan ollessa noin 40 000 -- 50 000 tonnia bioetanolia vuodessa, raaka--ainetarve olisi noin 300 000 -- 350 000 tonnia vuodessa, raaka--aineesta riippuen.

## 1.4. Biojalostamon toimintaympäristöön vaikuttavia tekijöitä

Yksi merkittävimmistä laitoksen toimintaympäristöön vaikuttavista tekijöistä on laitokseen toteutettava voimalaratkaisu. Kumpikin bioetanoliprosessivaihtoehto tarvitsee merkittäviä määriä energiaa lämpönä, höyrynä ja sähköinä. Kumpikin prosessi on kuitenkin energiataseeltaan energiaomavarainen. Tämä johtuu prosessien sivutuotteena syntyvästä ligniinistä, jolla on lähes hiilen veroinen lämpöarvo. Esimerkiksi 50 000 tonnia etanolia tuottava biojalostamo tuottaa myös 160 000 tonnia ligniiniä. Jos ligniini poltetaan laitoksen yhteydessä olevassa voimalassa, saadaan tuotettua enemmän energiaa kuin bioetanolilaitoksen energian tarve on. Energian omavaraisuuden aste riippuu voimalaitosratkaisusta. Mahdollista on myös se, että bioetanolilaitos olisi yhteydessä jo olemassa olevaan voimalaan, joka hyödyntäisi ligniiniä polttoaineena. Vaikuttava seikka olisi myös se, että käytetäänkö ligniiniä jatkojalostukseen. Silloin siitä saatava energiamäärä jäisi pienemmäksi ja vaikuttaisi energiataseeseen.

Tässä hankkeessa todennäköisintä on, että ligniini käytetään energiantuotantoon, jolloin bioetanolilaitos on energiaomavarainen. Laitoksen kokonaisinvestointia voi pienentää sijoittamalla jo olemassa olevan voimalaitoksen yhteyteen. Tätä puoltaa myös se, että jos bioetanolilaitoksella käytetään puuraaka-ainesta, josta joudutaan erottelemaan kuori, voidaan kuoriaines hyödyntää helposti polttoaineena puuaineksen polttoon soveltuvassa voimalassa.

Toinen merkittävä tekijä investoinnin suuruudessa on lauhde-energian käsittelytapa. Lauhde-energian määrä riippuu voimalaitoksen jäähdytysratkaisusta. Luonnollisesti edullisin vaihtoehto on vesistöön tapahtuva lauhdutus. Esimerkiksi Kajaaniin sijoittunut Cellunolix® –laitos ottaa jäähdytysvetensä Kajaaninjoesta ja laskee sen sinne takaisin jäähdytyksen jälkeen.

## 2. Biojalostamon raaka-ainekäyttö

### 2.1. Raaka-ainemäärät

Laitoksen kokonaisraaka-ainetarve perustuu laitoksen minimikannattavuuskokoon. Raaka-ainejakauma eri raaka-ainejakeiden suhteen ei ole rajoittava tekijä. Prosessin kannalta olennaista on tietää ennakkoon raaka-ainejakeiden määrien suhteet, jotta prosessi voidaan ajaa oikein.

Raaka-aineiden kosteusprofiilit vaihtelevat suuresti eri raaka-ainelajien kesken. Esimerkiksi kevätkorjatun ruokohelpimateriaalin kosteus vaihtelee 12--18 prosenttiyksikön välillä, riippuen korjuun ja varastoinnin onnistumisesta. Viljaoljen kosteusprofiili on tyypillisesti korkeampi, vaihdellen 20--35 prosenttiyksikön välillä. Puuraaka-aineen kosteuspitoisuus on selvästi suurin, se voi ylittää jopa yli 40 %.

Raaka-aineen kosteuden mukana prosessiin päätyvä vesi alentaa prosessin kannattavuutta. Ylimääräinen vesi ei estä raaka-aineen prosessointia, mutta se on haihdutettava pois.

### 2.2. Raaka-ainelajit

Hankkeessa tarkasteltavat biojalostamon raaka-aineet jakautuvat kahteen pääluokkaan; korsibiomassoihin ja puubiomassoihin. Korsibiomassat koostuisivat viljan oljesta,

ruokohelpistä sekä muista ylijäämätyyppisistä korsimassoista. Puubiomassat olisivat puunjalostuksen sivutuotteita, kuten sahanpuru ja metsähoidon yhteydessä syntyvät energiapuujakeet. Myös raaka-aineen hankinta-alueen lehti- ja havukuitupuuvartat selvitetään.

### 2.2.1. Viljan olki

Tarpeeksi alhaisella kosteuspitoisuudella viljan olki on erinomainen raaka-aine biojalostamolle. Viljalajikkeella ei ole merkitystä prosessille, joten kaikkien suomalaisten viljalajien olki soveltuu raaka-aineeksi biojalostamolle. Eri viljalajien ominaisuudet saattavat poiketa hieman toisistaan, mutta erot ovat niin pieniä, ettei niillä ole vaikutusta tämän hankkeen tarkasteluissa. Myöskään viljan oljen korjuutavalla ei ole merkitystä prosessin kannalta. Ainoa merkittävä tekijä on oljen kosteus. Olki on korjattava niin kuivana (kosteus alle 25%), että se säilyy pitkiäkin varastointiaikoja.

### 2.2.2. Ruokohelpi

Ruokohelpi on lähes kaksimetrisesti kasvava vahvakortinen, monivuotinen heinäkasvi, joka on läheistä sukua merenrannoilla kasvavalle järviruo'olle. Ruokohelpi onkin eräänlainen peltoviljelyyn jalostettu järviruoko. Peltoviljelyyn jalostetut lajikkeet ovat pääosin peräisin Amerikan mantereelta, jossa ruokohelpeä käytetään rehukasvina. Ruokohelven jalostuksessa tavoitteena on ollut mahdollisimman suuri biomassatuotanto vähäisillä tuotantopanoksilla. Suomessa ruokohelpeä on viljelty 90-luvun alkupuolelta saakka, kehittämällä viljelyä ja korjuuta merkittävästi juuri biomassan tuotantoa varten. Biomassatuotantoa varten viljelty ruokohelpi muodostaa merkittävän tuotantopotentiaalin biojalostamon raaka-aineeksi. Ruokohelpeä voidaan käyttää myös paperin valmistuksen raaka-aineena sekä valumavesien suodatuksessa ja haihduttamisessa.

Ruokohelpi on Suomen oloissa satoisin energia- ja kuitukäyttöön kasvatetuista kasveista. Se tuottaa satoa vähintään 10-12 vuotta, jos sato korjataan keväällä kuloheinänä. Hyvin perustettu kasvusto voi tuottaa satoa jopa yli 15 vuotta ja Suomessa on jo kokemusta 12-15 vuoden ikäisistä kasvustoista. Kevätkorjuu on paras ruokohelven ravinnetalouden kannalta. Kasvuston korkeus on tyyppillisesti kasvukauden päättyessä 1,5-1,9 m ja satotaso 4,5-8 tn/ha.

Energiantuotantoon tarkoitettu ruokohelpi korjataan kevätkorjuumenetelmällä, jolloin ruokohelpi on ominaisuuksiltaan pitkälti kuivan viljaoljen kaltaista, paria merkittävää eroa lukuun ottamatta. Talven aikana ruokohelpi on kuitenkin lumen alla kokenut yleensä jonkin asteista hajoamista, erityisesti kasvin lehdet haurastuvat. Myös viljan oljella havaittava suojaava vahapinta katoaa talven aikana ruokohelvestä, jolloin ruokohelpimateriaalista tulee herkästi murenevaa ja pölyävää. Olkeen verrattuna sitä on kuitenkin mahdollista korjata huomattavasti kuivempaan. Ruokohelven vesipitoisuus vaihtelee 12-18 % välillä. Ruokohelvestä on myös viljan olkeen verrattuna paljon lehtiainesta, jopa 30 % kokonaismassasta.

### 2.2.3. Sahanpuru

Sahanpurua muodostuu 10-12 % raaka-aineena käytettävästä kuorellisesta tukista. Sahanpurun lisäksi sivutuotteena syntyy myös haketta ja kuorta. Kuorellista tukkia jalostettaessa sahatavaraksi sivutuotteita syntyy jopa yli 50 %.

Perinteisesti sahanpurun käyttö on jakaantunut puumassateollisuuden, energiantuotannon ja levyteollisuuden kesken. Puru varastoidaan maakasoihin tai siloihin, joista se kuljetetaan myöhemmin jatkokäyttöön. Tärkeimpiä tarkasteltavia sahanpurun ominaisuuksia bioetanolitehtaan kannalta ovat kuori- ja kosteuspitoisuudet. Sahanpurun tyyppillinen kosteus on 50--55 %. Sahanpurun sisältämää kosteutta voidaan pienentää kuivaamalla, pelletöimällä ja briketöimällä. Kostean sahanpurun irtotiheys on 250–300 kg/m<sup>3</sup>.

Cellunolix® -prosessi Kajaanissa hyödyntää raaka-aineenaan bioetanolin tuotannossa yksinomaan lähialueen sahoilla syntyvää sahanpurua.

#### 2.2.4. Puubiomassat

Tämän hankkeen yhteydessä tarkastellaan puubiomassojen osalta lehtikuitupuuta, havukuitupuuta ja energiapuun osalta kokopuuta sekä rankapuu.

Bioetanolituotannon raaka-aineena voitaisiin käyttää puuta, joka alittaa kuitupuun minimiläpimitan sekä metsien hoitotoimenpiteissä syntyviä puuaineeseriä, jotka ohjautuvat tällä hetkellä polttoon tai jäävät kokonaan korjaamatta.

Metsäkeskuksen mukaan energiapuuta korjataan pääasiassa hoitamattomista nuorista metsistä, joiden rungot eivät harvennusvaiheessa täytä puunjalostuksen minimimittoja. Nuorissa metsissä kerätään vain rungon osat, varttuneemmissa metsissä myös latvat ja oksat sekä huonolaatuiset rungot ja runkojen osat. Uudistushakkuiden yhteydessä metsistä kerätään myös kantoja. Tämän hankkeen prosessivaihtoehtojen kannalta järkevintä on tarkastella runko-osia. Latvusmassat (neulaset ja lehdet) ja oksat sisältävät suurimman osan ravinteista eikä niistä ole hyötyä bioetanolin tuotantoprosessissa. Energiapuu haketetaan korjuupaikalla, välivarastolla tai käyttöpaikalla.

#### 2.2.5. Öljykasvien korsimassa

Teoriassa öljykasvien (esim. rypsi ja rapsi) korsimassa voisi olla biojalostamon raaka-aine. Öljykasvien korsimassa kuitenkin poikkeaa jonkin verran viljan oljesta, joten sen koostumus olisi määritettävä tarkemmin. Yleensä öljykasvien korsimassat murskataan puinnin yhteydessä peltoon. Öljykasvien korjuuaika on myös myöhäinen ja näin ollen korsimassa on useimmiten varsin kostea ja vaikeasti käsiteltävää.

#### 2.2.6. Muut ylijäämä korsimassat

Teoriassa biojalostamo voisi hyödyntää myös muita korsi- ja heinämassoja. Tällaisia ylijäämäkorsimassoja ovat esimerkiksi eläinten ruokinnasta syntyvät ylijäämät. Nämä biomassamäärät ovat kuitenkin jalostamon kannalta merkityksettömiä.

Meren ja järvien rantojen voimakasta ruovikoitumista aiheuttava järviruoko voisi myös tarjota raaka-ainevirran biojalostamolle. Järviruoko on niitto ehkäisisi rantojen rehevöitymistä (fosforipitoisuus 4,5 kg/ha) sekä hillitsisi metaanipäästöjä (luonnossa hapettomissa oloissa mätänevä korsimassa tuottaa metaania). Järviruon niitto parantaisi myös rantojen virkistyskäyttömahdollisuuksia, ja sillä olisi myös työllistävä vaikutus. Tällä hetkellä niittoa ei juuri tehdä rahoituksen puutteen vuoksi. Biojalostamon raaka-ainekäytöllä voitaisiin todennäköisesti kattaa niittokustannukset, kun niitetylle korsimassalle tulisi jalostusarvoa.

## 2.3. Raaka-aineen laatuvaatimukset

Bioetanolin valmistusprosessi asettaa raaka-aineille tiettyjä laatuvaatimuksia ja raja-arvoja. Jalostettavan materiaalin ominaisuudet saavat vaihdella näiden raja-arvojen sisällä. Raaka-aineen ominaisuusvaatimukset vaihtelevat hieman eri raaka-ainelajien välillä.

### 2.3.1. Kosteusvaatimukset korsimassoille

Korsimassojen kohdalla merkittävin laatuvaatimus koskee massan kosteutta. Varsinkin pitkän varastointiajan kannalta on tärkeää, että korsimassa on riittävän kuivaa. Liiallinen kosteus varastoinnin aikana heikentää korsimassan jalostusarvoa. Kosteus voi aiheuttaa myös materiaalin homehtumista, joka voi aiheuttaa terveystarve riskin sitä käsitteleville henkilöille.

Kevätkorjattu ruokohelpi on tutkimusten ja käytännön kokemusten mukaan korjattavissa jopa yli 85 % kuiva-ainepitoisuudella. Yleisesti ottaen ruokohelven kosteus kevätkorjuulla vaihtelee 12--18 % välillä, riippuen korjuuolosuhteista. Ruokohelpi saadaankin pääsääntöisesti korjattua riittävän kuivana, ja kriittiseksi vaiheeksi kosteuden kannalta muodostuu varastointi.

Paappanen *et al.* (2008) mukaan ruokohelven varastointiin ei ole, ainakaan vielä reilu kymmenen vuotta sitten, kiinnitetty juuri huomiota, johtuen pitkälti ruokohelvestä saatavasta alhaisesta hinnasta. Voimalaitoksilta saatujen tietojen mukaan ruokohelven vastaanottokosteudet vaihtelivat 9--52 % välillä, keskiarvoasteisesti asettaessa 15--29 % välille. Tavoitteena tässä hankkeessa olisi, että ruokohelven korjuukosteus olisi välillä 12--18 %, ja sen varastointi toteutettaisiin niin huolellisesti, että sen aikana kosteusarvo ei muuttuisi.

Viljan oljen kosteudet vaihtelevat ruokohelpeen verrattuna paljon enemmän. Tämä johtuu pääosin viljan vaihtelevasta korjuuajankohdasta. Ajankohta vaikuttaa oljessa olevaan kasvukosteuteen sekä tietyksi säään aiheuttamaan vaikutukseen korjuukosteuteen. Viljan oljen korjuu-aika syksyisin vaihtelee Suomessa jopa parin kuukauden aikajakson sisällä, jolloin korjuuajan ääripäiden sääolosuhteet ovat hyvinkin erilaiset. Esimerkiksi VTT:n raportissa "Bioetanolia maatalouden selluloosavirroista", elokuun alussa 2006 korjatun viljan oljen kosteus vaihteli 21 %:sta 37 %:iin viikon välein otetuissa näytteissä. Yleisesti tutkimuksissa on todettu, että oljen korjuukosteuden voidaan olettaa olevan 25 %.

Viljan oljen kosteuden muutos varastoinnissa noudattaa samoja periaatteita kuin ruokohelvellä. Tässä hankkeessa oletetaan, että viljan oljen kosteus korjuun ja huolellisen varastoinnin jälkeen vaihtelee 20--35 % välillä.

