

**Rypsimetyyliesterin tuotantopotentiaali, energiataseet
ja kannattavuuslaskelma maatilamittakaavaiselle
valmistukselle**

Pro gradu-tutkielma

Jyväskylän yliopisto

Kemian laitos

Uusiutuvan energian koulutusohjelma

1.7.2007

Sanna Tuukkanen

TIIVISTELMÄ

Euroopan Unioni velvoittaa jäsenmaitaan vuoteen 2010 mennessä käyttämään biopolttoaineita 5,75 %, energiasisällöstä laskettuna, kaikesta tieliikenteen käyttöön tarkoitusta bensiinistä tai dieselöljystä. Biopolttoaineet ovatkin kasvattaneet suosiotaan Euroopan Unionin jäsenmaissa.

Biodiesel on yleisnimitys uusiutuvista luonnonrasvoista vaihtoesteröimällä valmistetulle dieselpolttoaineelle, jota voidaan käyttää sellaisenaan tai sekoittaa eri suhteissa perinteiseen dieselöljyyn. RME-biodieselin maatilamittakaavaisessa valmistuksessa rypsin siemen aluksi puristetaan mekaanisesti ruuvipuristimella, jolloin syntyy raakarypsiöljyä ja valkuaispitoiseksi eläin rehuksi kelpaavaa rypsirouhetta. RME:tä rypsiöljystä saadaan vaihtoesteröimällä öljy metanolilla katalyyttiä käyttäen. Sivutuotteena syntyy vahamaista glyserolia.

Rypsin rouheesta ja glyserolista saatavat substituutiohyödyt huomioiden saadaan perinteisellä viljelytavalla tuotetusta rypsistä valmistetun biodieselin energiapanokseksi tuotteen energiasisältöä kohden noin 48,5 %. Suorakylvöllä tuotetusta rypsistä valmistetun biodieselin energiapanos on noin 36 %, eli biodieselin valmistus kuluttaa vain noin 36 % biodieselin antamasta energiasta. Seuraavana vuonna kun biodiesel voidaan valmistaa rypsistä, joka on viljelty biodieselillä, energiapanos kääntyy negatiiviseksi eli biodieselin valmistus kuluttaa vähemmän energiaa kuin mitä sen sivutuotteena saatavat rehurouhe ja glyseroli antavat.

Biodieselin kustannukseksi ilman korresta tai rypsirehusta saatavia kustannushyötyjä tulee suorakylvömenetelmää käyttäen 319 €/t eli 0,281 €/l. Perinteistä kylvötapaa käyttäen biodieseltonni maksaa 664 €/t eli litralle hintaa tulee 0,584 €/l. Biodieselin sivutuotteena syntyvä rehurouhe antaa maanviljelijälle erinomaisen kustannusedun, samoin kuin korsi, mikäli maatilalla on mahdollista säilyttää ja polttaa kortta. Suorakylvetyyn rypsin sivutuotteiden antama kustannushyöty biodiesellitraa kohden on 0,491 €/l ja perinteistä kylvötapaa käyttäen 0,551 €/l. Seuraavana vuonna kun rypsin viljely voidaan hoitaa biodieselillä, tulee biodiesellitran hinnaksi 0,305€/l ilman rouheesta glyserolista ja korresta saatavia kustannushyötyjä.

ESIPUHE

Tämän mielenkiintoisen lopputyön aihe juontaa juurensa biodieseliin kohdistuvasta kasvavasta mielenkiinnosta. Työn tarkastajana ja ohjaajana toimi Professori Jouko Korppi-Tommola sekä toisena tarkastajana Margareta Wihersaari, joille haluankin esittää kiitokseni.

Työ on suoritettu Jyväskylän Yliopiston Uusiutuvan energian koulutusohjelmalle ja haluankin esittää lämpimät kiitokset Professori Jouko Korppi-Tommolalle aiheesta, joka mahdollisti työn toteutuksen etätyöskentelynä. Työn laskennallinen ja kirjallinen osuus onkin tehty Kokkolassa kevään 2007 kuluessa.

Haluan myös muistaa opiskelukavereitani kiitoksin, sillä te loitte yhteistyöllä sen kannustavan ilmapiirin, jonka avulla on jaksettu monen tentin ja laskarin yli.

Lopuksi esitän vielä suurimmat ja rakkaimmat kiitokset aviopuolisolleni Tonylle siitä ymmärryksestä ja tuesta, jota olen koko opiskeluajan saanut kokea sekä kiitokset pojallenne Aleksille, siitä että olet oma kultainen itsesi.

Kokkolassa 1.7.2007

Sanna Tuukkanen

SISÄLLYSLUETTELO

Tiivistelmä	i
Esipuhe	ii
Sisällysluettelo	iii
1. Johdanto	1
2. Biodiesel.....	3
2.1. Rypsi metyyliesteri, RME	4
2.1.1 Valmistus	4
2.1.2 Mekaaninen puristus	5
2.1.3 Vaihtoesteröinti	5
2.2.4 Ominaisuudet	8
2.3 NExBTL	10
2.3.1 Ominaisuudet	10
2.3.2 Tuotanto	10
2.4 RME- ja NExBTL-biodieselin ominaisuuksien vertailua	11
3. Eu:n biopolttoainetavoitteet	13
4. Suomen biopolttoainetavoitteet.....	14
4.1 Rypsin viljely	14
4.2 Biodieselin verotus.....	14
4.3 Biodieselin käytön edistäminen Suomessa	15
5. Biodieselin raaka-aine rypsi.....	17
5.1 Tuotantopotentiaali	17
5.1.1 Pohjanmaan tuotantopotentiaali	18
5.1.2 Keski-Pohjanmaan maakunnan biodieselpotentiaali	18
5.2 Rypsin viljely	20
5.2.1 Pellon muokkaus	21
5.2.2 Kylvö ja lannoitus	21
5.2.3 Kasvinsuojelu.....	21
5.2.4 Kalkitus	22
5.2.5 Sadonkorjuu	22
5.2.6 Kuivaus	22
5.2.7 Suorakylvö	23
6. Pienimuotoinen biodieselin valmistus	24

6.1 Maatilanmittakaavan laitteistot	26
6.1.1 Puristin	26
6.1.2 Esteröintilaitteisto	27
7. Energiatase-laskelmat.....	28
7.1 Tarkastelun rajaukset	28
7.1.1 Primäärienergian laskennassa käytetyt parametrit.....	29
7.2 RME-biodiesel	31
7.3 Puriste rouhe	33
7.4 Glyserolin käyttö.....	33
7.5 Korren käyttö	34
7.6 Energiataseen laskemisessa käytetyt kaavat	35
7.6.1 Viljelyssä käytetyn energian laskukaavat	35
7.6.2 Primäärienergian laskukaavat	36
7.7 Energiataseen tulokset.....	42
7.7.1 Rypsin viljely mineraalidieseliä käyttäen	43
7.7.2 Biodieselin valmistus mineraalidieselillä viljelystä rypsistä	46
7.7.3 Rypsin viljely biodieseliä käyttäen	48
7.7.4 Biodieselin valmistus biodieselillä viljelystä rypsistä	52
8. Kustannuslaskenta.....	56
8.1 Kustannuslaskennan rajaukset	57
8.3 Kustannukset.....	59
9. Vertailukohde: biodieselin asema Saksassa	62
9.1 Saksalainen energiataaselaskelma	63
10. Vertailukohde: biodieselin asema Ruotsissa.....	66
10.1 Ruotsalainen energiataaselaskelma.....	67
11. Vertailukohde: biodieselin asema Yhdysvalloissa.....	69
11.1 Yhdysvaltalainen energiataaselaskelma.....	69
12. Tulevaisuuden näkymät	73
12.1 Työllisyysnäkymät	74
12.2 Esteet biodieselin matkassa.....	74
13. Yhteenveto	76
Lähteet.....	81

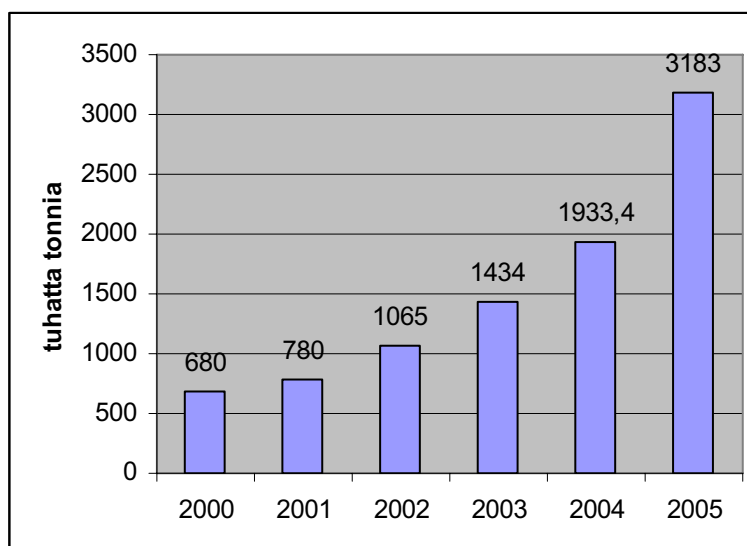
1. JOHDANTO

Biopolttoaineisiin ja etenkin biodieseliin kohdistuu koko ajan kasvava mielenkiinto ja niiden käyttömahdollisuuksia ja valmistuskeinoja onkin tutkittu jo pitkään. Ehtyvät öljyvarannot ja niiden kallis poraushinta ovat saaneet tutkijat pohtimaan vaihtoehtoisia menetelmiä liikenteen polttoaineiksi. Itä-Aasian autokannan kasvu on saanut öljynkulutuksen kasvamaan entisestään ja näin lisäämään öljyn hinnan nousupaineita.

Biopolttoaineilla haetaan myös energiaomavaraisuuden kasvattamista, mikä on Euroopan Unionin energiapolitiikan keskeisimpiä tavoitteita. Euroopan Unionin vuonna 2000 julkaisema vihreä kirja pitää lähtökohtana, että ilman toimenpiteitä EU:n riippuvuus tuontienergiasta saattaa kasvaa seuraavien 20-30 vuoden aikana 50 prosentista 70 prosenttiin. Vihreä kirja asettaakin tavoitteeksi vaihtoehtoisten polttoaineiden osuuden olevan 20 % vuonna 2020 kaikesta tieliikenteen polttoaineen kulutuksesta. Näistä on esitetty, että noin 8 % olisi biopolttoaineita ja loput maakaasua ja vetyä.