### 2.3.2. Muut vaatimukset korsimassoille

Korsimateriaali ei saisi sisältää kiviä, puunkappaleita eikä muitakaan vieraita esineitä. Paalimuodossa korjatussa materiaalissa näistä ei yleensä muodostukaan ongelmia. Biojalostamon esikäsittelylaitos on kuitenkin hyvä varustaa kiven- ja metallinpoisto mekanismeilla.

Kuten on jo todettu, huolellinen varastointi on tärkeää, jotta korsimassojen laatu säilyy hyvänä. Toimivin varastointimuoto on paalaus ja varastointi tuotantoalueella ja paalien

kuljetus tuotantoalueelta jalostuslaitokselle tarpeen mukaisesti. Teoriassa etanolilaitoksen raaka-aineiden mahdollisia kuljetus- ja varastointimuotoja ovat myös materiaalin pelletöinti tai briketöinti, koska etanolin valmistuksessa sellukuidun jauhautuminen ja pilkkoutuminen lyhyeksi ei ole haitallista (niin kuin se sellukuidun tuotannossa olisi).

Korsimassojen paalauksessa voidaan käyttää niin pyörö- kuin suurakanttipaalaimiakin. Paalien sidonnassa tulisi mieluiten käyttää narua ja mieluiten luonnonkuidussa valmistettua narua, koska sitä ei tarvitsisi välttämättä poistaa ennen prosessointia. Mikäli paalien sidonnassa käytetään muovinarua, bioetanolilaitos on varustettava narunpoistolaitteisella esikäsitteilylaitoksella.

### 2.3.3. Laatuvaatimukset sahanpurulle

Samoin kuin korsimassoilla, myös sahanpurun kosteuspitoisuuden on oltava riittävän alhainen kuljetuskustannusten minimoimiseksi ja tehokkaan prosessiajon takaamiseksi. Lisäksi sahanpurun tulisi olla mahdollisimman homogeenista, eikä sisältää kuorta. Luonnollisestikin erilaiset vierasaineet, kuten kivet tai muovi, häiritsevät prosessin ajamista.

### 2.3.4. Laatuvaatimukset puuraaka-aineelle

Puiden kuori ei sovellu prosessiin. Muuten kaikenlainen puhdas puuainees sopii raaka-aineeksi (puru, hake, energiapuu, kuitupuu, roskapuulajit, kannot). Latvusmassat (neulaset ja lehdet) ja oksat sisältävät suurimman osan puiden ravinteista, eikä niistä ole hyötyä bioetanolin tuotantoprosessissa.

## 3. Tuotantologiikan tarvearviointi

Bioetanolitehtaan raaka-ainehuolto tulisi olemaan mittakaavaltaan suuri, ja sen vaikutukset alueen elinkeinoelämään voidaan arvioida merkittäviksi. Raaka-ainehuolto tulisi vaatimaan merkittävän työpanoksen metsän omistajilta, viljelijöiltä, korjuu-urakoitsijoilta ja materiaalin kuljetusyrittäjiltä. Korsimassojen kohdalla korjuuriskit voidaan arvioida kohtalaisen suuriksi, koska korjuuaika on lyhyt. Korjuuriskejä on mahdollista pienentää hajautetulla tuotantomallilla, jolloin lyhyenä sesonkina saadaan liikkeelle mahdollisimman suuri määrä korjuuyksiköitä ja näin korjuutyöaika mahdollisimman lyhyeksi.

Koska korsimassojen korjuutyöhön sopii nykyinen maataloustuotannon kalusto, soveltuvaa kalustoa korjuutyöhön on jo olemassa maakunnissa. Myös tämä seikka puoltaa hajautetun tuotannon avulla saavutettavaa tehokasta korjuujaksoa. Merkittävän osan korjuutyöstä voidaan olettaa keskittyvän urakoitsijoille, joiden käyttö maataloudessa on nykyään arkipäiväistä. Urakoitsijoilta voi myös odottaa investointihalukkuutta korsibiomassojen keräämiseen soveltuvaan kalustoon.

Puuraaka-aineen keräyksen osalta keräyskalusto, ja logistiikka on jo olemassa energiantuotantosektorin ansiosta (puru ja energiapuu). Bioetanolituotannon lisäksi mahdollistaisi puutavarateollisuuden sivutuotemateriaalien ja jättemateriaaliksi luettavien sivuvirtojen tehokkaamman hyödyntämisen, ja se toisi yrittäjille mahdollisuuden edelleen laajentaa keräys- ja kuljetustoimintaansa.

Urakoitsijoiden korjuutehokkuus on jatkuvassa kasvussa, esimerkiksi pyöröpaalauksessa vuonna 2008 keskimääräinen vuotuinen urakoitsijan paalaama paalimäärä oli 2140 paalia ja vuonna 2010 se oli jo 2600 paalia. Tällaisella tehokkuudella urakoitsija voisi huolehtia keskimäärin tuhannen tonnin paalaamisesta. Suurin osa urakoitsijoista tekee paalausurakointia sivutoimisesti omalla alueellaan ja tutulla asiakaskunnalla. Pelkästään urakointiin keskittyneet toimijat voivat paalata vuodessa jopa 7--10 tuhatta paalia, eli yli neljä kertaa enemmän kuin urakoitsijat keskimäärin.

Korjuu--urakoinnin, varsinkin ruokohelven korjuun, voidaan olettaa kiinnostavan urakoitsijoita. Ruokohelven korjuuajankohta keväällä osuu ajanjaksoon, jolloin muuta heinäkorjuuta ei ole. Kiinnostavuutta lisääväksi seikaksi voidaan laskea myös, että ruokohelven korjuu on konekaluston kannalta kevyempää ja koneita vähemmän rasittavaa, kuin tuorerehun korjuu.

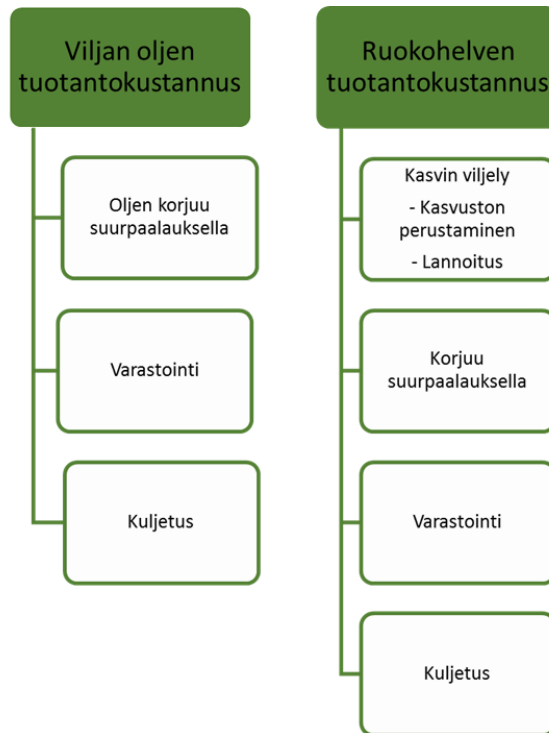
Vuoden ympäri toimiva bioetanolitehdas tarvitsee päivittäin raaka--ainetta useita kymmeniä tonneja. Rekkakuljetuksina tämä tarkoittaa useaa rekka--autokuormaa päivässä. Kuljetustyö jakautuu todennäköisesti tasaisesti ympäri raaka--aineen hankinta--alueita, joten se tarkoittaisi merkittävälle joukolla kuljetusyrittäjiä täysipäiväistä puu-- ja korsimassojen kuljettamista. Silloin tulisi myös taloudellisesti mahdolliseksi optimoida kuljetuskalusto juuri puu-- ja/tai korsimassojen kuljettamiseen.

## 4. Raaka--aineiden tuotantokustannukset

### 4.1. Korsimassojen tuotantokustannuslaskelmat

Korsimassojen tuotantokustannukset on määritelty kappaleessa 3 esitetulle tuotantoketjulle. Ketjussa tarvittavien tuotantopanosten määrät perustuvat korsimassatuotannon yleiseen tietoon, joka perustuu oikeaan tuotantoon ja mm. MTT viljelykokeisiin. Korsimassojen tuotantoketjun perusta on siis paalimuotoinen käsittely. Laskelmien tarkoituksena on määrittää biojalostamon toimintamahdollisuudet. Laskelmissa huomioidaan myös kustannustasoon merkittävämmän vaikuttavien muuttujien vaikutus. Korsimassojen tuotantokustannukset muodostuvat kuvassa 3 näkyvistä elementeistä.





**Kuva 3. Korsimassojen tuotantokustannusten muodostuminen.**

#### 4.1.1. Kustannusten perusteet

Muuttuvat kustannukset perustuvat 5/2016 ilmoitettuihin tietoihin. Konetyökustannukset perustuvat vuoden 2014 Työteho-seuran keräämiin keskimääräisiin urakointihintoihin julkaisussa "Konetyön kustannukset ja tilastolliset urakointihinnat" 3/2015 (Taulukko 1).

**Taulukko 1. Urakointihinnat (Palva, R. 2015)**

Työ	€/ha	€/paali (sis. narun)	€/h
Niittomurskaus	38,3		
Pyöröpaalaus		8,44	
Suurkanttipaalaus		11,75	
Paalien keruu		2,1	51,7
Paalien kuormaus			47,2
Kyntö, kaksoisaura	62,7		
Kylvömuokkaus	31,8		
Kylvölannoitus	55,5		
Kasvinsuojeluruiskutus	17,9		
Lannoitteen levitys	16,4		

Konetyökustannukset muodostavat kuljetuskustannusten ohella yhden suurimmista kustannuseristä. Koneiden kiinteiden kustannusten määrittäminen on vaikeaa, ja ne vaihtelevat suuresti riippuen kaluston käyttöasteesta. Sen takia tässä hankkeessa tarkastellaan konetyökustannuksia yleisen urakointitason kustannuksilla. Lisäksi

korsimassojen tuotannosta merkittävä osa tulisi todennäköisesti olemaan viljelijöillä, jotka

jo nykytilassa käyttävät korjuutyössä urakoitsijoita. Näin ollen voidaan olettaa, että eri konetyövaiheiden urakointihintojen keskiarvot edustavat hintaa, jolla kaluston pääomakustannukset saadaan jaettua mahdollisimman suurelle käyttöasteelle. Vastaavasti oletetaan, että kaluston kunto ja teknologinen taso ovat riittävän hyvät tehokkaan ja hyvälaatuisen materiaalin tuottamiseen.

Kuljetuskustannusten hintatason arvioimisessa hyödynnettiin Logibio--hankkeen yhteydessä tehtyä tarjouskyselyä kappaletavaran kuljetusyriyksille.

Kuljetuskustannusten arvioimisessa pyöröpaalikuljetuksille on käytetty seuraavia arvoja:

- Paalin halkaisija 1,5 m
- Paalin korkeus 1,2 m
- Paalin tiheys 130 kg/m<sup>3</sup>
- Yhteen rekkakuormaan mahtuu 48 paalia

Kuljetuskustannusten arvioimisessa kanttpaalikuljetuksille on käytetty seuraavia arvoja:

- Paalin pituus 2,4 m
- Paalin korkeus 0,7 m
- Paalin leveys 1,2 m
- Paalin tiheys 170 kg/m<sup>3</sup>
- Yhteen rekkakuormaan mahtuu 56 paalia

Korsimassojen tuotannon arvioimisessa on käytetty taulukossa 2 mainittuja satotasoja.

**Taulukko 2. Korsimassojen satotasot.**

Lajike	tn/ha
Ruokohelpi	7
Viljan olki	2,50
Ruokohelven uusimisväli 12 vuotta	

#### 4.1.2. Ruokohelpikasvuston perustamiskustannus ja vuotuinen lannoituskustannus

Taulukossa 3 on esitetty ruokohelpiviljelmän perustamiskustannukset satotonna kohti jakotettuna viljelmän koko hyödyntämisajalle. Siemenkustannukset ovat suurin yksittäinen kustannuserä ruokohelpiviljelmän perustamisessa.

**Taulukko 3. Ruokohelpikasvuston perustamiskustannukset (2015/2016 kustannuksia mukaillen)**

Lannoitekustannus (€/tn)	0,92
Siemenkustannus (€/tn)	1,11
Glyfosaattikustannus (€/tn)	0,09
Kyntötyö (€/tn)	0,75
Lannoitteen levitys (€/tn)	0,20
Kylvömuokkaus (€/tn)	0,38
Kylvölannoitus (€/tn)	0,66
Glyfosaatin levitys (€/tn)	0,22
<b>Perustamiskustannus</b>	<b>4,33 eur/tn (jaksotettu 12 vuoteen)</b>

Ruokohelpiviljelmän vuotuiset lannoituskustannukset satotonna kohti ovat 11,70 € (taulukko 4).

**Taulukko 4. Ruokohelpikasvuston vuotuiset lannoituskustannukset (2015/2016 kustannuksia mukaillen).**

Lannoitelaji	Yara can 27+ MG
Tyypin määrä (kg/ha)	50
Lannoitemäärä (kg/ha)	185
Typpeä (%)	27
Kilohinta (€/kg)	0,32 (2016)
Lannoitekustannus (€/tn)	8,46
Lannoitteen levitys (€/tn)	2,34
<b>Vuotuiset kustannukset yht.</b>	<b>11,70 eur/tn</b>

#### 4.1.3. Korsimassojen korjuu-, varastointi- ja kuljetuskustannukset

Oljen korjuukustannus muodostuu paalauksesta ja paalien keruusta. Kustannukset pyörö- ja kanttipaalusmenetelmille on esitetty taulukossa 5.

**Taulukko 5. Oljen korjuukustannus**

Paalaustyyppi	Paalaus kustannus [€/tn]	Paalien keruu [€/tn]	Yht. [€/tn]
Pyöröpaali	30,62	7,62	<b>38,23</b>



Kanttipaali	34,28	6,13	<b>40,41</b>
-------------	-------	------	--------------

Ruokohelven korjuukustannukseen kuuluu paalauksen ja paalien keruun lisäksi ennen paalausta tapahtuva niittomurskaus. Käytettävät paalityypit ovat samat kuin oljella. Taulukossa 6 on esitetty ruokohelven korjuukustannukset paalityypeittäin.

**Taulukko 6. Ruokohelven korjuukustannus.**

Paalaustyyppi	Niittomurskaus [€/tn]	Paalaus kustannus [€/tn]	Paalien keruu [€/tn]	Yht. [€/tn]
Pyöröpaali	5,67	30,62	7,62	<b>43,90</b>
Kanttipaali	5,67	34,28	6,13	<b>46,08</b>

Olki- ja ruokohelpipaalien varastointi tapahtuu samalla tavalla. Taulukko 7 esittää varastointikustannusten muodostumisen sekä kokonaisvarastointikustannuksen tonnia kohti.

**Taulukko 7. Oljen ja ruokohelven varastointikustannus.**

Varastointityyppi	Suojapeite
Menekki (m <sup>2</sup> /paali)	0,82
Hinta (€/m <sup>2</sup> )	3,50
Käyttöikä (vuotta)	3
<b>Varastointikustannus</b>	<b>3,1 eur/tn</b>

Taulukossa 8 on esitetty korsimassojen kuljetuskustannukset vyöhykkeittäin kuormakohtaisesti sekä eri paalityypeille tonnikohtaisesti.

**Taulukko 8. Korsimassojen kuljetuskustannukset eri vyöhykkeillä.**

Kustannus (sis. purku)	< 50 km	50--100 km	100--150 km
€/kuorma	237,50	362,50	487,50
Pyöröpaali €/tn	17,95	27,39	36,84

Kanttipaali €/tn	12,37	18,89	25,40
------------------	-------	-------	-------

#### 4.1.4. Oljen tuotannon kustannuslaskelma

Korjuukustannus:

Pyöröpaalaus [€/tn]	38,23
Kanttipaalaus [€/tn]	40,41
Varastointikustannus [€/tn]	3,10

Viljelykustannukset yhteensä:

Pyöröpaalaus [€/tn]	41,33
Kanttipaalaus [€/tn]	43,51 ka 42,42

Kuljetuskustannus (sis. lastaus ja purku):

Etäisyys 50 km:

Pyöröpaali [€/tn]	17,95
Kanttipaali [€/tn]	12,37

Etäisyys 100 km:

Pyöröpaali [€/tn]	27,39
Kanttipaali [€/tn]	18,89

Etäisyys 150 km:

Pyöröpaali [€/tn]	36,84
Kanttipaali [€/tn]	25,40

Oljen tuotannon kokonaiskustannukset vyöhykkeittäin on esitetty taulukossa 9.

**Taulukko 9. Oljen kokonaistuotantokustannus biojalostamolle toimitettuna.**

Kokonaistuotantokustannus	< 50 km	50--100 km	100--150 km
Pyöröpaali €/tn	59,28	68,73	78,17
Kanttipaali €/tn	55,89	62,40	68,91

#### 4.1.5. Ruokohelven tuotannon kustannuslaskelma

Perustamisen kustannus(jaksotettu) [€/tn]	4,33		
Lannoituskustannus [€/tn]	11,7		
Korjuukustannus:			
Pyöröpaalaus [€/tn]	43,90		
Kanttipaalaus [€/tn]	46,08		
Varastointikustannus [€/tn]	3,10		
Viljelykustannukset yhteensä:			
Pyöröpaalaus [€/tn]	63,03		
Kanttipaalaus [€/tn]	65,21	ka	64,12
Kuljetuskustannus (sis. lastaus ja purku):			
Etäisyys 50 km:			
Pyöröpaali [€/tn]	17,95		
Kanttipaali [€/tn]	12,37		
Etäisyys 100 km:			
Pyöröpaali [€/tn]	27,39		
Kanttipaali [€/tn]	18,89		
Etäisyys 150 km:			
Pyöröpaali [€/tn]	36,84		
Kanttipaali [€/tn]	25,40		

Ruokohelven tuotannon kokonaiskustannukset vyöhykkeittäin on esitetty taulukossa 10.

**Taulukko 1. Ruokohelven kokonaistuotantokustannus biojalostamolle toimitettuna.**

Kokonaistuotantokustannus	< 50 km	50--100 km	100--150 km
Pyöröpaali [€/tn]	80,98	90,43	99,88
Kanttipaali [€/tn]	77,59	84,10	90,61

#### 4.1.6. Yhteenveto ja analysointi korsimassojen tuotantokustannuksista

Korsimassojen tuotantokustannukset poikkeavat selvästi ruokohelven ja oljen välillä. Olki on tavallaan sivutuote, jonka varsinaiseen viljelyyn ja tuottamiseen ei tarvitse erikseen panostaa. Oljen tuotantokustannus muodostuu kokonaan korjuu- ja kuljetuskustannuksista.



Ruokohelpeä taas viljellään ja tuotetaan nimenomaan korsimassan tuottamista varten, jolloin sen kustannuksia kasvattaa merkittävästi kasvin viljely. Viljelyn aiheuttama lisäkustannus nostaa ruokohelven hinnan melkein 1,7 kertaiskesi olkeen verrattuna. Oljen ja ruokohelven tuotantokustannus kuiva--ainetonnina kohti varastoituna tuotantoalueilla on taulukon 11 mukainen.

**Taulukko 11. Oljen ja ruokohelven tuotantokustannus kuiva-ainetonnina varastoituna tuotantoalueella.**

	<b>Olki [€/tn]</b>	<b>Ruokohelppi [€/tn]</b>
Varastoituna	33,94	56,43

Merkittävä kustannuserä on korsimassojen kuljettaminen tuotantoalueilta jalostamolle. Korsimassajoen kuljetuksessa rajoittava tekijä on tilavuus, ei painorajat. Tämän takia kuutiopaino vaikuttaa merkittävästi kuljetuskustannuksiin. Käytännössä järkevin kuljetusmuoto on paali. Suurimpiin kuljetustiheyksiin päästään suurkanttipaaleilla ja perinteisellä pyöröpaalauksella hieman pienempiin tiheyksiin. Kuljetushintalaskelmissa onkin esitetty kustannusten vaihteluväli siten, että edullisin hinta perustuu suurkanttipaalien kuljetukseen ja kalliimpi hinta pyöröpaalien kuljetukseen. Taulukossa 12 on esitetty rekk--autokuljetukseen perustuvat kuljetushinnat eri kuljetusmatkoille. Kustannus on sama sekä oljelle että ruokohelvellä, sillä niiden kuljetustiheyksissä ei ole eroa.

Biojalostamon kannalta olennaista on tietenkin raaka--aineen kokonaiskustannus sen saapuessa jalostamon portille. Kokonaiskustannus muodostuu varastotason hinnasta, kuljetuksen hinnasta sekä kuljetuksiin liittyvistä välikäsitteilyistä. Välikäsitteilykustannus on esimerkiksi rekkajen lastaukseen tarvittava lastauskalusto ja --kaluston käyttö. Korsimassojen kokonaiskustannus biojalostamon portille kuljetettuna ja kuljetuslasti purettuna on taulukon 13 mukainen.

**Taulukko 12. Oljen ja ruokohelven kuljetuskustannukset tuotantoalueilta jalostuslaitokselle.**

<b>Etäisyys [km]</b>	<b>Korsimassat [€/tn]</b>
50	12,40--18,90
100	18,90--27,40
150	25,40--36,80

**Taulukko 13. Oljen ja ruokohelven kokonaiskustannukset kuorma purettuna jalostuslaitoksella.**

Etäisyys [km]	Olki [€/tn]	Ruokohelpi [€/tn]
50	55,90--59,30	77,60--81,00
100	62,40--68,70	84,10--90,40
150	68,90--78,20	90,60--99,90

Arvonlisäveroton kokonaistuotantokustannus korsimassoilla vaihtelee oljella 56--78 €/tn ja ruokohelvelle 78--100 €/tn. Sivutuotteena olki on siis käytännössä edullisempi raaka-aine kuin ruokohelpi. Kuten tuotantokustannusten perusteissa mainittiin (4.1.1), kustannusten laskemisessa on käytetty konetöiden hinnoittelussa Työteho-seuran vuosittain keräämiä, valtakunnallisia urakointityön keskiarvoja. Laskelmissa on käytetty vuoden 2015 hintatietoja. Urakointihinnat sisältävät kaluston kuoletus- ja pääomakustannuksia, juoksevia kuluja (esim. polttoaineet) sekä urakointiyrittäjän katevaatimukset. Katevaatimukset puolestaan sisältävät urakointiyrittäjän palkkavaatimukset. Voidaankin todeta, että kustannuslaskelma sisältää osittain siis katteellista toimintaa. Urakointityössä kustannukset jakautuvat suuremmalle korjuupinta-alalle, kuin jos korjuukalusto olisi vain tilan omassa käytössä. Koska urakoinnin hintatiedot perustuvat valtakunnalliseen seurantaan, voidaan niiden olettaa edustavan tehokasta ja taloudellisesti kestäväällä pohjalla olevaa toimintaa.

Tuotantokustannusten kehittymiseen pitkällä aikavälillä vaikuttaa kaksi merkittävää tekijää; energian hinnan kehittyminen sekä korjuukaluston kehittyminen juuri materiaalin kuljetustiheyden kannalta. Mikäli kuljetustiheyksissä päästäisiin reilusti yli 200 kg/m<sup>3</sup> tiheyksiin, alentaisi se merkittävästi kuljetuskustannuksia. Kuljetustiheyden vaikutus nähdään jo näissä laskelmissa erona kantti- ja pyöröpaalauksen välillä. Toisaalta suurempi kuljetustiheys vaatii suurempaa energian käyttöä paalauksessa sekä investoinnit kalliimpaan kalustoon. Näin ollen kokonaiskustannukset eivät alene suoraan kuljetustiheyden kasvaessa. (Taulukko 14)

**Taulukko 14. Pelletöinnin kustannusten vertailu paalaukseen (2012 hintatasolla).**

	Kuljetuskustannus [€/tn/100km]	Pelletöintikustannus [€/tn]	Yhteensä [€/tn]
Pelletti	9,1	135	144,1
Suurkanttipaali	21,0		21
Pyöröpaali	31,2		31

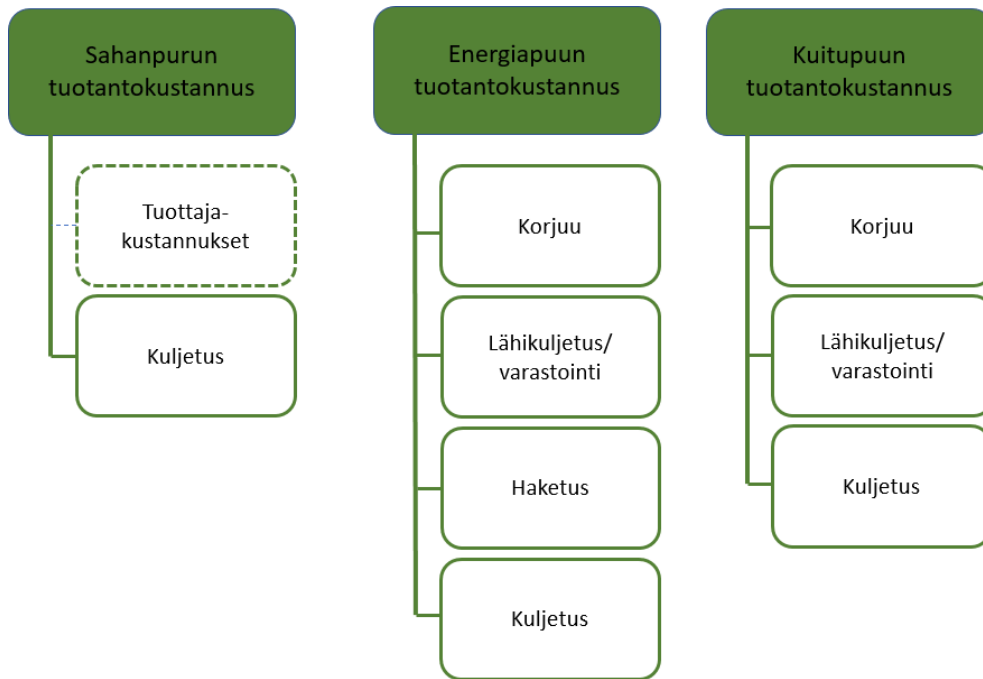
Laajamittaisessa teollisessa toiminnassa tuotantokustannussäästöjä on varmasti saavutettavissa monista kustannuseristä. Teolliseen mittakaavaan kasvavassa raaka-aineen tuotantoketjussa voidaan olettaa tapahtuvan tehostumista, joka näkyisi mm. korjuun ja kuljetuksen yksikkökustannusten alentumana. Suurin osa korjuun ja kuljetuksen kustannuksista muodostuu muuttuvista polttoainekustannuksista. Sen takia volyymin aiheuttamat kustannusalenemat tuskin pystyvät nousemaan merkittävästi 10--15 % suuremmiksi. Voidaankin olettaa, että laskelmissa esitetyt kustannustasot antavat selkeän ja totuudenmukaisen näkymän kustannuksista, joiden kattamiseen teollisen biojalostamon maksaman raaka-ainehinnan pitäisi pystyä.

Esimerkkinä lähitulevaisuuden mahdollisista tuotantokustannusmuutoksista voi olla korsimassapelletöinnin kustannustehokkuuden paraneminen. Pelletöinnin koneketju on tällä hetkellä: karhotus > paalaus > paalien keräys ja varastointi > paalisilppuri > vasaramylly > pelletointi. Pitkä välipelletöinnin ketju kustannuksineen tiputtaa korsimassapelletin pois kilpailukykyisistä materiaaliveitohdoista tällä hetkellä.

Pelletöinnin uutta teknologiaa ovat liikkuvat pelletointikoneet, esimerkkinä Kronen valmistama Premos 5000 ([https://www.youtube.com/watch?v=b6Kk-xPM\\_wk](https://www.youtube.com/watch?v=b6Kk-xPM_wk)). Pelletöinnin kustannuksista putoaisivat pois ainakin paalaus, paalien keräys, paalien varastointi, paalisilppuri ja vasaramylly. Uusi koneketju olisi silloin lyhimmillään: karhotus > liikkuva pelletointikone. Riippuen puimakonetyypistä, jopa karhotus voi jäädä väliin. Tosin Suomen ilmasto- ja pelto-olosuhteet aiheuttavat omat ongelmansa liikkuvan pelletointikoneen tehokkaimmalle hyödyntämiselle, mutta pelletöinnin kustannukset tulisivat tippumaan radikaalisti, jos yrittäjät ottaisivat käyttöönsä tätä tekniikkaa lähitulevaisuudessa. Silloin korsimassapelletin kilpailukyky olisi ihan toinen, johtuen kustannusten lisäksi myös kuljetus-, laatu- ja varastointieduistaan.

#### 4.2. Puupohjaisten raaka-aineiden kustannuslaskelmat

Puupohjaisten raaka-aineiden tuotantokustannukset on määritelty kappaleessa 3 esitetyille tuotantoketjulle. Puupohjaisten raaka-aineiden tuotantokustannukset muodostuvat kuvassa 4 näkyvistä elementeistä.



**Kuva 4. Puupohjaisten raaka-aineiden tuotantokustannusten muodostuminen.**

#### 4.2.1. Sahanpurun tuotantokustannukset

Sahanpurun kuljetuskustannusten arvioimisessa käytettiin energiapuuhakkeen kohdalla kerrottua tietoa, eli haketetun energiapuun kuljetuskustannus autokuljetuksella on noin 0,04 €/m<sup>3</sup>/km. Sahanpurun tiheytenä laskelmissa käytetään 0,25 tn/m<sup>3</sup>, joka on koston sahanpurun irtotiheys. (Alakangas, E., *et al.* 2016, s. 86). Kuljetuskustannusten arvio eri vyöhykkeillä on esitetty taulukossa 15.

**Taulukko 15. Sahanpurun kuljetushinta.**

Etäisyys [km]	Sahanpurun kuljetushinta [€/tn]
50	8,00
100	16,00
150	24,00

Energiayhtiöiden sahanpurusta maksama käyttöpaikkahinta on noin 15 €/MWh (12/2016, <http://www.metsalehti.fi/Metsaenergia/Kayttopaikkahinnat/>). Tämä hinta sisältää myös kuljetuskustannukset, eli on siis sahanpurun kokonaiskustannus. Yhden MWh:n tuottamiseen tarvitaan 1,7 i--m<sup>3</sup> sahanpurua (Metsäkustannus Oy, 2016b). Näiden tietojen perusteella saadaan sahanpurun massaperusteiseksi hinnaksi noin 35,30 €/tn.