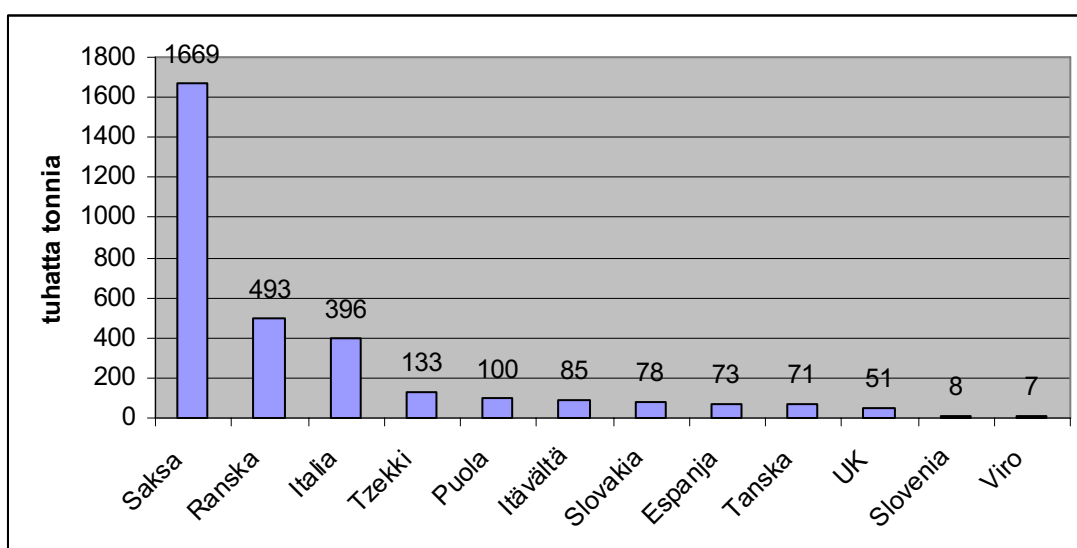
Biopolttoaineiden valmistuksen edistämisellä halutaan tukea myös maaseudun monimuotoisuutta. Ruuantuotannon vähetessä Suomessa, biopolttoaineiden raaka-aineiden viljely lisää maaseudun yleistä elinvoimaisuutta ja biopolttoaineiden valmistus lisää työllisyyttä. Liikenteen biopolttoaineiden laajamittaisella käytöllä halutaan samalla ehkäistä ilmaston lämpenemistä kasvihuonepäästöjä vähentämällä. Kasvihuonepäästöjen säästöpotentiaali on kuitenkin huomattavissa määrin polttoainekohtainen ja siihen vaikuttaa suuresti käytettyjen raaka-aineiden tuotantotapa ja jalostusmenetelmät.

Euroopan Unioni on maailman suurin biodieselin tuottaja.¹ Sen alueella tuotetaan ja käytetään noin 90 % maailman biodieselistä. Vuonna 2005 tuotantomäärä Euroopan unionin alueella oli n. 3,2 miljoonaa tonnia (Kuva 1).² Yhdysvalloissa biodieseliä tuotettiin vuonna 2005 noin 250 000 tonnia.³ Biodieselin kasvavasta suosiosta kertoo myös se, että sen tuotantomäärän oletetaan nousevan yksistään Euroopan Unionin alueella noin 4,5 miljoonaan tonniin vuonna 2008.



Kuva 1. Biodieselin valmistus Euroopan Unionissa vuosina 2000-2005.²

Uusia tuotantolaitoksia suunnitellaan perustettavaksi myös Suomessa. Neste Oil on aloittamassa NExBTL-biodieselin valmistuksen Porvoossa ja Asikkalaan kaavaillan kapasiteetiltaan noin 7 miljoonan litran RME-laitosta. Myös maanviljelijöiden kiinnostus tilakohtaiseen valmistukseen on kasvamassa tietoisuuden lisääntyessä. Suomen nykyinen biodieseltuotanto on kuitenkin vasta lapsenkengissä verrattuna muihin Euroopan Unionin jäsenmaihin. Tällä hetkellä suurimpia biodieselin tuottajia ja käyttäjiä EU:ssa ovat Saksa, Ranska ja Italia, kuten kuvasta kaksi huomataan.² Myös Ruotsissa vuoden 2005 n. 6000 m³/a tuotantokapasiteetti on kasvanut viimevuonna huomattavasti. Ruotsalainen Svenska EcoBränsle on rakentanut RME-tehtaan Karlshamniin, jonka tuotantokapasiteetti on noin 40 000 m³/a.⁴



Kuva 2. EU:n biodieseltuotanto määrät vuonna 2005 maittain.²

2. BIODIESEL

Biodiesel on yleisnimitys uusiutuvista luonnonrasvoista vaihtoesteröimällä valmistetulle dieselpolttoaineelle, jota voidaan sellaisenaan käyttää uusimmissa dieselmootoreissa tai lämmityslaitteissa. Biodieseliä voidaan myös sekoittaa eri suhteissa perinteiseen dieselöljyyn.

Biodieselit voidaan jaotella ensimmäisen tai toisen sukupolven biodieseleihin niiden ominaisuuksien, raaka-aineen ja valmistustavan mukaan. RME-biodieseliä on perinteisesti kutsuttu ensimmäisen sukupolven biodieseliksi, kun taas esimerkiksi Neste Oil Oy:n valmistama NExBTL-biodiesel on ns. toisen sukupolven biodiesel.⁵ Fischer-Tropisch-dieselit (F-T-dieselit) ovat myös ns. toisen sukupolven biodieseleitä. Tässä työssä tarkastellaan lähinnä RME-biodieseliä.

Biodieselin raaka-aineena voidaan käyttää lähes minkä tahansa öljykasvin öljyä tai eläinrasvoja, kuin myös käytettyjä paistinrasvoja. Maailmanlaajuisesti suosituimpia biodieselin raaka-aineita ovat palmu-, soija-, auringonkukka- ja kookosöljyt. Suomessa suosituimpia biodieselin raaka-aineita ovat rypsi ja rapsi. Biodieseliä on myös mahdollista valmistaa selluteollisuuden sivutuotteena syntyvästä mäntyöljystä tai kalarasvoista. Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT tutkii ns. toisen sukupolven biodieselin valmistamista ruokohelvestä ja metsätähteistä. Tällä hetkellä VTT valmistaa kaasutuskoelaitteistolla biodieseliä Fischer-Tropisch-menetelmällä Espoossa, jalostamalla biomassoista synteesikaasua dieselpolttoaineiden valmistukseen.⁶ Yleisenä sääntönä biodieselin raaka-aineen valinnassa voidaan pitää sitä, että biodieselin kylmänkestävyys on samankaltainen sen raaka-aineen kasvuolosuhteisiin nähden. Tosin kylmäkestävyyttä saadaan lisättyä samankaltaisia lisäaineita käyttämällä kuin mineraalidieseliinkin.

Biodieselin historia yltää itse asiassa kauemmaksi kuin mineraaliöljystä valmistetun dieselin. Ja sen valmistuksessa käytetyn vaihtoesteröinnin tiedetään olevan jo yli 150 vuotta vanha menetelmä saippuan valmistamiseksi. Kun Rudolph Diesel vuonna 1889 Pariisin maailmannäyttelyssä esitteli ensimmäisen kerran puristussytytteisen polttomoottorinsa se toimi maapähkinäöljyllä.⁷ Kasviöljyjä käytettiinkin aina 1920-luvulle asti dieselmootoreiden polttoaineena, kunnes mineraalidiesel syrjäytti ne.

Biodiesel soveltuu, diesel ajoneuvojen polttoainekäytön lisäksi, myös ernomaisesti käytettäväksi polttoaineena lämmityskattiloissa. Käytettäessä biodieseliä ei kattilaa tarvitse vaihtaa, ainoastaan sen palopää saatetaan joutua vaihtamaan biodieseliä kestäväään malliin. Eurooppalaisen biodiesel standardin EN14214 myötä useat ajoneuvojen valmistajat ovat sallineet 100 % biodieselin käytön dieselmoottoreissa. Useimmiten biodieseliä kuitenkin käytetään dieselajoneuvojen polttoaineena mineraalidieseliin sekoitettuna. Myös maatalouden työkoneissa biodiesel toimii hyvin energianlähteenä.

2.1. Rypsi metyyliesteri, RME

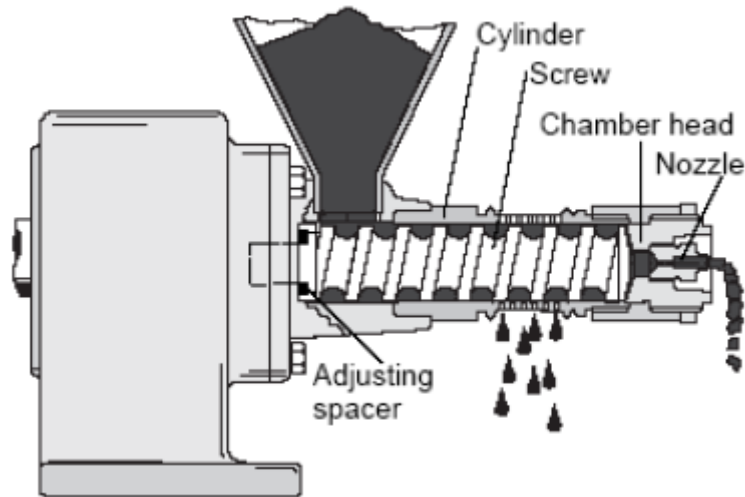
Kasviöljyt kuten rypsi- ja rapsiöljyt eivät sellaisenaan sovellu dieselajoneuvojen polttoaineeksi vaan niitä on käsiteltävä viskositeetin sekä kylmäominaisuuksien parantamiseksi. Kasviöljyistä vaihtoesteröimällä valmistettavat rasvahappojen metyyliesterit (fatty acid methyl esters- FAME) eli ns. biodieselit soveltuvat käytettäväksi autojen polttoaineena. Vaihtoesteröinti pienentää molekyylien kokoa ja molekyylipainoa, jolloin myös viskositeetti pienenee. Rypsiöljystä metaanilla esteröityä rasvahappoa kutsutaan rypsimetyyliesteriksi (RME) eli RME-biodieseliksi. Rypsiöljy sisältää 50 % hyvin stabiileja öljyhappoja, joten se soveltuu erittäin hyvin biodieselin raaka-aineeksi.⁸ Stabiilien öljyhappojen määrä myös parantaa biodieselin säilyvyyttä.