Jos sahanpuru olisi ilmaista eli siitä tarvitsisi maksaa vain kuljetuskustannukset, ylittäisivät kuljetuskustannukset sahanpurusta yleisesti maksettavan hinnan (35,30 €/tn) noin 220 kilometrin ylittävillä kuljetusmatkoilla. Jos hintamaksimina käytetään 80 €/tn (bioetanolilaitoksen raaka-aineen kannattavuusraja laitokselle toimitettuna), voisi pelkillä kuljetuskustannuksilla tuoda purua jopa 500 km:n päästä.

Jos sahanpurusta maksetaan kuljetusten lisäksi tuottajalle, tulee arviointi tehdä uudelleen. Korsimassojen ja lehtikuidun hinnanmuodostumisen perusteella arvioitiin, että kuljetuskustannukset muodostaisivat niiden kohdalla keskimäärin noin 20--30 % raaka-aineen kokonaiskustannuksesta. Sahanpuru on tuottajalleen pääsääntöisesti jätettä, josta täytyy päästä eroon. Sahanpurun lisävarastointikustannukset oletetaan olemattomiksi biojalostamokäytön kannalta, koska puru tarvitsee varastoinnin syntypaikallaan, ja puru ei vaadi paalausta tai muutakaan käsittelyä. Voidaankin tehdä oletus, että sahanpurun kokonaiskustannuksesta kuljetus muodostaisi 50 % ja toinen 50 % olisi tuottajalle maksettavaa hintaa raaka-aineesta. Tällöin kuljetusetäisyyden ollessa enimmillään 110 km, sahanpurun hinta pysyisi kokonaisuudessaan 35,30 €:ssa tonnia kohti. Jos hintamaksimina käytetään 80 €/tn, kannattaisi sahanpurua kuljettaa noin 250 km:n päästä. Vertailu on esitetty taulukossa 16. Jos sahanpuru on valittavalle biojalostamoprosessille hyvin sopiva raaka-aine, voidaan olettaa, että sahanpurusta syntyy hintakilpailu biojalostamon ja voimalaitosten kesken.

Loppujen lopuksi voidaan sahanpurusta todeta se, että puru on edullinen raaka-aine jopa

500 kilometriin saakka, jos sahanpurun tekijä ei hinnoittele omaa osuuttaan "jättemateriaalista", yhteensä kuorma-autokuljetuksen kanssa, yli 80€/tonnilta. Junakuljetukset alkavat kilpailla kuorma-autokuljetusten kanssa, kun kuljetusmatkat venyvät yli sadan kilometrin, kun mukaan lasketaan 50 km alkukuljetus terminaali paikalle (verrattaessa energiapuun hakkeen kuljetuskustannuksiin (Metsätehon tuloskalvosarja 2a/2016)).

**Taulukko 16. Sahanpurun maksimikuljetusetäisyydet eri hinnanmuodostuksella ja hintamaksimilla.**

Sahanpurun kokonaiskustannusmaksimi [€/tn]	Kuljetuksen osuus kustannuksesta [%]	Maksimi kuljetusetäisyys biojalostamolle [km]
35,30	100	220
	50	110
80	100	500
	50	250

#### 4.2.2. Puuaineksen tuotantokustannukset

Puukuidun hankintahinta (taulukko 17) Kymi--Savo, Keski--Suomen ja Etelä--Suomen alueilla 12/2016 oli keskimäärin 27,93--30,02 €/m<sup>3</sup> (Metsäkustannus Oy, 2016a).

Hankintahinta tarkoittaa puun hintaa, joka sisältää hakkuun ja lähikuljetuksen tien varteen.  
Hankintahinta

on verrattavissa korsimassojen niin sanottuun pellonreunahintaan. Koska tässä raportissa biojalostamon raaka-ainevirtoja tarkastellaan massaperusteisesti, on kuutionhinta muutettava yksikköön €/tn. Muuntokertoimena käytetään koivun kokopuun kuivatuoretiheyttä 0,475 tn/m<sup>3</sup>, männyn kuivatuoretiheyttä 0,385 tn/m<sup>3</sup> ja kuusen kuivatuoretiheyttä 0,400 tn/m<sup>3</sup> (Alakangas, E., *et al.* 2016, s. 64). Näin koivu-, mänty- ja kuusikuidun hankintahinnoiksi saadaan koivulle noin 58,80 €/tn, männylle noin 73,53 €/tn ja kuuselle noin 75,05 €/tn.

**Taulukko 17. Kuitupuun hankintahinta 12/2016 (Metsäkustannus Oy, 2016a).**

	Kuutihinta [€/m <sup>3</sup> ]	Tonnihinta [€/tn]
Koivukuidun hankintahinta	27,93	58,80
Mäntykuidun hankintahinta	28,31	73,53
Kuusikuidun hankintahinta	30,02	75,05

Kuitupuun kuljetuskustannusten määrittelemisessä nojattiin toimivan puuhuollon kuljetusmalleihin ja niiden aiheuttamiin kustannuksiin. Teolliseen käyttöön suuntautuvan puun kuljetuskustannustietoa tilastoi Suomessa Metsäteho Oy. Käytössä oli hintatieto vuodelta 2015, jonka mukaan keskimääräinen puun kuljetuskustannus autokuljetuksella oli 0,07 €/m<sup>3</sup>/km. Kuitupuun kuljetusmuodosta johtuen kuljetustiheytenä käytetään massaa per pinokuutio (p--m<sup>3</sup>). Koivukuitupuun kuljetustiheys on noin 0,634 tn/p--m<sup>3</sup>, männyn noin 0,615 tn/p--m<sup>3</sup> ja kuusen noin 0,612 tn/p--m<sup>3</sup>. Taulukossa 18 on esitetty lehtikuitupuun keskimääräiset kuljetuskustannukset vyöhykkeittäin.

Hankintahinta [€/tn]: 58,80/73,53/75,05  
(Metla, 12/2016)

Kuljetuskustannus [€/m<sup>3</sup>/km] 0,07

Muuntokerroin (puuaineksen kuljetustiheys, tuore puu):  
tn/p--m<sup>3</sup>:

0,634 (koivu)  
0,615 (mänty)  
0,612(kuusi)

**Taulukko 18. Kuitupuun keskimääräiset kuljetuskustannukset.**

Etäisyys [km]	Koivukuitu [€/tn] (ka)	Mäntykuitu [€/tn] (ka)	Kuusikuitu [€/tn] (ka)
---------------	------------------------	------------------------	------------------------

50	5,52	5,69	5,72
100	11,04	11,38	11,44
150	16,56	17,07	17,16

Kuitupuun kokonaiskustannus biojalostamolle kuljetettuna on taulukossa 19 esitetyn mukainen suhteutettuna eri kuljetusmatkoille.

**Taulukko 19. Puuaineksen kokonaiskustannus biojalostamolle kuljetettuna (raaka-aineen 80 €/tn rajahinnan alittavat jakeet merkitty vihreällä).**

Etäisyys [km]	Koivukuitu [€/tn] (ka)	Mäntykuitu [€/tn] (ka)	Kuusikuitu [€/tn] (ka)
50	64,32	79,22	80,77
100	69,84	84,91	86,49
150	75,36	90,60	92,24

Kuitupuun osalta voidaan todeta, että ainoastaan koivukuidun osalta hankinta tulisi todennäköisesti kannattavaksi. Mänty- ja kuusikuitua kannattaisi kuljettaa lähialueelta, mutta kun otetaan huomioon se, että jos joudutaan kilpailemaan hinnasta perinteisen puuteollisuuden kanssa, hinta nousee nopeasti yli sovitun 80€/tn raaka-ainekustannuksen.

#### 4.2.3. Energiapuun tuotantokustannukset

Energiapuun keskimääräinen hankintahinta (taulukko 20) Kymi--Savo, Keski--Suomi ja Etelä-- Suomen alueilla oli keskimäärin vuoden 2016 kolmannella neljänneksellä 19,14 €/m<sup>3</sup>. Kuluneen 1,5 vuoden aikana keskimääräinen hinta on ollut ylimmillään 20,53 €/m<sup>3</sup> (4/2015) ja alimmillaan 18,28 €/m<sup>3</sup> (3/2015) eli vaihtelua keskimääräisessä kuutioshinnassa on ollut noin 2,25 euroa (Luke, 2017). Tämän raportin laskuissa käytetään tuon ajanjakson hintakeskiarvoa, joka on 19,6 €/m<sup>3</sup>. Energiapuun tiheytenä (haketettu) käytetään laskuissa 250 kg/i--m<sup>3</sup> (Bioenergiapörssi, 2016), jolloin hinnaksi tulee 78,40 €/tn.

**Taulukko 20. Energiapuun keskimääräinen hankintahinta Kymi-Savo, Keski-Suomi ja Etelä- Suomen alueilla alueella vuosien 2015-2016 viidellä viimeisellä neljänneksellä (Luke, 2017).**

	Kuutioshinta [€/m <sup>3</sup> ]	Tonnihinta [€/tn]
Energiapuun hankintahinta	19,6	78,40

Energiapuun kuljetuskustannukset ovat matalammat kuin kuitupuun. Kustannukset autokuljetuksena on keskimäärin noin 0,04 €/m<sup>3</sup>/km (taulukko 21) (Raitila, J. 2014; Varis, O. 2014).



**Taulukko 31. Energiapuun kuljetushinta biojalostamolle toimitettuna.**

Etäisyys [km]	Energiapuu [€/tn] (ka)
50	8
100	16
150	24

Energiapuun kuljetustiheys on pienempi kuin kuitupuulla, joten energiapuun kokonaiskustannus nousee massaa kohti tarkasteltuna korkeammaksi. Jotta tehtaan portilla olisi tonni energiapuuta, täytyy sitä kuljettaa melkein 1,3 kertainen tilavuus koivuun verrattuna. Energiapuun kokonaiskustannus biojalostamon portille eri vyöhykkeiltä olisi taulukon 22 mukainen.

**Taulukko 42. Energiapuun kokonaiskustannus vyöhykekohtaisesti biojalostamolle toimitettuna.**

Etäisyys [km]	Energiapuu [€/tn] (ka)
50	86,40
100	94,40
150	102,40

#### 4.2.4. Yhteenveto biojalostamon raaka-aineiden tuotantokustannuksista

Taulukoissa 23--25 on esitetty yhteenvetona eri raaka-ainelajien hinnan muodostuminen. Biojalostamon raaka-aineen maksimihinnaksi jalostamon portilla on asetettu 80 € tonnilta.

Edullisimmaksi raaka-ainelajiksi muodostuu sahanpuru. Alimmillaan sahanpurun kustannukset ovat keskimäärin 35,30 €/tn alle 100 kilometrit säteellä laitoksesta. Yli 100 kilometrin säteelläkin purun hinta pysyy haluttujen tuotantokustannusten rajoissa, riippuen tietenkin purun tuottajien pyyntihinnasta, jopa useiden satojen kilometrien päässä. Sahanpurun kustannusarviointi oli hieman vaikeaa. Voimalaitokset maksavat siitä hintaa, joka vastaa siis 35,30 euroa tonnilta. Tämä hinta sisältää myös kuljetuskustannukset. Hinnasta ei tiedetä sen jakaantumista tuotanto- ja kuljetuskustannusten kesken. Laskelmissa käytettiin arviota, jonka mukaan 50 % kokonaiskustannuksesta olisi kuljetuskustannusta. Tällöin 35,30 €:n kokonaiskustannuksella tonnia kohti, sahanpurun hankinta olisi kannattavaa noin 110 km:n päästä. Biojalostamon raaka-aineen kokonaiskustannusmaksimiksi jalostamon portilla on asetettu 80 €/tn. Tällä kokonaishinnalla ja 50 % kuljetuskustannusten osuudella sahanpurun hankinta on kannattavaa noin 250 kilometrin päästä. Jos sahanpuru ajatellaan jätteenä, ja siitä ei makseta tuottajalle hintaa, silloin purua voitaisiin tuoda jopa 500 kilometrin päästä tuotantolaitokselle. Jos sahanpurusta syntyy kilpailutilanne biojalostamon ja

energiantuottajien kesken, antaa 50 % jakaumaolettamus kokonaiskustannuksessa mahdollisuuden kilpailukykyisen hinnan muodostamiseen.

Seuraavaksi edullisimmaksi raaka-ainelajiksi muodostuu viljan tuotannon sivutuotteena syntyvä olki. Arvion mukaan, viljan oljen tonnihinta biojalostamolle toimitettuna tulisi liikkumaan 46--70 eurossa, kuljetusetäisyydestä riippuen.

Kolmanneksi edullisimpana raaka-ainelajina oleva lehtikuitupuu asettuu korsibiomassojen väliin. Sen tonnihinta biojalostamolle toimitettuna on 64,32--75,36 €/tn. Energiapuujakeiden keskimääräinen hinta on vaihdellut viimeisen 1,5 vuoden aikana noin 2,25 euroa kuutiolta. Tämän raportin laskelmissa käytettiin energiapuun kustannuslaskemissa hintakeskiarvoa ko. ajanjaksolta.

Ruukohelpi, joka kuuluu myös korsibiomassoihin, näyttäisi olevan neljänneksi edullisin raaka-aine. Sen kokonaistuotantokustannukset tonnia kohti, biojalostamon portille toimitettuna, vaihtelevat 69 €:n ja 82 €:n välillä kaikilla vyöhykkeillä (50 km, 100 km ja 150 km). Korsimassoilla tuotantokustannukset vaihtelevat paalaustekniikan mukaan. Kanttipaalausmenetelmällä ruukohelven kokonaistuotantokustannus yli 100 km kuljetusmatkoilla on 93 €/tn.

Laskelmien mukaan energiapuujakeiden käyttäminen biojalostamon raaka-aineena ei vaikuta kannattavalta, koska kokonaistuotantokustannus jalostamolle kuljetettuna näyttäisi olevan jo 50 km vyöhykkeellä noin 86,40 € tonnilta. Tulos johtuu pitkälti energiapuun oletetusta alhaisesta kuljetustiheydestä (0,25 tn/m<sup>3</sup>).

Havukuitupuun osalta voidaan todeta, että sen käyttäminen ei tulisi todennäköisesti kannattavaksi. Mänty- ja kuusikuitua kannattaisi kuljettaa kyllä lähialueelta, mutta kun otetaan huomioon se, että jos joudutaan kilpailemaan hinnasta perinteisen puuteollisuuden kanssa, hinta nousee nopeasti yli suunnitellun 80€/tn raaka-ainekustannuksen.

**Taulukko 23. Raaka-aineiden tuotantokustannukset tuotantopaikalle varastoituna.**

	Olki	Ruukohelpi	Lehtikuitu	Energiapuu	Sahanpuru
Tuotantokustannukset varastossa [€/tn] (ka)	33,94	56,43	58,80	78,40	0

**Taulukko 24. Raaka-aineiden keskimääräiset kuljetuskustannukset.**

Etäisyys [km]	Korsimassat [€/tn] (ka)	Lehtikuitu [€/tn] (ka)	Energiapuu [€/tn]	Sahanpuru [€/tn]
50	12,40--18,9 0	5,52	8,00	8,00
100	18,90--27,4 0	11,04	16,00	16,00
150	25,40--36,8 0	16,56	24,00	24,00



**Taulukko 25. Raaka-aineiden keskimääräiset tuotantokustannukset biojalostamolle kuljetettuna (raaka-aineen 80 €/tn rajahinnan alittavat jakeet merkitty vihreällä).**

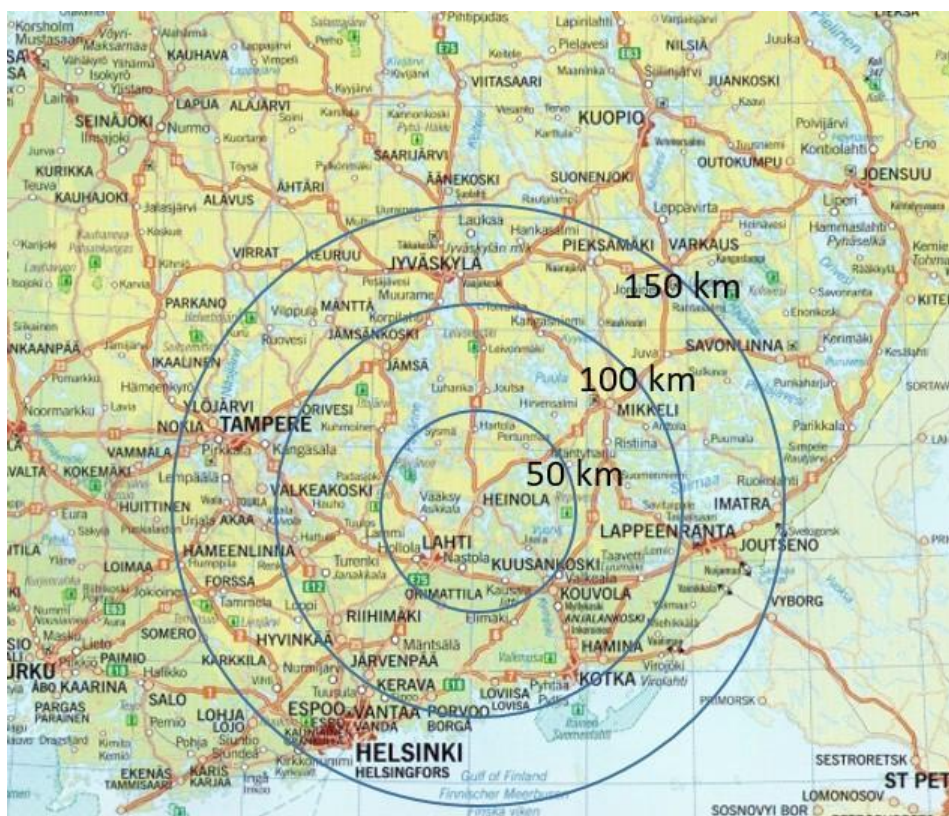
Etäisyys (km)	Olki [€/tn] (ka)	Ruokohelpi [€/tn] (ka)	Lehtikuitu [€/tn] (ka)	Energiapuu [€/tn]	Sahanpuru [€/tn]
50	46,34--52,84	68,80--75,30	64,32	86,40	35,30
100	52,84--61,34	75,30--83,80	69,84	94,40	35,30
150	59,34--70,74	81,80--93,20	75,36	102,40	alle 80

## 5. Raaka-aineen tuotantopotentiaali

### 5.1. Raaka-aineen tuotantopotentiaalin määrittelytapa

Hankkeen tarkastelualueena on Heinola--keskeisen, 150 km säteisen ympyrän ala (kuva 5).

Keskeinen kysymys bioetanolitehtaan toimintakykyä arvioitaessa on tehtaan raaka-ainehuollon turvaaminen taloudellisesti. Bioraaka-aineiden kohdalla vuotuiset vaihtelut eri raaka-ainelajien saatavuuksien välillä ovat tavallisia. Sen takia bioetanolitehtaan sijoitusalueella on oltava riittävä ja kannattava raaka-ainepotentiaali teollisen mittakaavan valmistukseen. Lisäksi potentiaalia kartoittaessa on otettava huomioon kohtuullinen kuljetusetäisyys biojalostamosta. Tarkastelut on tehty viljan oljelle, ruokohelvelle, sahanpurulle ja puubiomassoille.



**Kuva 5. Biojalostamon Heinola-keskeinen raaka-aineen hankinta-alue.**

Korsimassojen tuotantopotentiaalin arviointi on suoritettu kolmivaiheisesti. Ensin määriteltiin viljelypinta--alat sekä eri viljelymuodot tarkastelualueella. Tämä tieto antaa suuntaa--antavan arvion teoreettisesta tuotantomahdollisuudesta alueella. Todellisempaa tuotantopotentiaalia arvioitiin vertaamalla teoreettista potentiaalia kolmeen aiempaan viljelijäkyselyyn. Hyödynnettäviä tutkimuksia olivat Logibio--hankkeen yhteydessä toteutettu viljelijäkysely sekä Pohjois--Pohjanmaan pelletöntipotentiaalin yhteydessä toteutettu kysely.

Korsimassojen tuotantopotentiaalin arviointi on suoritettu kolmivaiheisesti. Ensin määriteltiin viljelypinta--alat sekä eri viljelymuodot tarkastelualueella. Tämä tieto antaa suuntaa--antavan arvion teoreettisesta tuotantomahdollisuudesta alueella. Todellisempaa tuotantopotentiaalia arvioitiin vertaamalla teoreettista potentiaalia kolmeen aiempaan viljelijäkyselyyn. Hyödynnettäviä tutkimuksia olivat Logibio--hankkeen yhteydessä toteutettu viljelijäkysely sekä Pohjois--Pohjanmaan pelletöntipotentiaalin yhteydessä toteutettu kysely. Tässä hankkeessa hyödynnetään myös Oulun yliopiston Centre for Environment and Energy:n (CEE) toteuttamaa viljelijäkyselyä oljen hyödyntämisestä energian tuotannossa Varsinais--Suomen alueella. Kyselytulokset suhteutetaan teoreettiseen tuotantopotentiaaliin, jolloin saadaan aikaiseksi malli, joka antaa arvion kuinka paljon alue pystyisi tuottamaan korsimassoja.

Biojalostamon käyttöön soveltuvan puuraaka--aineen määrää arvioitiin Metsäkeskuksen ja Luken (Luonnonvarakeskus) tuottaminen tilastoaineistojen perusteella. Huomioitavia raaka-- ainevirtoja olivat kuitupuu sekä energiapuu. Myös arvio sahanpurun määrästä alueella perustuu Luken tilastotietokannan tietoihin.

## 5.2. Alueen peltopinta--alatiedot ja pellon käyttö

Tarkasteltava alue on nähtävissä kuvassa 5 kohdassa 5.1, ja tarkasteltavat kunnat on luetteloitu taulukossa 33 kohdassa 5.4. Alueen maatilojen lukumäärä sekä peltopinta--ala hehtaareina arvioitiin Luonnonvarakeskuksen tilastotietokannan mukaan. Tulokset on esitetty taulukossa 26.

**Taulukko 26. Koko tarkastelualueen maatilojen lukumäärä, kokonaispeltoala, sekä siitä erotultuna viljapinta-ala, ruokohelpipinta-ala sekä kesantojen ja vähintään 5 vuotta vanhojen nurmien pinta-ala (tilat kuntakeskuksen sijainnin perusteella 2015).**

	50 km	50--100 km	100--150 km	yht.
Maatiloja (kpl)	1 845	6 005	6 273	14 123
Kokonaispeltopinta--ala (ha)	86 911	280 883	265 596	633 390
Viljapinta--ala (ha)	51 099	156 139	136 139	343 377
Ruokohelpipinta--ala (ha)	18	235	712	965
Kesanto-- ja nurmet väh. 5 vuotta pinta--ala (ha)	1935	11 092	9 818	22 845

### 5.3. Viljelijäkyselyn toteutus

Tässä hankkeessa ei suoritettu uutta viljelijäkyselyä, vaan analysoitiin kolmen aiemman kyselyn tuloksia. Kyselyt olivat EkoPelletti T&K –hankkeen yhteydessä toteutettu Pohjois– Pohjanmaan pelletöintipotentialia arvioiva tutkimus vuodelta 2013, Logibio–hankkeen toteuttama viljelijäkysely (2012) sekä Oulun yliopiston Centre for Environment and Energy (CEE) –yksikön toteuttama viljelijäkysely vuodelta 2014.

Sankari T. *et al.* (2013) toteuttama Pohjois–Pohjanmaan pelletöintipotentialitutkimusta voidaan hyödyntää referenssi–informaationa. Vaikka kyseisessä tutkimuksessa käsiteltiin korsimassan pelletöintiä, voidaan olettaa, että myönteisyysaste korsimassojen bioetanolihyödyntämisestä kohtaan on suunnilleen sama, koska ne työvaiheina viljelijälle eivät eroa paljonkaan. Kysely lähetettiin kaikille Pohjois–Pohjanmaan maakunnan viljelijöille keväällä 2010. Kyselyyn on saatu lukumääräisesti eniten vastauksia (452 kpl) analysoitavien kyselyjen joukosta, mutta vastausprosenttia ei ole kerrottu.

Kokonaisuutena Logobio–hankkeen kyselyyn on saatu 195 vastausta Keski–, Etelä– ja Pohjois– Pohjanmaan alueilta. Kysely toteutettiin sähköpostikyselynä huhtikuussa 2012. Kyselyn toteutti TNS Gallup Oy:n elintarviketieto–osasto. Kysely lähetettiin 800 satunnaisotannalla valitulle viljelijälle niin, että puolet otoksesta oli eläintiloja ja puolet kasvinviljelytiloja. Kyselyssä on kartoitettu viljelijöiden kiinnostusta korjata olkea biojalostusta varten, tuottaa ruokohelpeä, ja mihin hintaa he olisivat valmiita myymään näitä.

Kontturi H. (2014) toteuttama viljelijäkysely Varsinais–Suomen alueen suurimmille viljelijöille kattoi 50 viljelijää. Viljelijät haastateltiin tutkimuksessa puhelinhaastattelulla. Tutkimuksessa kartoitettiin viljelijöiden halukkuutta kerätä pelloiltaan olkea energiakäyttöön.

#### 5.3.1. Viljelijäkyselyn vastaukset

Pohjois–Pohjanmaan pelletöintipotentialia kartoittaneessa tutkimuksessa 33,6 % vastanneista viljelijöistä oli kiinnostunut tuottamaan pelletöintiin soveltuvia biomassoja. 21,5 % on valmis osallistumaan pelletin tuotantoon urakoitsijana. Lisäksi tutkimuksessa todettiin, että Oulun seutukunnassa oli havaittava myönteisten vastausten tiheyttä Liminka–Tyrnävä–Kempele –alueella. Kaiken kaikkiaan positiivisia vastauksia saatiin tasaisesti koko maakunnasta. Havaittavissa oli keskittymistä jokivarsien lähistölle, jossa maatilojen lukumäärä onkin suurin. (Sankari, T. *et al.* 2013, s. 22)

Logibio–hankkeen viljelijäkyselyn vastausprosentti oli 24,4 %. Kyselyn mukaan 64 % vastanneista on yleisesti kiinnostunut korsimassojen tuottamisesta biojalostamon raaka– aineeksi. Noin 36 % vastaajista ei ollut lainkaan kiinnostunut tuotannosta. Varsinaisesti oljen tuotannosta oli kiinnostunut 59 %. Tarkastelualueen kokonaisviljelypinta–alaan suhteutettuna oljet oltaisiin valmiita korjaamaan ja myymään 47,1 %:lta vuosittain viljeltävästä pinta–alasta.

Logibion vastauksissa kiinnostus ruokohelven tuotantoon oli hyvin pientä, ainoastaan 4,7 % koko selvitysalueen viljelypinta–alasta olisi kiinnostuttu siirtämään ruokohelpiviljelyyn. Pientä kiinnostusta selitetään alueella aikaisempien vuosien aikana koetuilla ongelmilla ja pettymyksillä ruokohelven energiatuotantoon liittyen.

Logibio--hankkeessa kysyttiin myös, olisivatko viljelijät kiinnostuneita sijoittamaan biojalostamoon, jos sellainen mahdollisuus tulisi. Hieman yllättäen jopa 20 % ilmoitti kiinnostuksensa. Tämän tulkitaan tarkoittavan, että viljelijöillä on halukkuutta myös omaehtoisesti viedä eteenpäin uusia tuotantomahdollisuuksia. Lopuksi Logibio--hanke esittää viljelijöiden hintavaatimukseksi oljelle 47,7 €/tn ja ruokohelvelle 73,4 €/tn.

Varsinais--Suomen alueen kyselyn perusteella, alueen 50:stä suurimmasta viljelijästä, 66 % olisi kiinnostunut myymään olkea. Näistä 76 % ei hyödynnä olkea kyselyhetkellä, muutoin kuin jättämällä pellolle maanparannusaineeksi. Oljen myynnistä kiinnostuneista 18 % omistaa itse oljen korjuuseen soveltuvaa kalustoa, ja 61 % ei halua kuljettaa olkea itse jalostuspaikalle. Vain 24 % ilmoittaa, että oljen korjuu olisi mahdollista joka vuosi koko viljelyalalta. 15 % voisi toimittaa olkea jalostettavaksi vuosittain kolmasosan tai puolet kokonaispeltoalan potentiaalista. Varsinais--Suomen viljelymaat ovat karuja, joten viljelijät haluavat jättää olkea peltoon multavuuden parantamiseksi. Varastokustannukseksi (karhottaminen, paalaus, siirto pellon reunaan ja peittäminen) kyselyn tulosten perusteella arvioitiin 32,4 €/tn. Näiden perusteella voidaan olettaa, että 60 % alueen viljelijöistä on kiinnostunut korsimassan toimittamisesta biojalostamokäyttöön.

### 5.3.2. Kiinnostus korsibiomassan tuotantoon

Analysoitujen viljelijäkyselyjen perusteella voidaan arvioida, että puolet tutkimusalueen viljelijöistä voi olla kiinnostunut korsimassan tuotannosta biojalostamokäyttöön. Viljelyalaan suhteutettuna tämä olisi noin 47 % vuosittain viljeltävästä alasta (taulukko 27). Logbio – hankkeen toteuttaman kyselyn ja Kontturi H. (2014) toteuttaman Varsinais--Suomen alueen viljelijäkyselyn perusteella oletetaan, että joka vuotinen oljen keräys pelloilta ei ole mahdollista, koska se aiheuttaisi viljelymaaperän laadun heikkenemistä. Pellolle jätettynä olki parantaa maaperän multavuutta. Ruokohelpiviljelyn kiinnostuksen arvioidaan olevan samaa luokkaa Logibio--hankkeen kanssa, 4,7 % viljelyalasta. Myös viljelijöiden korsimassoille asettaman hintatavoitteen (ilman kuljetuksia) arvioidaan olevan samalla tasolla Logibio--hankkeen tulosten kanssa (taulukko 28).

**Taulukko 27. Viljelijöiden kiinnostus korsimassojen tuotantoon ja suhde viljelypinta-alaan.**

Viljelijöiden kiinnostus korsimassan tuotantoon	
Kiinnostus yleisesti korsimassan tuotantoon bioetanolikäyttöön	50 %
Kiinnostus oljen tuotantoon bioetanolilaitokselle kokonaisvilja-- alasta	47 %
Kiinnostus ruokohelven tuotantoon kokonaisviljelyalasta	4,7 %

**Taulukko 58. Viljelijöiden hintatavoitteet korsimassoille ilman kuljetuksia, ns. varastokustannus.**

Viljelijöiden hintatavoitteet korsimassalle ilman kuljetuksia [€/tn]	
Oljen hintatavoite	47,7
Ruokohelven hintatavoite	73,4



Viljelijöiden hintatavoitteet korsimassoille ovat korkeampia kuin tämän hankkeen yhteydessä laskennallisesti arvioidut olkimassojen varastohinnat (kohta 4.1.6, taulukko 11), jotka olivat oljelle n. 34 €/tn ja ruokohelvelle n. 56 €/tn.