2.1.1 Valmistus

RME-biodieselin valmistuksessa rypsin siemen aluksi puristetaan mekaanisesti, jolloin syntyy raakarypsiöljyä ja valkuaispitoiseksi eläin rehuksi kelpaavaa rypsirouhetta. Mikäli käytetään kuumapuristusta, saadaan hiukan kylmäpuristusta parempi öljyn saanti, jota voidaan lisätä myös uuttamalla rypsirouhe heksaanilla. RME:tä rypsiöljystä saadaan vaihtoesteröimällä öljy metanolilla, katalyyttiä käyttäen. Sivutuotteena syntyy vahamaista glyserolia.

2.1.2 Mekaaninen puristus

Rypsin siemen puristetaan öljyksi ruuvipuristimella, jonka toimintaperiaate on esitetty kuvassa kolme.



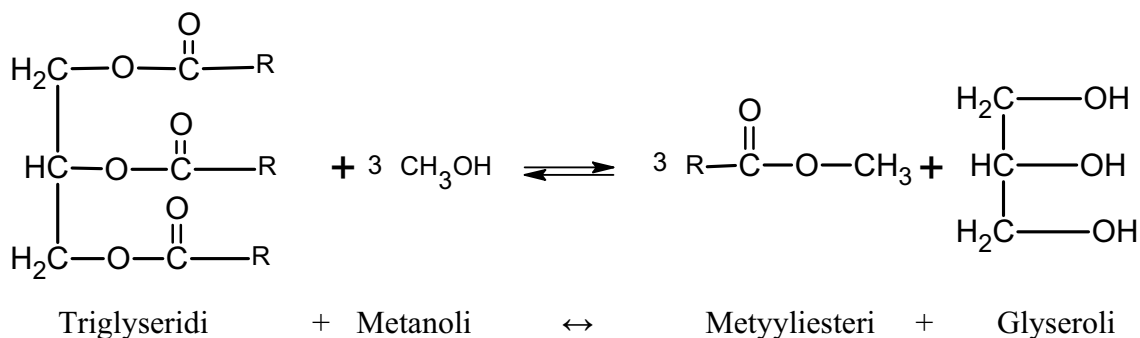
Kuva 3. Ruuvipuristimen leikkauskuva.⁴⁹

Rypsin siemenistä saadaan puristettua maatilakokoluokan puristimella biodieselin raaka-aineeksi soveltuvaa rypsiöljyä keskimäärin noin 25-32 %. Öljysaantoon vaikuttaa rypsin siemenen öljypitoisuus joka on 43,6-47,4 %. Puristus voidaan tehdä joko kylmä- tai kuumapuristuksena. Puristimen esilämmittimellä öljysaanto paranee noin 5-10 %. Öljyn saantoon voidaan vaikuttaa myös rajoittamalla siementen määrää puristimessa. Öljysaanto saadaan paranemaan käyttämällä taajuusmuuntajakäyttöistä spiraalikuljetinta, joka rajoittaa puristimelle menevää siemenmäärää, tai vastaavasti painovoimaisessa siementen syötössä rajoitus voidaan hoitaa pienentämällä syöttöputkea. Näin saadaan läpimenoaika pidennettyä ja samalla öljylle jää enemmän aikaa puristua ulos massasta. Rypsin siemenet voidaan myös vaihtoehtoisesti puristaa kahteen kertaan jolloin öljysaanto paranee.⁴⁵ Ensimmäisellä puristuskerralla öljysaanto on noin 20-22 % ja toisella puristuskerralla rypsimassasta saadaan öljyä irtoamaan noin 10 %.

2.1.3 Vaihtoesteröinti

Esteröinnissä hapon ja alkoholin reagoidessa syntyy tasapainoreaktiolla esterä ja vettä. Biodieselin valmistuksessa, vaihtoesteröinnissä eli transesteröinnissä, happo ei ole va-

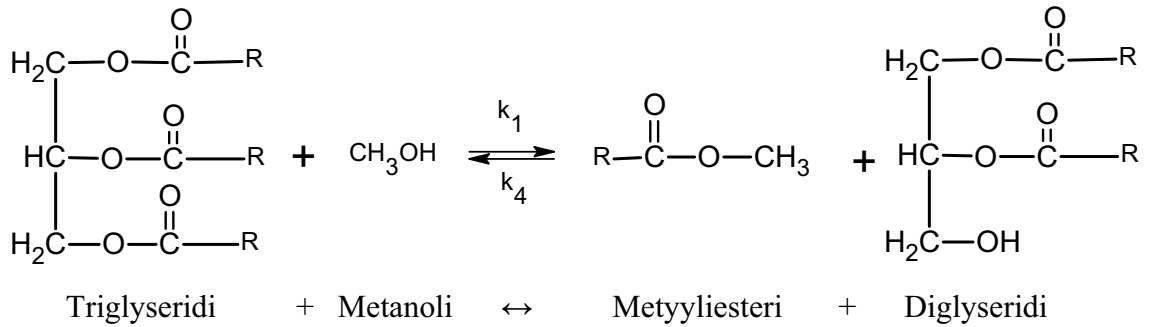
paa happo vaan glyseroliin esterisidoksella sitoutunut rasvahappoketju. Näin ollen kun glyseroliin sitoutunut rasvahappoketju reagoi alkoholin kanssa, katalyytin läsnä ollessa, ei sivutuotteena synny vettä, vaan glyserolia sekä päätuotetta eli esteriä. Esterin ja alkoholin reaktiosta käytettävä täsmällisempi termi olisi alkoholyysi, mutta tässä työssä reaktiosta käytetään nimitystä vaihtoesteröinti tai esteröinti. Mikäli rasvahapon vaihtoesteröinnin alkoholina käytetään metanolia, saadaan tuotteeksi rasvahapon metyyliesteriä.



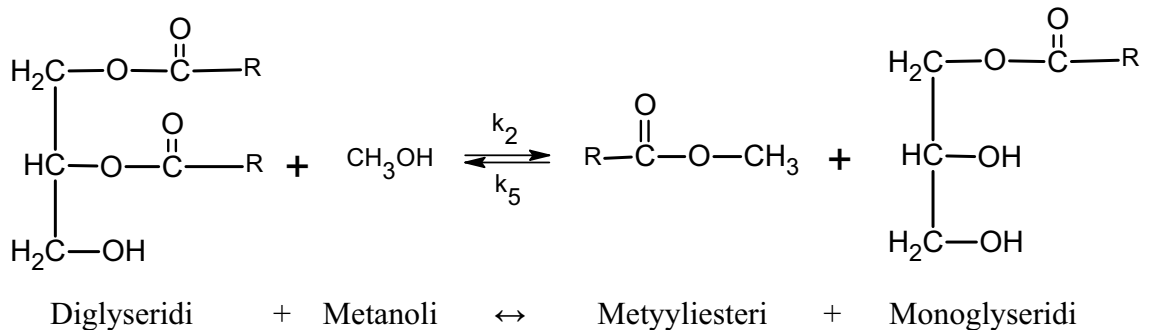
Kuva 4. Vaihtoesteröinnin kokonaisreaktioyhtälö.

Kuvan neljä stoikiometrisessä reaktioyhtälössä triglyseridin yhtenäinen rasvahapporunko korvautuu kolmella alkoholin alkyyliryhmällä jolloin saadaan kolme moolia rasvahapon metyyliesteriä ja yksi mooli glyserolia. Reaktion osareaktiot on esitetty kuvassa viisi. Metyyliesterimolekyylin molekyylipaino on noin kolmasosa triglyseridimolekyylin molekyylimassasta ja viskositeetti noin kymmenesosa rypsiöljyn viskositeetistä.⁸

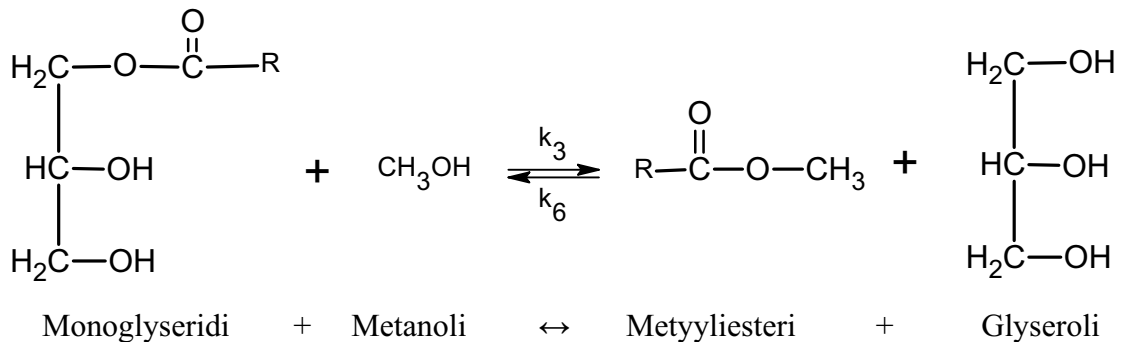
1)



2)



3)



Kuva 5. Vaihtoesteröinnin osareaktiot.

Rypsiöljyn vaihtoesteröintireaktio tapahtuu kolmena reversiibelinä reaktiona. Ensimmäisessä vaiheessa triglyseridi hajoaa diglyseridiksi, jonka jälkeen monoglyseridiksi ja edelleen glyseroliksi. Metyyliesteriä muodostuu kaikissa kolmessa vaiheessa. Näiden reaktioiden lisäksi tapahtuu useita sivureaktioita, jotka vaikuttavat metyyliesterin saantiin ja laatuun. Biodieselin esteröintireaktion kinetiikkaan vaikuttaa suuresti myös katalyytin konsentraatio, vapaiden rasvahappojen määrä, reaktiolämpötila sekä epäpuhtau-

det kuten vesi, joka saa aikaan saippuoitumisen.⁷ Rypsiöljystä konvertoituu aluksi nopeasti 80-90 % jonka jälkeen reaktio hidastuu ja lopulta saavuttaa tasapainon.

2.2.4 Ominaisuudet

Biodieselin kasvava suosio johtuu paljolti sen ympäristöystävällisistä ominaisuuksista. RME-biodiesel on täysin luonnossa hajoavaa, se ei sisällä toksisia yhdisteitä eikä se leimahda helposti. Se on täysin rikitöntä ja sitä voidaan sekoittaa mineraalidieseliin kaikissa suhteissa tai sitä voidaan käyttää sellaisenaan uusimmissa diesel ajoneuvoissa.