#### 5.4. Kyselyjen tulosten soveltaminen tarkastelualueelle

Kyselytutkimusten tulosten soveltamisessa koko tarkastelualueelle noudatettiin seuraavia periaatteita:

- Oletetaan, että analyysin mukaiset osuudet koko alueen viljapinta--alan tuottamasta oljesta saataisiin ohjautumaan biojalostamolle
- Oletetaan, että analyysin mukainen osuus koko alueen peltopinta--alasta ohjautuisi biojalostamolle suuntautuvaan ruokohelpituotantoon. (Tämän tuotannon vaikutus viljapinta--alaan huomioitiin)
- Tämän hetkinen alueen ruokohelpituotanto säilyisi edelleen tuotannossa
- Ruokohelpituotantona käytettiin 7 tn/ha ja oljelle 2,5 tn/ha
- Tarkastelualue on 150 km säde Heinolasta laskettuna

Näitä tuloksia sovellettiin tarkastelualueen kuntien viljelytietoihin, joiden kuntakohtainen luettelo on esitetty taulukossa 29.

**Taulukko 29. Kuntakohtainen luettelo tarkastelualueen tiloista ja koko peltopinta-alasta 2015 (Luke 2017).**

Kunta	Tilojen lkm	Peltoala [ha]
<b>50 km säde</b>		
Asikkala	202	7935
Hartola	108	3775
Heinola	69	2132
Hollola	213	11410
Iiti	213	12806
Lahti	18	1145
Mäntyharju	150	3338
Nastola	136	5370
Orimattila	434	26112
Padasjoki	64	2508
Pertunmaa	80	2148
Sysmä	158	8232
<b>50--100 km säde</b>		
Askola	151	7733
Hamina	186	6890
Hattula	115	6167
Hausjärvi	185	13437
Hirvensalmi	82	2055
Hyvinkää	99	5413

Hämeenkoski	98	5076
Hämeenlinna	516	24237
Janakkala	238	12977
Joutsa	101	4232
Jämsä	253	9530
Järvenpää	8	236
Kangasniemi	156	4083
Kotka	75	2649
Kouvola	979	46169
Kuhmoinen	62	1875
Kärkölä	146	8493
Lapinjärvi	150	10325
Lemi	85	2850
Loviisa	260	15261
Luumäki	150	6026
Luhanka	30	871
Mikkeli	497	12872
Myrskylä	94	6026
Mäntsälä	277	14896
Pornainen	80	4368
Porvoo	252	13207
Pukkila	91	6102
Pyhtää	87	4573
Pälkäne	189	7001
Riihimäki	37	2571
Savitaipale	114	4225
Toivakka	48	1618
Tuusula	114	6812
<b>100--150 km säde</b>		
Akaa	156	9008
Espoo	40	1945
Forssa	132	7492
Hankasalmi	175	6280
Helsinki	10	930
Humppila	103	5151
Imatra	46	2083
Jokioinen	147	8778
Joroinen	172	6893
Juupajoki	77	2945
Juva	257	8466
Jyväskylä	206	7898
Kangasala	204	9491
Karkkila	68	3176
Kerava	8	241
Keuruu	131	4672
Kärkölä	146	8493



Lappeenranta	507	20759
Laukaa	211	7785
Loppi	209	6897
Miehikkälä	117	4760
Multia	56	1595
Mänttä--Vilppula	109	3621
Nokia	104	3698
Nurmijärvi	202	11392
Orivesi	203	8897
Petäjävesi	79	2557
Pieksämäki	238	7052
Pirkkala	26	697
Puumala	80	1959
Ruokolahti	84	2614
Ruovesi	124	5583
Sipoo	156	6846
Sulkava	99	3191
Taipalsaari	76	2188
Tammela	202	8918
Tampere	89	3931
Tuusula	114	6812
Urjala	211	10088
Uurainen	71	2324
Valkeakoski	113	5715
Vantaa	54	3033
Vesilahti	148	5563
Vihti	198	10866
Virolahti	121	5846
Ylöjärvi	194	6467
<b>Yht.</b>	<b>14 123</b>	<b>633 390</b>

Tarkastelualueen koko peltoalasta olkituotantoon sopivaa vilja--alaa oli v. 2015 noin 54 %, eli 343 377 hehtaaria.

Kun näihin tuloksiin sovellettiin kyselytutkimuksien analyysiin pohjautuvia tuotantoarvioprosentteja, saatiin seuraava suuntaa antava tuotantopotentiali korsimassoille tarkastelualueella (taulukko 30.) Ruokohelven lisätuotanto arvio laskettiin kesanto-- ja nurmipinta--alasta, koska ei ole todennäköistä, että viljan viljelykäytössä olevia peltoja siirrettäisiin ruokohelpituotantoon. Lisäksi otettiin huomioon 50 % kiinnostuneisuus korsimassan kasvattamiseksi bioetanolituotantoon (taulukko 27).

**Taulukko 60. Arvio korsimassojen tuotantopotentiaalista hankkeen tarkastelualueella.**

	[tn/v]
Ruokohelven nykytuotanto	6 755
Viljan oljen tuotantoarvio	403 468
Ruokohelven lisätuotantoarvio	37 580
Yhteensä	447 803

Tämän perusteella voidaan tehdä oletus, että biojalostamon hankinta-alueelta olisi mahdollista saada korsimassoja noin 447 803 tonnia vuodessa, mikäli kyselytutkimuksien analyysin antamat tulokset vastaavat alueen viljelijöiden todellista kiinnostusta. Analyysin tulokset olivat kuitenkin varsin maltilliset (esim. olkituotantoa vajaalla 50 % viljelypinta- alasta), joten tulosta voidaan pitää kohtuullisen luotettavana suuntaa antavana arviona korsimassatuotannon potentiaalista.

Tulosten perusteella voidaan alueen korsimassojen tuotantopotentiaalista tehdä seuraavia suuntaa-antavia päätelmiä:

- Korsimassoja olisi alueelta saatavissa noin 447 803 tonnia.
- Korsimassoista viljan olkea olisi 90 % ja ruokohelpeä 10 %.

### 5.5. Puuraaka-aineen tuotantopotentiaali

Biojalostamon käyttöön soveltuvan puuraaka-aineen määrää arvioitiin Metsäkeskuksen ja Luken tuottaminen tilastoaineistojen perusteella. Huomioitavia raaka-ainevirtoja ovat havu- ja lehtikuitupuu sekä energiapuu.

Selvitysalue kuuluu osin Suomen metsäisinpään alueeseen. Viljeltyä maata on myös runsaasti. Metsät ovat pääasiassa kuusi- ja mäntyvaltaisia. Suota on suhteellisen vähän.

Metsätaloudessa suositaan havupuiden kasvattamista tukkipuuksi, ja metsänhoitotoimenpiteet kohdistuvat yleensä lehtipuuainekseen. Jos lehtipuuainekselle syntyisi kasvava markkina ja parempi hintataso, esimerkiksi juuri biojalostamon aiheuttaman kysynnän vuoksi, voitaisiin lehtipuuaineksen määrää kasvattaa metsänhoitomenetelmiä muuttamalla.

Biojalostamon raaka-aineeksi soveltuu havu- ja koivukuidun lisäksi niin sanotut roskapuuerät, kuten leppä ja haapa. Jos biojalostamo hyödyntäisi myös nämä puuerät, olisi se merkittävä etu metsätaloudelle. Silloin ns. roskapuuerille muodostuisi myös markkinahinta.

Biojalostamon käyttöön ohjautuva puun määrä on ennen kaikkea riippuvainen biojalostamon raaka-ainemaksukyvyistä. Jos biojalostamo pystyisi maksamaan puusta

markkinahinnan tai jopa paremman hinnan, tulisi silloin puuta ohjautumaan biojalostamolle merkittäviä määriä. Luonnollisesti jos biojalostamo ei pysty kilpailemaan kuitupuusta muun teollisuuden kanssa, biojalostamolle ei ohjaudu puuta käytettäväksi. Kuitupuukauppa on vuosien aikana osoittautunut varsin hintariippuvaiseksi toiminnaksi; jos hintataso ei ole riittävä puu ei liiku. Näin ollen biojalostamon on pystyttävä maksamaan koivukuidun mukaista hintaa tai biojalostamon on hyödynnettävä selluteollisuuden kelpaamattomia puueriä ja ns. roskapuulajeja.

Taulukossa 31 on esitetty eriteltyinä kuitupuuna käytetyn lehti- ja havupuuaineksen hakkuumäärä kuutiolina vuonna 2014 sekä energiapuiksi päätyneen havu- ja lehtipuunainekset.

**Taulukko 31. Hakkuukertymä Häme-Uusimaan, Pirkanmaan, Keski-Suomen, Kaakkois- Suomen sekä Etelä-Savon alueilla 2014 ja arvio tutkimusalueen hakkuukertymästä (Luke 2017: Hakkuukertymä ja puuston poistuma alueittain 2014).**

<b>Hakkuukertymät 2014</b>				
<b>Metsäkeskus</b>	<b>Kuitupu</b>		<b>Energiapu</b>	
	Havupuu [m <sup>3</sup> /v]	Lehtipu [m <sup>3</sup> /v]	Havupuu [m <sup>3</sup> /v]	Lehtipu [m <sup>3</sup> /v]
Etelärannikko	457 000	149 000	177 000	181 000
Häme--Uusima a	1 688 000	588 000	463 000	459 000
Kaakkois--Suom i	1 711 000	488 000	221 000	240 000
Pirkanmaa	1 275 000	392 000	422 000	416 000
Etelä--Savo	2 158 000	859 000	234 000	277 000
Keski--Suomi	1 876 000	669 000	421 000	471 000
<b>Yhteensä:</b>	<b>8 708 000</b>	<b>2 996 000</b>	<b>1 938 000</b>	<b>2 044 000</b>
<b>Hakkuukertymä arviot:</b>	<b>6 262 000</b>	<b>2 110 500</b>	<b>1 311 000</b>	<b>1 371 500</b>

Tämän hankkeen raaka--aineen hankinta--alue kattaa pääasiassa noin puolet Keski--Suomen, Etelä--Savon, Pirkanmaan ja Etelärannikon metsäkeskusten alueista sekä lähes kokonaan Häme--Uusimaan ja Kaakkois--Suomen metsäkeskusten alueet. Eli tutkimusalueelta saatavat suhteellisesti arvioidut hakkuukertymät olisivat silloin seuraavat: havukuitupu 6 262 000 m<sup>3</sup>, lehtikuitupu 2 110 500 m<sup>3</sup>, energiahavupuu 1 311 000 m<sup>3</sup> ja energialehtipu 1 371 500 m<sup>3</sup>.

Lehtikuitupuun arvioitu hakkuukertymä selvitysalueella vuonna 2014 on ollut noin 2 110 500 m<sup>3</sup> (Luke, 2017). Logibio--hankkeen perusteella voidaan arvioida, että biojalostamon käyttöön päätyisi 5 % vuotuisesta lehtikuitupuun hakkuukertymästä, eli vuoden 2014 arvolla

laskettuna reilu 105 525 m<sup>3</sup>. Havukuitua tuskin päätyisi biojalostamokäyttöön tämän hetken kustannustasolla, vaikka potentiaalia onkin olemassa. Kun keskimääräisenä tiheytenä käytetään koivun kuivatuoretiheyttä 475 kg/m<sup>3</sup> (Alakangas, E., *et al.* 2016), hakkuukertymäksi voidaan arvioida 1 002 488 tonnia, josta vähän reilu 50 124 tonnia vuosittain arvioidaan olevan biojalostamon käytössä.

Energiapuun arvioitu hakkuukertymä selvitysalueella vuonna 2014 on ollut noin 2 682 500 m<sup>3</sup> (Luke, 2017). Energiapuun hakkuukertymästä oletetaan 20 % olevan hyödynnettävissä biojalostamon raaka--aineeksi (oletetaan prosessiin kelpaavan lähinnä runkopuun). Energiapuun tiheytenä laskuissa käytetään 250 kg/m<sup>3</sup> (Bioenergiapörssi, 2016). Tällöin sitä voidaan arvioida päätyvän biojalostamolle noin 134 125 tonnia vuosittain.

Energiapuun käyttö biojalostamon raaka--aineena riippuu sen soveltuvuudesta prosessiin sekä biojalostamon raaka--aineesta maksamasta hinnasta. Tällä hetkellä energiapuuta jää metsiin tai hyödynnetään voimalaitoksissa polttoaineena. Luonnonvarakeskuksen tilastotietokannan mukaan Heinolan lähialueen voimalaitokset (Uudenmaan, Kanta-- Hämeen, Päijät--Hämeen, Pirkanmaan, Kymenlaakson, Etelä--Karjalan, Etelä--Savon sekä Keski-- Suomen lämpö-- ja voimalaitokset) ovat käyttäneet 2015 polttoaineenaan yhteensä 3 842 000 m<sup>3</sup> metsähaketta (energiapuu).

## 5.6. Sahanpurun tuotantopotentiaali

Sahanpuru voi todennäköisesti muodostaa merkittävän osan biojalostamon raaka-- ainevirroista. Jalostamon raaka--aineena käytettävä sahanpuru voi olla peräisin sekä havu-- että lehtipuista. Tällä hetkellä purua ohjautuu merkittäviä määriä alueella sijaitsevien voimalaitosten polttoaineeksi. Luonnonvarakeskuksen tilastotietokannan mukaan Heinolan lähialueen voimalaitokset (Uudenmaan, Kanta--Hämeen, Päijät--Hämeen, Pirkanmaan, Kymenlaakson, Etelä--Karjalan, Etelä--Savon sekä Keski--Suomen lämpö-- ja voimalaitokset) käyttivät vuonna 2015 polttoaineenaan purua noin 695 000 m<sup>3</sup>. Tonneina se tarkoittaa n. 173 750 tonnia, kun kuivan sahanpurun tiheytenä käytetään 250 kg/m<sup>3</sup>.

Sahanpurun tuotannosta pystyttiin todentamaan noin 460 000 m<sup>3</sup> eli noin 115 000 tn/v. Todennetun lisäksi tutkimusalueelta löytyy lisää yrityksiä, jotka tuottavat purua (taulukko 32), mutta kaikkien purua tuottavien yritysten lukumäärää, ja niiden synnyttämiä purumääriä ei pystytty selvittämään tarkasti tällä aikataululla. Potentiaalia siis löytyy, mutta nykyinen polttoainekäyttö energiatuotannossa voi johtaa sahanpurun osalta kilpailutilanteeseen.

**Taulukko 72. Hankinta-alueen sahoja ja puutuoteteollisuusyrityksiä.**

Puutuote ja sahausyrityksiä:	Paikkakunta	Puun käyttö/kapasiteetti m <sup>3</sup> /v	Sahanpuru [m <sup>3</sup> ]
Anaika Wood	Toivakka		
Hankasalmen saha (Versowood)	Hankasalmi	260 000	26 000
Herralan saha Oy	Hollola	30 000	3 000

Hovinikkarit Oy	Kangasniemi		
Inwido Finland Oy	Jyväskylä		
JPJ--Wood Oy	Juupajoki	150 000	15 000
Kausala Wood Oy	Iitti (Kausala)	30 000	3 000
Kieppisawmill (ORgroup)	Mäntyharju		
Kinnaskosken saha	Mänttä--Vilppula	58 000	5 800
Kouvolan Saha Oy	Kouvola	80 000	8 000
Koskisen Oy	Kärkölä, Hirvensalmi, Vierumäki	200 000	20 000
Kotkamills	Kotka, Imatra	230 000	23 000
Lappeenrannan saha (Metsä Group)	Lappeenranta	235 000	23 500
Misawa Homes of Finland Oy	Mikkeli	80 000	8 000
Multian saha	Multia	45 000	4 500
Mäntsälän saha Oy	Mäntsälä		
Orlava (ORgroup)	Mikkeli		
Otavan saha (Versowood)	Mikkeli	200 000	20 000
Porrasspuu Naukkarinen Oy	Laukaa		
Puu--Le Oy	Kangasniemi		
Puulon Oy	Kuhmoinen		
Rengon saha (Metsä Group)	Hämeenlinna (Renko)	600 000	60 000
Riihimäen saha (Versowood)	Riihimäki	300 000	30 000
Sun Sauna Oy	Jyväskylä		
Södra Wood Ab	Hamina	250 000	25 000
Tapijola (Puusepäntiike Velj. Aitto--Oja Oy)	Hankasalmi		
Tiaisen saha	Savitaipale	40 000	4 000
Tourun saha	Hämeenlinna (Hauho)	20 000	2 000
UPM Kaukas saha	Lappeenranta	510 000	51 000
UPM Korkekosken saha	Juupajoki	330 000	33 000
Vierumäen saha (Versowood)	Heinola	500 000	50 000
Viitakosken Puu Oy	Juva		
Vilppulan saha (Metsä Group)	Mänttä--Vilppula	460 000	46 000
Anaika Wood	Toivakka		



Yhteensä		<b>4 600 000</b>	<b>460 000</b>
			<b>115 000</b>

tn/v

### 5.7. Öljykasvien korsi

Öljykasvien korsimassan käyttäminen biojalostamon raaka-aineena luultavasti vaatii hieman lisätutkimuksia, jotta korsimassan kemiallinen koostumus tunnettaisiin paremmin optimaalisen prosessiajon kannalta. Hankkeen tarkastelualueella on 18 928 hehtaaria öljykasvien viljelypinta-alaa. Öljykasvien kohdalla korsimassaa arvioidaan syntyvän yhtä paljon hehtaaria kohden kuin viljoilla eli 2,5 tonnia. Viljelijäkyselyiden perusteella arvioidaan, että myös öljykasvien kohdalla 47 % viljelypinta-alasta olisi hyödynnettävissä olkituotantoon. Tällöin öljykasvien korsimassan tuotantopotentiaali tarkastelualueella olisi noin 22 240 tonnia vuosittain. Tätä ei ole kuitenkaan otettu huomioon yhteenvetotaulukossa, koska prosessiyhteensopivuutta ei voida tarkemmin selvittää tämän selvityksen yhteydessä.

### 5.8. Yhteenveto raaka-aineen tuotantopotentialista

Biojalostamon eri raaka-aine-erien tuotantopotentiaalit määritettiin Heinola-keskisen ympyrän alueella, edellisissä kohdissa kuvatuilla tavoilla, 150 km säteellä. Arvioinneissa on pyritty myös huomioimaan potentiaalın realisoitumismahdollisuudet, mm. viljelijäkyselyjä soveltamalla sekä suorilla yhteydenotoilla.

Tulosten perusteella alueen viljapeltopinta-alalta, ja olemassa olevilta ruokohelpi viljelmiltä, olisi mahdollista saada korsimassoja reilut 410 200 tonnia vuosittain. Ruokohelven lisätuotanto-arvio on 37 450 tonnia vuosittain. Lisäksi öljykasvien korsimassa toisi mahdollista lisäpotentiaalia 22 240 tonnın verran, riippuen lisätutkimusten soveltuvuustuloksista (taulukko 33).

Merkittävä raaka-aine-erä olisi myös lehtikuitupuu, jos biojalostamo pystyy kilpailemaan siitä selluteollisuuden maksaman hinnan kanssa.

Prosessista riippuen energiapuun hyödyntäminen biojalostamon raaka-aineena on myös mahdollista. Selvitysalueen energiapuun tuotantoarvio on noin 134 125 tonnia vuosittain. Arvioon vaikuttavat tietysti myös biojalostamon maksama hinta. Sen pitää pystyä kilpailemaan esim. voimalaitosten maksaman hinnan kanssa.

**Taulukko 33. Yhteenveto hanke-alueen raaka-ainepotentiaalista.**

Raaka-ainesanto	tonnia/vuosi
Ruokohelven nykytuotanto	6 755
Viljan oljen tuotantoarvio	403 468
Ruokohelven lisätuotantoarvio	37 580
Lehtipuuraaka-aine (koivu)	50 124
Energiapuu	134 125
Sahanpuru	173 750
<b>Yhteensä</b>	<b>805 802</b>

## 5.9. Raaka-aineen hankintatoimen rahavirrat

Aiemmissä kohdissa esitettyjen raaka-ainelajien tuotantopotentiaalien perusteella voidaan arvioida biojalostamon raaka-ainehankinnan aiheuttaman rahavirran hankinta-alueella muodostuvan merkittäväksi. Suuntaa antavat arviot on esitetty taulukossa 34.

**Taulukko 84. Raaka-ainepotentiaalın tuotantokustannuspohjaiset rahavirrat.**

Raaka-aine-erä	Tuotantomäärä (tn/v)	Kustannushinta (€/tn)	Raaka-aineen arvo (M€)
Viljan olki	403 468	33,94	13,69
Ruokohelpi	44 335	56,43	2,5
Lehtipuuraaka-aine	50 124	58,80	2,95
Sahanpuru	173 750	35,30	6,1
Energiapuu	134 125	78,40	10,52
Raaka-ainekuljetukset	805 802		

## 5.10. Raaka-ainetuotannon ympäristövaikutukset

Biojalostamon raaka-ainetuotanto tarjoaisi merkittävän mahdollisuuden korsimassojen hyödyntämiselle. Viljan oljen tuotannosta ei katsota aiheutuvan ympäristövaikutuksia tuotantoalueella, koska olki on viljantuotannon sivutuote. Oljen ympäristövaikutuksien lasketaan alkavan oljen karhotuksesta, jatkuen paalaukseen, lastaukseen ja kuljetukseen biojalostamolle. Aiheutuvat päästöt ovat työkoneiden ja kuljetusajoneuvon pakokaasupäästöjä. Ruokohelpi viljeltäisiin juuri biojalostamokäyttöä varten, joten sen ympäristövaikutukset on huomioitava kasvatuksesta lähtien.

Viljelyssä tärkeä ympäristövaikutusten mittari on huuhtoutuvien ravinteiden määrä. Ruokohelven kevätkorjuu ja viljelmän pitkä ikä (10--12 vuotta) mahdollistavat tehokkaan ravinteiden kierrätyksen kasvin ja maan välillä. Samalla kyntämätön, juuriston valtaama maa suojaa ja kuohkeuttaa pintamaata. Nämä tekijät yhdessä alhaisen lannoitustarpeen kanssa pienentävät ravinteiden huuhtoutumisriskiä ruokohelven viljelyalueilta. (Pahkala, K., *et al.* 2005, s. 23) Suositusten mukaisesti lannoitettuun rehunurmeen verrattuna ruokohelven viljelyalueilta huuhtoutuu kymmenessä vuodessa 40 % vähemmän liukoista typpeä ja 20 % vähemmän liukoista fosforia (Partala & Turtola 2000). Itä-Suomen yliopistossa 2015 hyväksytyn väitöksen (Hyvönen, N., s. 101) mukaan ruokohelven viljely muuttaa turvetuotannosta poistetut alueet hiililähteestä hiilinieluksi, hiilen sitoutumisen ollessa 135 g/m<sup>2</sup>/v. Ruokohelvestä tuotettu energia aiheuttaa vähemmän hiilidioksidipäästöjä megawattituntia kohden kuin perinteiset energian lähteet, kuten kivihiili.

Lehtikuitupuun ja energiapuun osalta ympäristövaikutuksiin on huomioitava vaiheet hakkuusta lähtien, päättyen siihen, kun kuljetus saapuu biojalostamon portille. Huomioitavaa on myös puuston poistuman aiheuttamat vaikutukset metsässä. Sahanpurun ympäristövaikutuksiin lukeutuvat kuljetuksesta ja käsittelystä aiheutuneet päästöt.

## 6. Loppupäätelmät ja jatkotoimenpiteet

## 6.1. Loppupäätelmät

Heinolan alueen biomassapotentiaalin selvitystyön tulokset voidaan kiteyttää seuraaviin loppupäätelmiin:

- Heinolan ympäriltä 150 km säteeltä on löydettävissä noin 768 920 tonnia raaka--ainetta biojalostamokäyttöön vuosittain, seuraavin ehdoin
  - o Korsimassoista maksettavan hinnan on katettava pitkällä tähtäimellä korsimassojen laskennalliset tuotantokustannukset, jotka ovat tuotantoalueella varastoituna:
    - Viljan oljella n. 34 €/tn
    - Ruokohelvellä n. 56,5 €/tn
  - o Korsimassojen kokonaistuotantokustannus biojalostamon portilla vaihtelee kuljetusmuodosta riippuen seuraavilla väleillä:
    - Viljan olki n. 47--71 €/tn
    - Ruokohelppi n. 69--94 €/tn
  - o Biojalostamon raaka--aineen hintakatoksi on asetettu 80 €/tn, jolloin 150 km:n säteeltä Heinolan ympäristöstä
    - Viljan olkea olisi saatavissa arviolta n. 396 716 tn/v
    - Ruokohelpeä ei kannattaisi hankkia yli 100 km:n kuljetusetäisyyksien päästä
  - o Käyttöön sopivia puupohjaisia raaka--ainelajeja ovat lehtikuitupuuta, energiapuujakeet soveltuvin osin sekä sahanpuru
    - Havukuitupuuta ei korkeahkon kustannustason ja todennäköisen kilpailun vuoksi kannata hyödyntää
    - Lehtikuitupuuta voidaan olettaa ohjautuvan biojalostamolle n. 50 124 tonnia vuosittain, mikäli siitä maksetaan markkinahintaa, jolloin hinta biojalostamolle toimitettuna olisi n. 64,3--75,3 €/tn
    - Energiapuun käyttö biojalostamon raaka--aineena ei vaikuta kannattavalta tämän selvityksen perusteella, tonnihinta vaihtelee n. 86--103 €/n välillä kuljetusetäisyydestä riippuen
    - Sahanpurua vaikuttaisi löytyvän hankinta--alueelta ainakin n. 173 750 tonnia vuosittain
  - o Korsimassojen tuotantoon on olemassa valmiit raaka--aineen tuotantoketjut
    - Kalustoa löytyy maataloilta ja koneurakoitsijoilta
    - Tuotanto-- ja viljelyteknologiat ovat tunnettuja
  - o Pelletöinti tai briketöinti voisi tuoda lisäarvoa raaka--aineille (laatu/varastointi/kuljetukset), mutta kustannukset valitettavasti nousevat biojalostamon kannalta liian suuriksi. Uusia teknologioita kannattaa kuitenkin seurata ja tutkia.

## 6.2. Riskien arviointi

Biojalostamon raaka--ainetuotannon järjestämiseen on tämän selvityksen mukaan noin 805 802 tonnin vuotuinen potentiaali. Raaka--ainetuotannon toimimiseen liittyy erilaisia riskejä, jotka tulee ottaa huomioon jatkotoimenpiteitä suunniteltaessa. Seuraavassa on listattu keskeisimpiä korsimassojen tuotantoon liittyviä riskejä:

- Saavutetaanko keskimääräisessä ruokohelpituotannossa 7 tonnin ja viljan oljella 2,5 tonnin hehtaarisatoja

- Saadaanko korsimassat korjattua riittävän kuivana, jotta materiaalin laatu säilyy hyvänä myös varastoinnin ajan
- Vaikuttaako yleinen maatalouspolitiikka korsimassojen tuotannon mielekkyyteen

Korsimassojen satoon liittyy luonnollista vaihtelua, joka saattaa olla hyvinkin merkittävää. Ruokohelpituotannon osalta energiakäyttöön menevän ruokohelven hehtaarisadot ovat olleet paikoin alhaisia. Tämä on ollut osin seurausta materiaalin liian alhaisesta hinnasta. Ruokohelven osalta viljelijöiden kannattaa tavoitella mahdollisimman suuria satoja vain silloin, kun tuotteesta saatava hinta on järkevässä suhteessa tuotantokustannuksiin. Mikäli biojalostamon maksama hinta ei pitkäjärjenteisesti täytä tuotteen tuotantokustannuksia, siirtyy tuotannon motiivi tukipohjaiseksi, jolloin parhaita hehtaarisatoja ei tavoitella. Raaka-aineesta on siis maksettava kustannusten mukainen hinta, jotta voidaan turvata mahdollisimman hyvä hehtaarisato.

Viljan oljen kohdalla maksettavalla hinnalla ei ole merkitystä satotason, mutta liian alhaisella hinnalla viljelijät eivät korjaa olkisatoa talteen. Viljantuotannon sivutuotteena syntyvän oljen korjaaminen ei ole pakollista, joten biojalostamon on kyettävä maksamaan houkuttelevaa hintaa oljesta.

Korsimassojen tuotantoon vaikuttaa myös säätilan aiheuttama riski. Kevätkorjattu ruokohelpi on kosteuden suhteen kohtalaisen helposti korjattavissa riittävän kuivana. Huolellisella varastoinnilla materiaali saadaan myös säilymään kuivana. Tuottajien hyvä ohjeistus huolellisen varastoinnin kannalta onkin tärkeää. Myös biojalostamon maksama hinta vaikuttaa tuottajan motivaatioon suorittaa varastointi ja muu materiaalin käsittely oikein. Voidaan olettaa, että biojalostamon raaka-aine-eristä ruokohelpi olisi kaikkein tasalaatuisinta ja kuivinta. Ruokohelpi voisikin toimia niin sanotusti tasapainottavana raaka-aineena oljen ja puuraaka-aineiden joukossa.

Oljen kohdalla on varauduttava kosteusvaihteluihin. Yleisesti kostean materiaalin käsittely alentaa prosessin kannattavuutta ja vaikuttaa prosessin ohjaukseen. Biojalostamoprosessia suunniteltaessa tuleekin varautua kosteampien olkierien käsittelemiseen. Kostean materiaalin joukossa voi esiintyä myös homepölyä, jonka hallintaan on kiinnitettävä huomiota työturvallisuuden kannalta.