Suomen standardoimisliitto SFS on vahvistanut eurooppalaisen EN 14214 standardin laatuvaatimukset biodieselin ominaisuuksille. Standardissa, ”Moottoripolttonesteet. Rasvahappometyyliesterit dieselmootoreille. Vaatimukset ja koestusmenetelmät.”, SFS EN 14214, on myös esitetty kyseisten ominaisuuksien testaamiseen standardoidut menetelmät. Standardi on esitetty taulukossa yksi.

Taulukko 1. SFS EN 14214 standardin ominaisuus vaatimukset biodieselille⁹

Ominaisuus	Yksikkö	Minimi	Maksimi	Testimenetelmä
Esteripitoisuus	% (m/m)	96,5		EN14103
Tiheys	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675
Viskositeetti	mm ² /s	3,50	5,00	EN SIO 3104
Leimahduspiste	°C	120		prEN ISO 3679
Rikki­pitoisuus	mg/kg		10	prEN ISO 20846
Hiilijäännös	% (m/m)		0,30	EN ISO 10370
Setaaniluku		51		EN ISO 5165
Sulfonoidun tuhkan pitoisuus	% (m/m)		0,02	ISO 3987
Vesipitoisuus	mg/kg		500	EN ISO 12937
Kiinteiden epäpuhtauksien pitoisuus	mg/kg		24	EN 12662
Kuparikorroosiotesti	Luokitus	Luokka1		EN ISO 2160
Hapetuskestävyys	h	6,0		EN 14112
Happoluku	mgKOH/g		0,50	EN 14104
Jodiarvo	g jodia/100g		120	EN14111
Linoleenihapon metyyli­esteri	% (m/m)		12,0	EN 14103
Polytydyttymättömät metyyli­esterit (yli 4)	% (m/m)		1	
Metanolipitoisuus	% (m/m)		0,20	EN 14110
Monoglyseridipitoisuus	% (m/m)		0,80	EN 14105
Diglyseridipitoisuus	% (m/m)		0,20	EN 14105
Triglyseridipitoisuus	% (m/m)		0,20	EN 14105
Vapaa glyseroli	% (m/m)		0,02	EN 14105
Kokonaisglyseroli	% (m/m)		0,25	EN 14105
Alkalimetallit (Na+K)	mg/kg		5,0	EN 14108-14109
Maa-alkalimetallit (Ca+Mg)	mg/kg		5,0	prEN 14538
Fosforipitoisuus	mg/kg		10,0	EN 14107

2.3 NExBTL

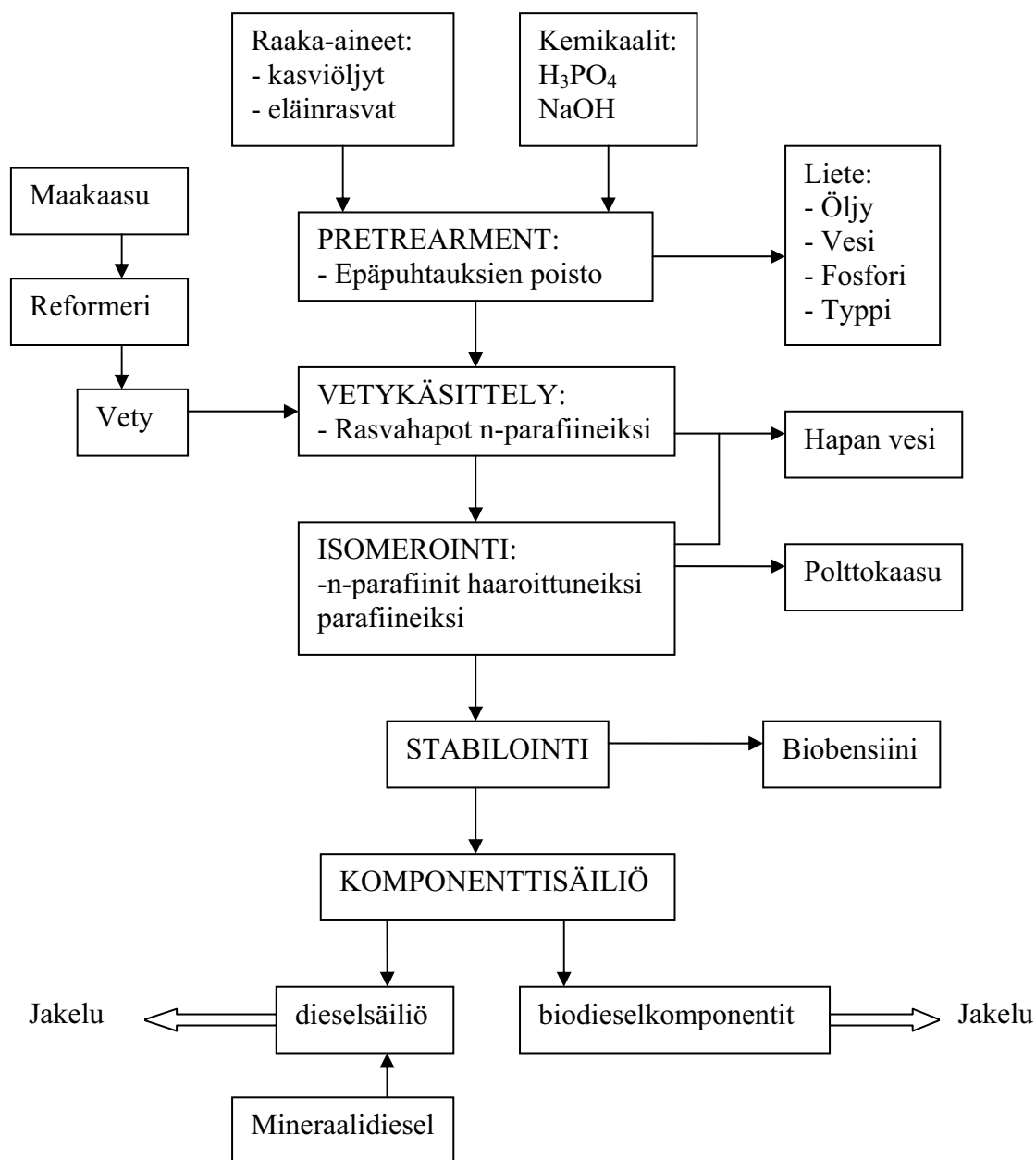
NExBTL on Neste Oil Oy kehittämä toisen sukupolven biodiesel, jota se alkaa valmistaa Porvoon tuotantolaitoksellaan. Ensimmäisen biodieseljalostamon on määrä aloittaa toimintansa kesällä 2007 ja sen oletettu tuotantokapasiteetti on noin 170 000 t vuodessa, mikä on noin 4 % Porvoon tuotantolaitoksen koko diesel tuotannosta. Toisen tehtaan on määrä valmistua vuoden 2008 lopulla. Raaka-aineena Neste Oil käyttää biodieselin valmistuksessa useita kasviöljyjä sekä eläin rasvoja.¹⁰ Raaka-aineeksi on myös kaavailtu käytettäväksi Malesiasta tuotavaa palmuöljyä sekä jätteperäisiä rasvoja. Raaka-ainetta Neste Oilin jalostamolla kuluu biodieselin valmistukseen vuosittain noin 200 000 tonnia.¹¹

2.3.1 Ominaisuudet

NExBTL on periaatteessa n- ja isoparafiinien seos, jota voidaan sekoittaa perinteisiin dieselpolttoaineisiin kaikissa suhteissa. NExBTL-biodiesel on rikitöntä sekä happi ja typpivapaata. Se ei sisällä aromaattisia yhdisteitä ja on täysin hajutonta. Sen setaaniluku on noin 90 ja tiheys $\sim 780 \text{ kg/m}^3$. Kylmänkestävyyttä voidaan säätää tuotannossa $-5 \dots -30 \text{ }^\circ\text{C}$. Polttoaineen voitelevuutta lisätään käyttämällä samoja voitelulisäaineanostuksia kuin nykyisissä rikittömissä dieselpolttoaineissa. NExBTL-biodieselin säilyvyys on hyvä ja tuotteen liukoisuus veteen on matala.⁵

2.3.2 Tuotanto

NExBTL-biodieselin tuotannossa raaka-aineet aluksi esikäsitellään epäpuhtauksien poistamiseksi (Kuva 6). Vetykäsittelyssä pitkät rasvahappoketjut muutetaan n-parafiineiksi. Rasvahappoketjujen vetykäsittelyssä vetyä kuluu noin $30 \text{ kg/t}_{\text{NExBTL}}$, joka tuotetaan maakaasusta. NExBTL valmistusprosessin isomerointi vaiheessa n-parafiinit saadaan haaroittumaan isoparafiineiksi. Vedyn lisäksi prosessissa kuluu pieniä määriä kemikalleja ja vettä. Sivutuotteena syntyy biobensiiniä ja polttoaasua sekä pieniä määriä lietettä, vettä ja hiilidioksidia.¹²



Kuva 6. NExBTL-biodieselin tuotantokaavio. (Mukailtu Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit¹⁴ tutkimuksesta.)

2.4 RME- ja NExBTL-biodieselin ominaisuuksien vertailua

Biodieselin ominaisuuksille asetettujen laatuvaatimusten osalta tilanne on Euroopan Unionissa hiukan epäselvä.¹³ Laatuvaatimuksista on annettu direktiivi 98/70/EY ja sen täydentävä osa 2003/17/EY. Suomessa direktiivi 98/70/EY on valtioneuvoston asetuksella 1271/2000 siirretty lainsäädäntöön. Direktiivi kuitenkin asettaa vaatimuksia vain terveyshaittojen pienentämisen osalta. Se ei esimerkiksi mitenkään puutu dieselin tär-

keisiin turvallisuutta ja käyttövarmuutta lisääviin ominaisuuksiin kuten voitelevuuteen tai leimahduspisteeseen. Lisäksi direktiivi koskee ainoastaan biodieselseoksia, joissa mineraaliöljyn osuus on yli 70 %.

Euroopan standardisoimisjärjestö on laatinut standardin EN 590 dieselpolttoaineille.¹⁴ Sen tarkoituksena on taata polttoaineen soveltuvuus ja tekninen suorituskyky ajoneuvo-käytössä. Auton valmistajat usein viittaavatkin takuuehdoissa biopolttoaineiden osalta näihin EN standardeihin. EN 590 standardi sallii vaihtoesteröinnillä tuotetun biodiesel käytön osana perinteistä dieselpolttoainetta, ilman erillistä merkintää, vain viiteen prosenttiin asti. Suuremmissa pitoisuuksissa polttoaineen nimessä on ilmoitettava biodieselin osuus. Jotkin jäsenmaat ovatkin jo sisällyttäneen standardeja omiin biodieseleitä koskeviin lakeihinsa.