Kostean materiaalin säilyvyyttä voi parantaa ruiskuttamalla paalauksen yhteydessä AIV-säilöntäliuosta. Käyttömäärän ollessa 3–4 litraa tonnia kohti, aiheutuu sen käytöstä noin 5 euron lisäkustannus tonnia kohti. Laajamittaista kokemusta siitä, kuinka suuren kosteuden nousun aiheuttama pilaantuminen voidaan estää muurahaishappopohjaisella AIV-liuoksella ilman paalin muovittamista, ei ole. Vähäisen kosteuden nousemisen aiheuttamaa palamis- ja hometumisriskiä voidaan kuitenkin merkittävästi pienentää. Cellunolix®-prosessissa muurahaishappoa ei käytetä, mutta sitä syntyy prosessin aikana, ja se käsitellään anaerobi-reaktorissa. AIV-liuoksen käyttö oljen korjuussa vaatii jatkotutkimusta, mutta se vaikuttaisi mahdollistavan viljan oljen kosteusvaihteluiden vaikutusten hallinnan, ainakin joissain määrin. Paalien muovittaminen ei ole kustannussyistä järkevää, sillä se aiheuttaa nopeasti 20–30 € tonnikustannuksen. Raaka-aineen kosteuden hallinnassa kannattaa huomioida myös biojalostamon tuottaman mahdollisen ylijäämäenergian käytettävyyden materiaalin kuivaamiseen.

Nykyisin Euroopan Unionin yhteinen maatalouspolitiikka ohjaa tuotantoa peltopinta-- alatukijärjestelmällä. Sen vaikutus on merkittävä maataloustuotantoon ja sen kehittymiseen, sillä lähes kaikki viljelykelpoinen pelto on mukana pinta-- alatukijärjestelmässä. Tukijärjestelmä on rakenteeltaan monimutkainen, ja peltohehtaarilta saatavaan kokonaistukisummaan vaikuttaa monta tekijää. Kokonaistukeen luetaan myös kansallisesti maksettavat tuet. Nykyisin hehtaarikohtaiseen tukeen vaikuttaa hakijatilan tuotantosuunta (kasvinviljely vs. kotieläintuotanto) sekä viljeltävät kasvit. EU:n tukijärjestelmä toimii niin sanotusti ohjelmakausittain, mikä tarkoittaa, että tukijärjestelmän ehdot ja tukitasot muuttuvat noin neljän vuoden välein. Yleisesti ottaen kokonaistukitaso on ollut lievästi aleneva. Tukierien välillä sen sijaan on tapahtunut merkittäviäkin muutoksia.

Teollisen investoinnin kuoletusaikaan verrattuna tukijärjestelmän ohjelmakaudet ovat hyvin lyhyitä. Tämän takia raaka--aineen hinnoittelussa ei saa tukeutua tukijärjestelmään tai sen yksittäiseen tukielementtiin. Biojalostamon kannalta tukijärjestelmä on huomioitava tilakohtaisena tukena, joka luo edellytyksiä maataloustoiminnalle. Tuotettavasta tuotteesta saatavan hinnan on oltava oikeassa suhteessa tuotantokustannuksiin. Jos tukeudutaan tukien avulla tapahtuvaan raaka--aineen hinnan alentamiseen, se voi johtaa huomattaviin yllätyksiin jo alle kymmenen vuoden ajanjaksoissa.

### 6.3. Jatkokehitysmahdollisuudet

#### 6.3.1. Jatkoselvitystarpeet

Biojalostamo hankkeen raaka--ainesaatavuuden kannalta tärkeimmät jatkoselvitystarpeet on listattu alla.

- Tarkempi kuntakohtainen selvitys korsi-- ja puumassojen jakautumisesta hankinta-- alueella
- Viljelijäkysely alueen viljelijöille
  - o Halukkuus tuottaa korsimassoja ja toivottu hinta
- Tarjouskysely raaka--ainekuljetuksista
- Sahanpurun osalta tarkempi selvitys suoraan sahoilta ja muilta purun tuottajilta

#### 6.3.2. Selvityksen tulosten hyödyntäminen

Heinolan alueen biomassapotentiaalinen selvityshanke antaa arvion Heinolan mahdollisuuksista biojalostamon sijoituspaikkana raaka--ainehuollon näkökulmasta. Lisäksi selvityksessä tehtiin arvio eri raaka--ainelajien kustannustasosta. Näiden arvioiden perusteella vaikuttaa siltä, että noin 150 km:n säteeltä Heinolasta olisi saatavissa varteenotettava määrä raaka--aineita biojalostamokäyttöön. Luonnollisesti raaka-- ainetuotantoon liittyy riskejä ja jatkokehitystarpeita, mutta niiden hallittu ratkaisu näyttäisi mahdolliselta.

Seuraavan tason tarkastelu biomassapotentiaaleista täytyy tehdä biojalostamon kokonaistoimintaedellytysten perusteella. Seuraavaksi olisikin luonnollista tehdä biojalostamolle Feasibility Study –tasoinen selvitys (toteutettavuustutkimus), joka antaa vastaukset biojalostamon kannattavuudesta. Ilman tämän biomassapotentiaalisen selvitystyön tuloksia kannattavuuden arviointi olisi lähes mahdotonta. Biomassapotentiaalisen selvitystyön

tuloksia voidaan hyödyntää myös rahoitusneuvotteluissa ja yhteistyökumppaneiden hankinnassa.



## Lähteet

Alakangas E., Hurskainen M., Laatikainen-Luntama J. ja Korhonen J. (2016). Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. 229 s. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. ISSN 2242-122X. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8419-2> [viitattu: 29.12.2016]

Asplund D., Helynen S. ja Korppi-Tommola, J. (2005). Uusiutuvan energian lisäysmahdollisuudet vuoteen 2015. Jyväskylän teknologiakeskus, Jyväskylän yliopisto ja VTT Prosessit. 48

Bioenergiapörssi (2017). Puu polttoaineena. <http://www.bioenergiaporssi.fi/k%C3%A4sitteet-ja-laskurit/puu-polttoaineena>. [viitattu: 04.01.2017]

Chempolis Oy (2016). Cellulosic ethanol technology – formicobio™. <http://www.chempolis.com/products-services/formicobio/> [viitattu: 29.12.2016]

Heikkinen H., Oulun Energia Oy. Sähköpostiviesti. 26.5.2016. Vastaanottaja: Riikka Särkelä

Hyvönen N. (2015). Atmospheric impact of bioenergy based on reed canary grass cultivation on organic soil. Dissertation in Forestry and Natural Sciences No 196. Publication of the University of Eastern Finland. ISBN: 978-952-61-1957-1 ISBN: 978-952-61-1958-8 (PDF). Saatavissa: [http://epublications.uef.fi/pub/urn\\_isbn\\_978-952-61-1958-8/urn\\_isbn\\_978-952-61-1958-8.pdf](http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-1958-8/urn_isbn_978-952-61-1958-8.pdf).

Joensuu I., Myllyviita T., Vilppo T. ja Huttunen M. (2014). Järeästi järviruo'osta pohjamutia myöten. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 46. <http://www.syke.fi/download/noname/%7B27A464A1-9FA4-4B5A-8869-43BC64247CB6%7D/105993>. [viitattu: 04.01.2017]

Kainuun Etu Oy (2010). Kainuun biomassaterminaaliverkostohankkeen toteutettavuusselvitys. Kirjastot.fi, 2009. Kysymys: Kuinka monta litraa on yksi kilo purua. Saatavissa: <http://www2.kirjastot.fi/kysy/arkistohaku/kysymys/?ID=33d435b4-04c5-4f98-8974-78770ad55f5a>. [viitattu: 04.01.2017]

Kontturi H. (2014). Oljen hyödyntäminen energiantuotannossa Varsinais-Suomen alueella. Oulun yliopisto- Centre for Environment and Energy.

Korhonen K., Ihalainen A., Packalen T., Salminen O., Hirvelä H. ja Härkönen K. (2015). Etelä-Savon metsien tila ja hakkuumahdollisuudet. Luonnonvarakeskus. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201603218853>. [viitattu: 03.01.2017]

Korhonen K., Ihalainen A., Packalen T., Salminen O., Hirvelä H. ja Härkönen K. (2015). Hämeen metsävarat ja hakkuumahdollisuudet. Luonnonvarakeskus. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201603218855>. [viitattu: 03.01.2017]

Korhonen K., Ihalainen A., Packalen T., Salminen O., Hirvelä H. ja Härkönen K. (2015). Uudenmaan metsävarat ja hakkuumahdollisuudet. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2015100514657>. [viitattu: 03.01.2017]

Laine R. ja Sahrman K. (1985). Puupolttoaineiden ominaisuudet ja hinnoitteluperusteet. VTT. Research Notes 513

Luonnonvarakeskus (Luke) (2016). Energiapuun hinta neljännesvuosittain. Saatavissa: [http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE\\_04%20Metsa\\_04%20Talous\\_04%20Energiapuun%20kauppa/01\\_Energiapuun\\_hinta\\_neljanv.px/table/tableViewLayout1/?rxid=001bc7da-70f4-47c4-a6c2-c9100d8b50db](http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_04%20Metsa_04%20Talous_04%20Energiapuun%20kauppa/01_Energiapuun_hinta_neljanv.px/table/tableViewLayout1/?rxid=001bc7da-70f4-47c4-a6c2-c9100d8b50db). [viitattu: 30.12.2016]

Luonnonvarakeskus (Luke) (2016). Puun energiakäyttö. Saatavissa: [http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE\\_04%20Metsa\\_04%20Talous\\_10%20Puun%20energiakaytto/?tablelist=true&rxid=001bc7da-70f4-47c4-a6c2-c9100d8b50db](http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_04%20Metsa_04%20Talous_10%20Puun%20energiakaytto/?tablelist=true&rxid=001bc7da-70f4-47c4-a6c2-c9100d8b50db). [viitattu 30.12.2016]

Maaseutuvirasto (2015). Ympäristökorvauksen sitomusehdot muutoksin. Saatavilla: <http://maaseutuvirasto.mobiezone.fi/zine/304/pdf>. [viitattu 29.12.2016]

Metsäkeskus (2014). Energiapuu. Saatavilla: <http://www.metsakeskus.fi/energiapuu#.V0fkJZGLTIU>. [viitattu: 29.12.2016]

Metsäkustannus Oy (2016a). Puunhinta: Keski-Suomi. Saatavissa: <https://www.metsalehti.fi/puunhinta/puunhinta/>. [viitattu: 28.12.2016]

Metsäkustannus Oy (2016a). Puunhinta: Etelä-Suomi. Saatavissa: <https://www.metsalehti.fi/puunhinta/puunhinta/>. [viitattu: 28.12.2016]

Metsäkustannus Oy (2016a). Puunhinta: Kymi-Savo. Saatavissa: <https://www.metsalehti.fi/puunhinta/puunhinta/>. [viitattu: 28.12.2016]

Metsäkustannus Oy (2016b). Metsäpohjaisen energian hinta käyttöpaikalla, €/MWh. Saatavissa: <https://www.metsalehti.fi/puunhinta/metsaenergian-kayttopaikkahinnat/> [viitattu: 29.12.2016]

Myllylä, M. & Myllylä, K., 2012. Logibio – Pohjanmaan biojalostamon raaka-aineselvitys, loppuraportti. Ylivieskan seutukunta.

Mäkinen T., Soimakallio S., Paappanen T., Pahkala K. & Mikkola H. (2006). Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasviuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit. VTT Tiedotteita 2357. ISBN: 951-38-6826-5. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2357.pdf>. [viitattu: 28.12.2016]

Pahkala K., Isoaho M., Partala A., Suokannas A., Kirkkari A-M., Peltone, M., Sahramaa M., Lindh T., Paappanen T., Kalli, E. ja Flyktman M. (2005). Ruokohelven viljely ja korjuu energian tuotantoa varten. 2. korjattu painos. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. ISBN: 951-729-942-7 (Painettu) ISBN: 951-729-943-5 (Verkkajulkaisu). Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/4243/Ruokohelven\\_viljely\\_ja\\_korjuu\\_energian\\_tuotantoa\\_varten.pdf](http://www.motiva.fi/files/4243/Ruokohelven_viljely_ja_korjuu_energian_tuotantoa_varten.pdf) [viitattu 02.01.2017]

Palva R. (2015). Konetyön kustannukset ja tilastolliset urakointihinnat. Työteho-seuran tiedote, Maataloustyö ja tuottavuus 3/2015. Saatavissa: <http://www.tts-nyt.fi/images/julkaisut/tiedostot/mati661.pdf>. [viitattu: 02.01.2016]

Partala A. & Turtola E. (2000). Biomassanurmi estää tehokkaasti typen huuhtoutumista. Koetoiminta ja käytäntö, 57. vuosikerta, nro 6, s. 6. Saatavissa: <http://www.mtt.fi/koetoiminta/pdf/mtt-kjak-v57n6s06a.pdf>. [viitattu: 02.01.2017]

Pohjois-Suomen aluehallintovirasto (2014). St1 Biofuels Oy:n bioetanolitehtaan ympäristölupa ja toiminnanaloittamislupa, Kajaani. Lupapäätös Nro 16/2014/1

Ratila A. (2014). Hakkeen kuivaaminen osana lämpöyrittäjäyttä. Forest Energy 2020 vuosiseminaari. Jyväskylä, 8.10.2014. VTT. Saatavissa: <http://www.forestenergy2020.org/openfile/257>. [viitattu 04.01.2016]

Ruokatieto (2016). Rypsi ja muut öljykasvit. Verkkodokumentti. Saatavissa: <http://www.ruokatieto.fi/ruokakasvatus/ruokaketju-ruuan-matka-pelloilta-poytaan/maatila/peltokasvit/rypsi-ja-muut-oljykasvit>. [viitattu: 02.01.2016]

Salminen O., Korhonen K., Ihalainen A., Hirvelä H., Härkönen K ja Packalen T. (2015). Kaakkois-Suomen (Etelä-Karjala ja Kymenlaakso) metsävarat ja hakkuumahdollisuudet. Luonnonvarakeskus. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201601223562>. [viitattu: 04.01.2017]

Salminen O., Korhonen K., Ihalainen A., Hirvelä H., Härkönen K ja Packalen T. (2015). Keski-Suomen metsien tila ja hakkuumahdollisuudet. Luonnonvarakeskus. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201601223556>. [viitattu: 04.01.2017]

Salminen O., Korhonen K., Ihalainen A., Hirvelä H., Härkönen K ja Packalen T. (2015). Pirkanmaan metsävarat ja hakkuumahdollisuudet. Luonnonvarakeskus. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201601223553>. [viitattu: 04.01.2017]

Sankari T., Tuukkanen K., Imppola R., Hokajärvi R., & Aalto M. (2013). Pohjois-Pohjanmaan pelletöintipotentiaalin arviointitutkimus. EkoPelletti T&K-hanke. Oulun seudun ammattikorkeakoulu, Luonnonvara-alan yksikkö.

Sipi, Marketta (2002). Puutuoteteollisuus 5 Sahatavaratuotanto. 2. täydennetty painos. Helsinki: Opetushallitus. 213 s. ISBN 952-13-1309-9.

Strandström M. (2015). Puun korjuu ja kaukokuljetus vuonna 2015. Tuloskalvosarja 4a/2016. Metsäteho Oy. Saatavissa: [http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja\\_2016\\_04a\\_Puunkorjuu\\_ja\\_kaukokuljetus\\_vuonna\\_2015.pdf](http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja_2016_04a_Puunkorjuu_ja_kaukokuljetus_vuonna_2015.pdf). [viitattu: 03.01.2016]

Suomen Standardisoimisliitto SFS (2002). SI-opas. 32s. <http://web.archive.org/web/20120831234747/http://www.sfs.fi/files/70/si-opas.pdf>. [viitattu: 02.01.2016]

Varis O. (2014). Polttohakkeen tuotantokustannukset. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Energiatekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/78771/Varis\\_Otto.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/78771/Varis_Otto.pdf?sequence=1). [viitattu 04.01.2016]