Taulukko 2. Polttoaineiden ominaisuuksia, verrattuna Euroopan diesel standardiin EN 590⁵

Fuel Properties	RME	NExBTL	EN 590/2005
Density @ 15°C [kg/m ³]	≈885	775-785	≈835
Viscosity @40°C [mm ² /s]	≈4,5	2.9-3.5	≈3.5
Cetane number	≈51	84-99	≈53
Distillation vol 10 % [°C]	≈340	260-270	≈200
Distillation vol 90% [°C]	≈355	295-300	≈350
Claud point [°C]	≈-5	-5...-30	≈-5
Lower heating value [MJ/kg]	≈38	≈44	≈43
Lower heating value [MJ/liter]	≈34	≈34	≈36
Polyaromatics [wt%]	≈0	≈0	≈4
Oxygen [wt%]	≈11	≈0	≈0
Sulfur [mg/kg]	<10	≈0	<10

RME biodiesellitra ei täysin ole ekvivalentti mineraalidiesel litran kanssa.¹⁵ Yksi litra RME biodieseliä vastaa noin 0,92 l mineraalidieseliä. Biodiesel ja NExBTL sisältävät kuitenkin enemmän happea verrattuna tavalliseen dieseliin ja parantavat siten moottorin hyötysuhdetta, joten efektiivinen ero on pienempi. NExBTL litra puolestaan vastaa noin 0,94 l dieseliä. Sen setaaniluku on RME biodieseliä korkeampi, mikä sekin parantaa polttoprosessin hyötysuhdetta.

3. EU:N BIOPOLTTOAINETAVOITTEET

EU:n laatima biopolttoainedirektiivi¹⁶ 2003/30/EY edellyttää jäsenmaitaan edistämään biopolttoaineiden käyttöä dieselöljyn ja bensiinin korvaamiseksi liikenteen polttoaineina. Direktiivi asettaa tavoitteeksi 5,75 %, energiasisällöstä laskettuna, kaikesta tieliikenteen käyttöön tarkoitettusta bensiinistä tai dieselöljystä vuoteen 2010 mennessä. Direktiivi antaa kullekin jäsenvaltiolle vapauden valita, tuleeko biopolttoaineiden markkinaosuus saavutettua myymällä puhtaita biopolttoaineita vai sekoittamalla niitä tavanomaisiin polttoaineisiin. Direktiivi velvoittaa jäsenmaitaan raportoimaan vuosittain kansallisesta tavoitteiden saavuttamisesta ja tulevista tavoitearvoista.

Biodieselin verotuksesta on asetettu ns. energiaverodirektiivissä¹⁷ 2003/96/EY. Direktiivi määrittää sen alaisille energiatuotteille vähimmäisvalmisteveron jonka jäsenvaltioiden on kannettava. Direktiivissä lähtökohtana on, että myös biopohjaisista liikenteen polttoaineista on kannettava valmisteveroa saman verran kuin polttoaineesta jonka se korvaa. Eli dieselöljyn lisättävästä RME-biodieselistä on kannettava dieselöljyn valmistevero. Direktiivi kuitenkin sallii jäsenvaltioille mahdollisuuden myöntää biopohjaisille polttoaineille verottomuuden tai verohelpotuksia. Veroalennus ei kuitenkaan voi olla suurempi kuin biopolttoaineiden lisäkustannukset ovat verrattuina perinteisiin polttoaineisiin. Veroedun on myös oltava samanlainen, oli sitten biodiesel kotimaisesti tuotettua, tai ulkomailta tuotua.

Biodieselin valmistuksen ja käytön tukitoimenpiteet vaihtelevat eri jäsenmaiden välillä, mikä on osaltaan johtanut myös erilaisiin käyttöratkaisuihin.¹³ Erot tukitoimissa johtuvat lähinnä halusta tukea maataloutta sekä erilaisista ympäristönäkökohdista, kuten halusta vähentää tieliikenteen häkä- ja hiilidioksidipäästöjä. Osaltaan myös työpaikkojen luominen on ollut ajavana voimana tukitoimia mietittäessä.

4. SUOMEN BIOPOLTTOAINETAVOITTEET

4.1 Rypsin viljely

Suomen valtio tukee rypsin viljelyä energiakasviksi maksamalla tuottajille ns. energiakasvitukea, joka vuonna 2006 oli 45 €/ha.^{3,18} Maanviljelijöillä on mahdollisuus viljellä rypsiä tai rapsia, myös omiin tarpeisiinsa, kuivurin lämmitysöljyn tai traktorin dieselöljyn valmistukseen joko velvoitekesantopalkkiojärjestelmän alaisilla pelloilla tai tekemällä energiakasvitukihakemuksen.¹⁹ Velvoitekesantopeltojen käyttö biodieselin raaka-aineen viljelyyn velvoittaa ns. non food-sitoumuksen tekemistä kunnalle. Non food-sopimuksen alaisilla kesantopelloilla viljelty öljykasvi on käytettävä ja jalostettava omalla tilalla. Sitä ei siis saa kuljettaa pois tilalta edes puristettavaksi vaan puristuslaitteisto on hankittava tilalle. Samoin kaikki tuotettu energia on käytettävä tilalla ja sen on vastattava tilan energiatarpeita. Tilan omiin tarpeisiin kesantopelloilla tuotettu energia-sato on säilytettävä erillään tilan mahdollisista muista energiakasveista ja se on myös merkittävä tunnistettavaksi.

4.2 Biodieselin verotus

Tällä hetkellä biodieseliä verotetaan Suomessa Euroopan Unionin energiaverodirektiivin¹⁷ 2003/96/EY sallimin keinoin korkeimman dieselveroluokan mukaan. *Laki nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta*²⁰ 1472/1994 ei määrittele erikseen veroa biodieselinneille vaan se luetaan samaan tullitariffiin 3824 rikillisen dieselin kanssa, vaikka biodiesel ei sisällä rikkiä lainkaan. Rikittömällä, halvemmin verotettavalla, dieselillä valmisteverolaissa tarkoitetaan vain tullitariffin nimikkeeseen 2710 kuuluvaa mineraaliöljyä, jonka rikkipitoisuus on alle 10 mg/kg. Biodieselinvalmistevero koostuu kolmesta osasta: perusverosta, lisäverosta sekä huoltovarmuusmaksusta. Eri dieselvalmisteista maksettavat verot on esitetty taulukossa kolme.

Taulukko 3. Kevyiden polttoöljyjen verotus Suomessa senttiä/l

Polttoaine	Perusvero	Lisävero	Huoltovarmuusmaksu	Yhteensä snt/l
Dieselöljy, rikitön	26,83	4,76	0,35	31,94
Dieselöljy, muu laatu	29,48	4,76	0,35	34,59
Kevyt polttoöljy	1,93	4,78	0,35	7,06

Verovelvollisuus lankeaa ensisijaisesti valmistajalle, jonka on rekisteröidyttävä ja tehtävä kirjallinen aloitusilmoitus tullille. Mikäli biodiesel käytetään autoissa dieseliä, korvaavana polttoaineena on sen valmistevero 34,59 senttiä/l. Traktoreissa kevyen polttoöljyn korvaavana tuotteena biodieselin valmistevero on 7,09 senttiä/l. Rypsiä puristamalla saatu bioöljy sellaisenaan käytettynä esim. viljan kuivuriin on polttoaineveroista vapaata. Myöskään lämmitykseen käytetystä biodieselistä ei tarvitse maksaa veroa, eikä valmistuksesta näin ollen tarvitse ilmoittaa tullille.

Arvonlisäverolaissa²¹ säädetään biopohjaisten polttoaineiden arvonlisäveroksi 22 %. Arvonlisäveroa suoritetaan myös siis liiketoiminnan muodossa tapahtuvasta biopolttoaineiden myynnistä. Maanviljelijöiden ei kuitenkaan tarvitse suorittaa veroa ottaessaan vähäisessä määrin omaan tai perheensä käyttöön tuottamaansa biodieseliä.

4.3 Biodieselin käytön edistäminen Suomessa

Kauppa ja teollisuusministeriön asettaman työryhmän loppuraportin¹³, Liikenteen biopolttoaineiden tuotannon ja käytön edistäminen Suomessa, mukaan olisi suomessa teoreettisesti mahdollista saavuttaa 5 % biopolttoaineiden tavoiteosuus koko liikenteen energiankulutuksesta vuoteen 2010 mennessä. Realistisena tavoitteena se pitää 3 % biopolttoaineosuutta. Panostamalla teknologiakehitykseen voisi Suomen biopolttoaineosuus vuonna 2015 olla jopa 8 %. Keinoina 3 % realistisen tavoitteen saavuttamiseen työryhmä ehdottaa ensisijaisesti käyttövelvoitetta, joka kasvaisi vuosittain siten että, vuonna 2008 se olisi 1 %, vuonna 2009 2 % ja vuonna 2010 3 %. Työryhmän mietinnön mukaan polttoaineen jakelijat saisivat itse päättää kuinka ne tuon käyttövelvoitteen täyttäisivät. Mietinnön mukaan käyttövelvoitteesta muodostuvat kokonaiskustannukset olisivat vuonna 2010 noin 50-80 milj. euroa ja vaikutus polttoaineiden hintoihin noin 3 senttiä/litra.

19.10.2006 valtioneuvosto päätti lakiesityksestä, liikenteen biopolttoaineiden edistämiseksi Suomessa.²² Siinä jakeluvelvoitteen nojalla velvoitetaan öljy-yhtiöt tuomaan markkinoille vähimmäisosuus biopolttoaineita. Vähimmäisosuus kasvaa siten, että vuonna 2008 se on 2 % liikennepolttoaineiden jakelijan kulutukseen toimittamien polttoaineiden energiasisällön kokonaismäärästä. Vuonna 2009 osuus olisi vähintään 4 % ja vuonna 2010 5,75 %. Vuoden 2010 velvoite astuisi kuitenkin voimaan vain jos polttoaineiden laatustandardit sallisivat 5,75 % biopolttoaineosuuden lisäämisen perinteisiin polttoaineisiin. Kauppa- ja teollisuusministeriö arvio vuoden 2010 5,75 % biopolttoaineosuuden kokonaiskustannusten nousevan 100-150 milj. euroon ja nostavan polttoaineiden hintaa noin 2-3 sentillä/litra.

5. BIODIESELIN RAAKA-AINE RYPSI

Rypsi on kaalin sukuun kuuluva hoikkajuurinen ristikkäiskasvi, joka on jalostettu nau-riista. Rypsin satotaso voi Suomessa suotuisilla kasvupaikoilla ylittää yli 2000 kg/ha, mutta rypsin keskimääräiseksi satotasoksi²³ on vuosina 1996-2005 tullut noin 1350 kg/ha. Rypsin satotaso olisi keskimäärin hiukan parempi, mutta vaativampana viljely-
kasvina sitä ei juurikaan käytetä energiakasvina. Rypsi omaa myös rypsiä hiukan pa-remman öljypitoisuuden; rypsin öljypitoisuus vaihtelee lajikkeesta riippuen 44.2-50.7 % kun taas rypsin öljypitoisuus on 43,6-47,4 %.²⁴

5.1 Tuotantopotentiaali

Nykyisin suomessa viljellään rypsiä noin 100 000 hehtaaria²⁵, mikä ei riitä edes koti-maisen elintarviketeollisuuden tarpeisiin, vaikkakin viljelyala on kasvanut viimevuosien aikana. Rypsin viljelyä onkin pyritty edistämään Suomessa myös muista syistä. Se vä-hentää viljan ylituotantoa ja lisää valkuaisainepitoisen rehun omavaraisuutta. Rypsipel-lot kuuluvat myös osaksi suomalaista maalaismaisemaa ja samalla tarjoavat oivallisen mesilähteen mehiläisille. Rypsipellot tarjoavat myös suojaa ja ravintoa linnuille, kuten sepelkyyhkylle ja hempollle.²⁴ Rypsin viljely monipuolistaa viljelykiertoa ja samalla ylläpitää maan kasvukuntoa.²⁴ Rypsin käyttö viljan viljelyn viljelykierron monipuolista-jana lisää seuraavan vuoden kaura ja kevätvehnäsatoa 5-15 %.²⁶ Rypsin viljelyssä on kuitenkin huomioitava sen vuoroviljeltävyys, rypsiä ei voida viljellä samalla lohkolla kuin korkeintaan joka neljäs vuosi.²⁷

Energiakasvituen alaista rypsin ja rypsin viljelyä suomessa harjoitettiin vuonna 2006 vain 821 hehtaarin alalla.³ Viljelyalan on kuitenkin arvioitu nousevan Suomessa mm. uusien biodiesel laitosten ansiosta, sekä ulkomaisen kysynnän kasvun ansiosta.

Maa- ja metsätalous ministeriön asettaman työryhmän muistion²⁸ mukaan Suomessa olisi potentiaalisesti mahdollista ottaa käyttöön, biodieselin raaka-aineen, rypsin vilje-lyyn 250 000 hehtaaria peltoalaa vuoteen 2012 mennessä. Mikäli peltohehtaari tuottaisi n. 1500 kg rypsiä ja kun öljyisaannin voidaan olettaa olevan n. 30 %, saataisiin biodiese-

liä valmistettua noin 112 500 tonnia. Mikä vastaa noin 5,6 % vuoden 2004 dieselpolttoaineen 2013 miljoonan kilon kokonaiskulutuksesta.

5.1.1 Pohjanmaan tuotantopotentiaali

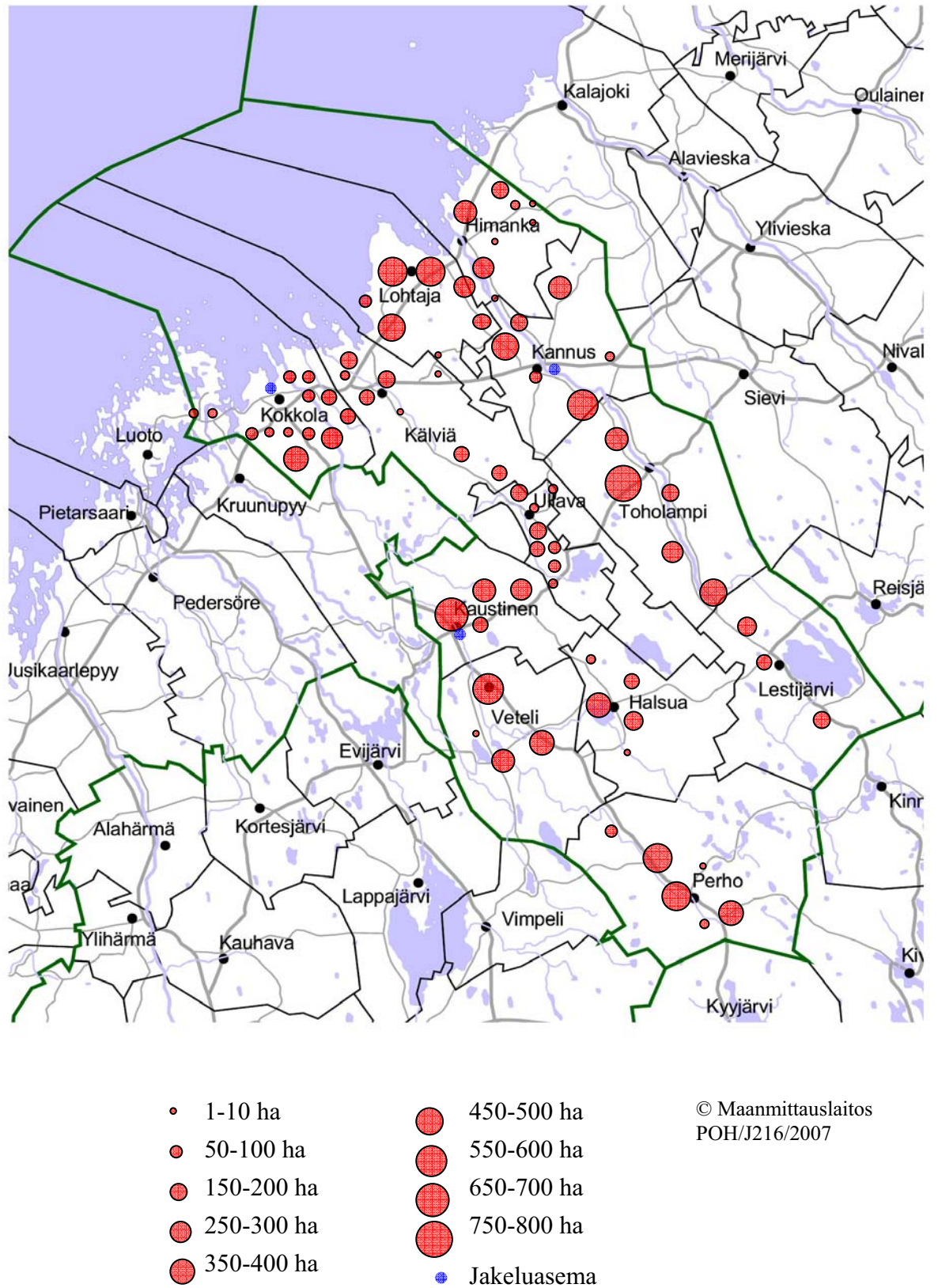
Pohjanmaan TE-keskuksen alueella (Pohjanmaan ja Keski-Pohjanmaan maakunnat) vuonna 2006 rypsiä viljeltiin 8400 hehtaarin alueella.²⁹ Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelun³⁰ mukaan Pohjanmaan rypsi-alasta vuonna 2006 33,24 ha sai energiakasvitukea, kun vuonna 2005 sen alaista rypsinviljelyä ei ollut lainkaan. Non food sopimuksia ei Pohjanmaan alueella tehty lainkaan.²⁹ Pohjanmaan koko viljelty peltoala kesantopeltoineen vuonna 2005 oli 194 500 ha.³¹

Etelä-Pohjanmaalla vuonna 2006 rypsiä viljeltiin 13 400 ha alueella¹⁸, tästä energiakasvituen alaista tilakäyttöön viljeltyä rypsiä oli 120 ha alueella ja non food sopimusten alaista kesantopeltoviljelyä 130 ha. Keskimääräinen non food kesantopeltoala oli noin 7 ha.³² Eteläpohjanmaalla viljelty peltoala käsittää 242 700 ha alan johon kuuluu myös kesantoala.³¹

Rypsi soveltuu viljeltäväksi samalla peltolohkolla ainoastaan neljän- viiden vuoden välein. Jolloin suurin mahdollinen peltoala vuosittain on 25 % koko viljeltävästä peltoalasta. Pohjanmaan alueella rypsin viljelyyn vuosittain on siis potentiaalisesti mahdollista käyttää n. 48 600 ha ja Etelä-Pohjanmaan alueella 60 650 ha.

5.1.2 Keski-Pohjanmaan maakunnan biodieselpotentiaali

Keski-Pohjanmaan maakunnan pinta ala on 547 400 ha josta peltoa on n. 59 600 ha³³ eli noin 11 %. Kevätrypsyä viljeltiin vuonna 2006 n. 706 ha alueella.³³ Potentiaalisesti rypsiä olisi mahdollista viljellä 14 900 ha alueella, mikä vastaa 2,7 % koko Keski-Pohjanmaan pinta-alasta.



Kuva 7. Keski-Pohjanmaan maakunnan potentiaalinen rypsinviljelyala.

Biodieselin tuotantoon potentiaalisesti mahdollinen käytettävä peltopinta-ala näkyy kuvassa seitsemän. Mikäli kaikki mahdollinen peltopinta-ala käytettäisiin biodieselin raaka-aineen rypsin viljelyyn, olisi Keskipohjalaisilla maanviljelijöillä mahdollista tuottaa noin 5 700 tonnia eli n. 6,45 miljoonaa litraa biodieseliä.

Suomalainen maatila käyttää keskimäärin 6 500 l kevyttä polttoöljyä vuodessa³⁴, joten Keski-Pohjanmaan maakunnan rypsisadosta voitaisiin valmistaa hieman alle tuhannen maatilan vuotuinen biodieselmäärä. Vastaavasti Keski-Pohjanmaalla viljelystä rypsiä valmistetulla biodieselillä voitaisiin kattaa 6 450 keskikokoisen dieselauton vuotuinen polttoainetarve (auton kulutus 5 l sadalla kilometrillä ja ajomäärä vuodessa 20 000 km).

Biodieselin jakeluaseman sijainti on keskeinen asia, niin polttoaineen kuljetuksen kuin ostovoimankin kannalta. Keski-Pohjanmaalla keskitetyn biodieseljakelun kannattavin sijoituspaikka kuvan seitsemän mukaan olisi Kokkola sekä Kannus ja Kaustinen. Näiden ns. maakuntakeskusten keskeinen sijainti sekä hyvät maantieyhteydet antavat biodieselin keskitetylle jakelulle hyvän lähtökohdan. Keskitetyllä jakelulla taattaisiin Keski-Pohjanmaalla tuotetulle biodieselille paras mahdollinen saatavuus, siten ettei rahtimatkat kuitenkaan kasva liian pitkiksi.

5.2 Rypsin viljely

Rypsi (*Brassica rapa*) ja sen lähisukulainen rapsi (*Brassica napus*) ovat suomen yleisimpiä öljykasveja. Niiden viljely yleistyi Suomessa kuitenkin vasta 1980-luvun alussa.²⁴ Globaalisti rapsi on maailman kolmanneksi yleisin öljykasvi. Rypsin viljelyyn suomessa ei kuitenkaan sovellu kuin etelä Suomi ja rannikkoseutu sillä rapsi vaatii tuleentukseen pidemmän kasvukauden.

Rypsiä ja rapsia viljellään ns. väliaikaiskasveina viljan kasvumaan parantamiseksi. Rypsi soveltuu viljeltäväksi samalla lohkolla ainoastaan joka neljäs tai viides vuosi. Muutoin tautiriski kasvaa, eikä satoa voida hyödyntää täysipainoisesti. Näin ollen tilan pelloista 20-25 % voidaan käyttää öljykasvin viljelyyn vuosittain. Viljeltävän lohkon suuruus tulisi olla vähintään 8-10 ha.²⁷ Rypsin käyttö väliaikaiskasvina kuitenkin kannattaa, sillä rypsilä on paksut juuret pinnassa, jolloin maanpinnasta tulee irtonaisempaa ja seu-

raavan vuoden viljasadosta parempi.²⁶ Öljykasvien viljely tasaa myös työhuippuja sillä rypsi ei varise helposti, joten sen puintia voidaan säiden salliessa lykätä.

5.2.1 Pellon muokkaus

Rypsin viljelyyn aiottu maa muokataan syksyllä viljan puinnin jälkeen kyntämällä. Keväällä savimainen maa taseus äestetään heti kun se maan kuivumisen puolesta on mahdollista, näin maa pysyy sopivan kosteana ja antaa mahdollisuuden lykätä kylvöä maan lämpenemiseen asti.

Rypsin kylvömuokkaus tehdään vain noin 2-4 sentin syvyyteen.²⁷ Muokkauksen tulee olla hienojakoisempi kuin viljoilla. Jos savimaa on päässyt kuivumaan liikaa, voidaan muokkaussyvyyttä hiukan lisätä. Liian märän maan kylvömuokkausta on syytä välttää, sillä se lisää rikkaruohoisuutta ja kuorettumisriskiä sekä nopeuttaa kuivumista kylvön jälkeen. Multamailla maa jyrätään ennen kylvömuokkausta.

5.2.2 Kylvö ja lannoitus

Rypsi kylvetään toukokuun loppuun mennessä jotta se ehtii loppukesästä tuleentua. Suositeltava rypsin kylvömäärä on 6-10 kg/ha.²⁷ Käytetyimpiä rypsin lajikkeita ovat Kulta, Valo ja Harmoni. Pellot lannoitetaan kylvön yhteydessä. Sadon määrän kannalta tärkeät ravinteet rypsilille ovat typpi, fosfori, kalium, magnesium ja rikki. Lisäksi öljykasvit tarvitsevat riittävästi booria. Hyvän satotason saavuttamiseksi typen lannoitustarve maaperästä riippuen rypsilille on noin 70-120 kg N/ha.²⁷

5.2.3 Kasvinsuojelu

Rikkakasvit torjutaan ruiskuttamalla äestetty maa ennen rypsin kylvöä trifluraliinivalmisteella, joka tuhoaa itävät rikkakasvit.²⁷ Herbisidi mullataan välittömästi ruiskutuksen jälkeen äestämällä, jolloin saadaan valmis kylvöalusta, johon rypsi voidaan kylvää heti.

Kylvösiemenet ovat yleensä valmiiksi peitattuja kirppatuhoja vastaan, joten niiden torjumiseksi ei tarvita erillistä käsittelyä.²⁷ Peitatuissa siemenissä oleva torjunta-aine imeytyy rypsin sirkkataimiin, joista tulee myrkyllisiä kirpoille. Mikäli rypsilajityyppillä havaitaan rapsikuoriaisia, hävitetään ne pyretroidivalmisteella. Torjuntatyö tehdään rypsin ollessa nappuvaiheessa.

5.2.4 Kalkitus

Öljykasvien viljelyyn tarkoitettujen peltolohkon pH-luvun on oltava 5,7-7,0. pH-arvoa säädetään kalkitsemalla maa kymmenen vuoden välein levittämällä kalkkia talvella noin 5000 kg/ha.³⁵ Kalkitus parantaa ravinteiden saatavuutta ja etenkin fosforin ja muiden pääravinteiden käyttökelpoisuutta. Happamassa maassa fosfori on sitoutunut vaikealiukoiseen muotoon. Mikäli pH on korkeampi, ovat puolestaan hivenravinteet, kuten boori ja mangaani, vaikealiukoisempia.

5.2.5 Sadonkorjuu

Rypsin kasvuaika on noin 105 päivää. Rypsin puinti voidaan aloittaa silloin kun siementen kosteus on noin 20-25 %. Hyvien säiden vallitessa voidaan rypsin puintia siirtää kauemmaksi, sillä se ei ole helppo varisemaan.

5.2.6 Kuivaus

Rypsin siemenet tulisi kuivata mahdollisimman pian sadonkorjuun jälkeen alle 9 % kosteuteen. Näin siementen laatu ei heikkene. Lisäksi on huolehdittava, ettei kosteus varastoinnin aikana pääse nousemaan. Mikäli sato on jäänyt osittain tuleentumatta, voidaan se esikuivata kylmällä ilmalla, jolloin tuleentumatta jääneet siemenet jälkituleentuvat.

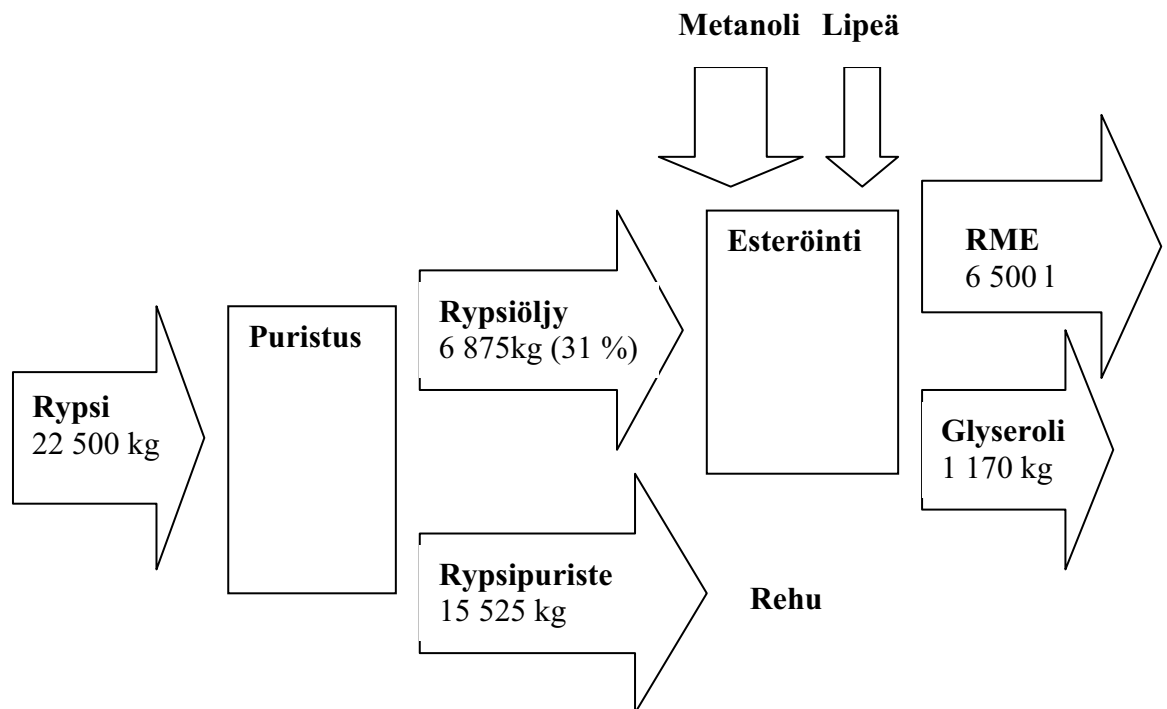
5.2.7 Suorakylvö

Suorakylvö on melko uusi menetelmä rypsinviljelyssä. Suorakylvössä kylvö tehdään suoraan edellisen kasvuston sänkeen ilman minkäänlaista muokkausta. Rypsinviljely on jo itsessään melko ammattitaitoa vaativa viljelytapahtuma, johon suorakylvö tuo vielä lisää reunaehtoja. Koska trifluraliinivalmisteen käyttö ei suorakylvössä ole mahdollista on edellisvuosien rikkakasvit merkittävä riski suorakylvetylle rypsilille.²⁷ Viljeltäessä rypsiä suorakylvömenetelmällä on kylvösiementen määrää merkittävästi kasvatettava, koska suorakylvössä osa siemenistä jää pintaa ja osa menee liian syvälle, jolloin osa siemenistä jää itämättä.²⁷ Suorakylvön satoennusteen oletetaan rikkakasveista johtuen olevan hiukan perinteisiä kylvömenetelmiä pienempi. Tässä työssä suorakylvön satoennusteen oletetaan olevan noin 90 % perinteisen kylvömenetelmän sadosta, ja käytetty kylvösiementen määrä huomattavasti perinteistä kylvömäärää suurempi eli 12 kg.

6. PIENIMUOTOINEN BIODIESELIN VALMISTUS

Pienimuotoisessa maatilamittakaavaisessa biodieselin valmistuksessa (tilan koko n. 60 ha) tilan omasta rypsisadosta maanviljelijä valmistaa puristamalla ja esteröimällä biodieseliä. Puristuksesta sivutuotteena jäävä rypsirouhe voidaan käyttää omalla tilalla karjan valkuaisainepitoiseksi rehuksi tai vaihtoehtoisesti käyttää tilan lämmitykseen polttamalla muun hakkeen seassa. Mikäli rypsipuriste käytetään karjan rehuksi, on viljelijän rekisteröidyttävä rehun valmistajaksi ja näin myös otettava vastuu rehun laadusta.³⁶ Pienimuotoisen biodieselin valmistuksen etuina on kuljetus- ja kaupankäyntikulujen pois jääminen, mikäli biodiesel käytetään maatilan omiin tarkoituksiin.

Keskiverto suomalainen maatila käyttää vuodessa 6500 l kevyttä polttoöljyä.³⁴ Tätä kulutusta vastaavan biodieselmäärän tuottamiseen tarvitaan noin 15 ha peltoa ja samalla saadaan karjan rehuksi kelpaavaa valkuaisainepitoista rypsirouhetta n.15 500 kg. Vastaavasti kapasiteetiltään 200 l/vrk esteröintilaitteistolla tarvitsee biodieseliä valmistaa keskimäärin kerran viikossa, jotta koko maatilan polttoaineen tarve tulee valmistetuksi.



Kuva 8. Esimerkki maatilan vuotuisen polttoöljynmäärän korvaavan biodieselmäärän valmistamisesta maatilamittakaavan laitteistolla.

Taulukossa neljä on esitetty paremman mielikuvan saamiseksi kuinka suuren peltopinta-alan vaatii perinteisellä kylvötavalla esim. 1000 RME litran valmistaminen maatilakokoluokan laitteistolla ja puristimella. Suorakylvössä ala on suurempi sillä hehtaarisato on 90 % perinteisestä kylvötavasta.

Taulukko 4. Biodieselin ja sen sivutuotteiden saanto

Ala (ha)	Siemen (kg)	Öljy (kg)	Öljy (l)	RME (kg)	RME(l)	Rehu (kg)
1	1500	465	528	381	433	1035
0,67	1000	310	352	254	289	690
2,15	3225	1000	1136	2225	820	932
1,89	2839	880	1000	722	820	1959
2,62	3934	1220	1386	1000	1136	2714
2,3	3462	1073	1220	880	1000	2389

Kesantopelloilla omaan käyttöön, esimerkiksi viljakuivureiden polttoaineeksi, viljeltävä rypsi tai rapsi on hyvä esimerkki pienimuotoisesta bioöljyn tuotannosta.³⁷ Viljakuivurissa käytettynä bioöljyä ei tarvitse esteröidä vaan rypsiä tai rapsista puristettu öljy voidaan käyttää sellaisenaan. Kuivuri on kuitenkin muistettava käynnistää ja sammuttaa mineraaliöljyllä, jottei öljynsuutin jää likaiseksi. Helpoin tapa kuitenkin on sekoittaa bioöljy mineraaliöljyn sekaan. Esteröimätön öljy sakkaantuu pitkään varastoitaessa, joten bioöljyä varten viljelty sato kannattaakin säilöä siemenenä ja puristaa vasta juuri ennen käyttökautta. Öljyn säilytyksessä on huomioitava että öljy härskiintyy ilman vaikutuksesta joten öljy on säilöttävä tiiviiseen säiliöön.

Kesantopelloilla viljellystä rypsisadosta voidaan valmistaa tilan omaan käyttöön biodieseliä. Valmistuksen ja jalostuksen on kuitenkin tapahduttava omalla tilalla, sillä kesantopelloilla viljeltyä rypsiä ei saa kuljettaa muualle jalostettavaksi. Lisäksi rypsiä valmistettavan energiajalosteen on oltava syntyviä sivutuotteita taloudellisesti arvokkaampaa.³⁸ Mikä on huomioitava, mikäli sivutuotteena syntyvä rehu aiotaan polttaa tilan lämpökattilassa.

6.1 Maatilamittakaavan laitteistot

6.1.1 Puristin

Maatilamittakaavan biodieseltuotannossa rypsin siemenet puristetaan ruuvipuristimella (kuva 9), johon voidaan liittää paremman öljysaannon takaamiseksi taajuusmuuntajakäyttöinen ruuvikuljetin (kuva 10). Puristimet on yleisesti suunniteltu käytettäväksi sähkömoottoreilla, mutta pienin muutoksin puristinta voidaan pyörittää myös traktorilla.



Kuva 9. Pellervo 6YL-95 öljypuristin.⁵⁵



Kuva 10. Taajuusmuuntajakäyttöinen spiraalikuljetin.⁵⁵

6.1.2 Esteröintilaitteisto

Maatilakokoluokan esteröintilaitteistojen kapasiteetti vaihtelee muutamasta kymmenestä litrasta ylöspäin. Panosperiaatteella toimiva esteröintilaitteisto koostuu pääasiassa metanolin ja katalyytin varastosäiliöistä, ja niiden annostelulaitteista sekä lämmitettävästä sekoitussäiliöstä ja reaktorisäiliöstä sekä ohjauslaitteista. Lisäksi tarvitaan varastosäiliöt raakarypsiöljylle, glyserolille ja valmiille biodieselille. Panostoimisessa valmistuksessa biodiesel erotetaan glyserolista yleensä laskeuttamalla. Epäpuhtaudet pestään pois biodieselistä vesipesua käyttäen. Kuvissa 11. ja 12. on kahden eri valmistajan maatilakäyttöön soveltuvat esteröintilaitteistot.



Kuva 11. Biodys C1200 esteröintilaitteisto, kapasiteetti 160 l RME.⁵⁶



Kuva 12. Preseco SOL10 esteröintilaitteisto, kapasiteetti 160+160 l RME.⁴⁵

7. ENERGIATASELASKELMAT

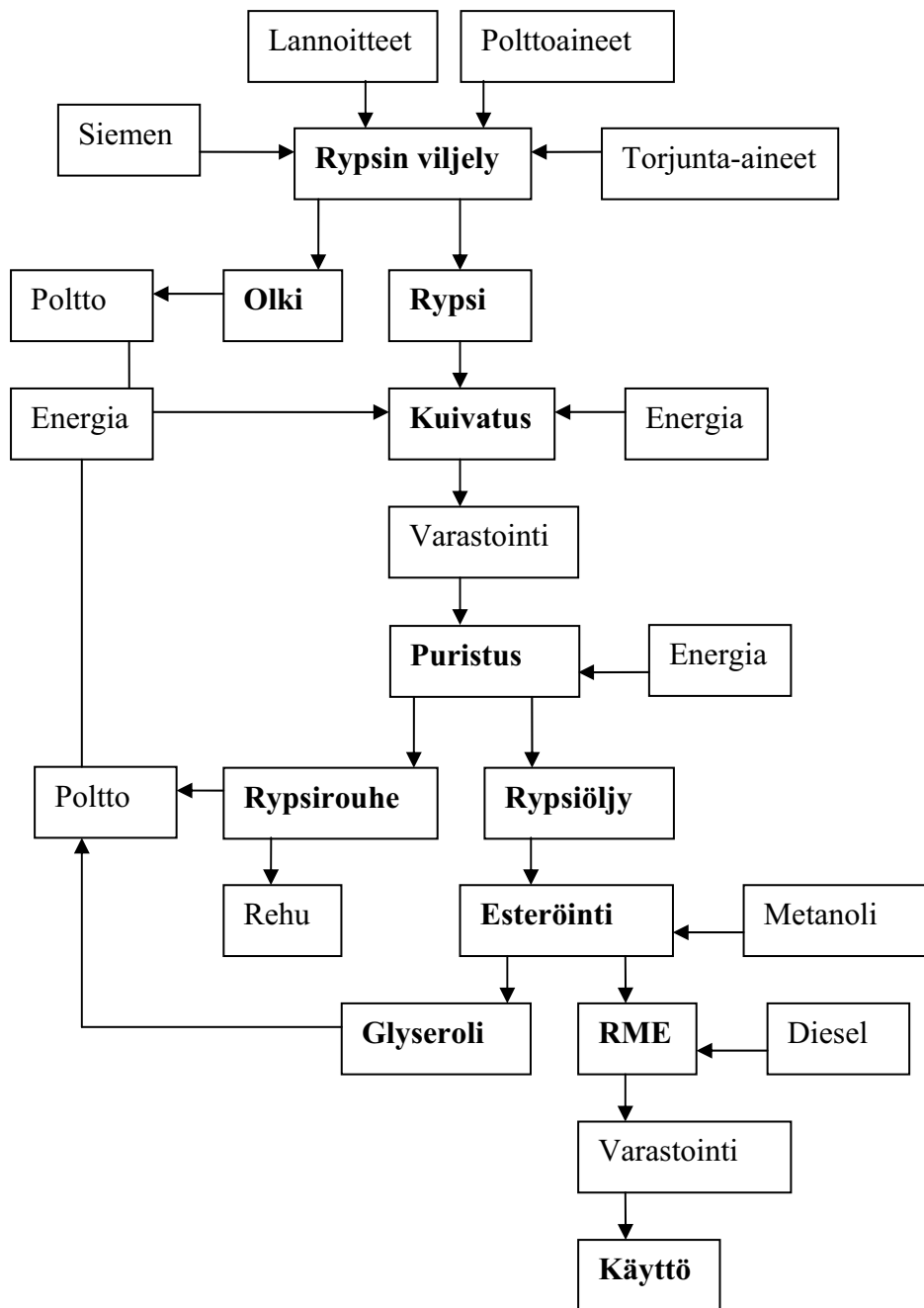
7.1 Tarkastelun rajaukset

Tässä työssä biopolttoaineiden tuotantoketjun tarkastelu on suoritettu ns. substituutio-menetelmällä. Mikäli muiden kuin päätuotteen voidaan katsoa korvaavan muita tuotteita sen korvauksesta syntyvä muutos energian kulutuksessa, voidaan laskea tarkasteltavan päätuotteen hyväksi. Tällaista kohdentamismenetelmää suositellaan käytettäväksi myös ISO 14040-standardin mukaan.

Rypsipellot antavat mehiläisille hyvän mesilähteen, mutta tässä työssä mahdolliset hunajasta saatavat substituutioedut on jätetty huomioimatta. Rypsin kylvösiementen lajitelussa pienet siemenet erotetaan ja ne voidaan käyttää suoraan rehuna, mutta nämä substituutiohyödyt jätettiin huomioimatta. Niiden katsottiin kompensoivan siementen lajiteluprosessissa, pakkauksessa ja kuljetuksissa kulunutta energiaa. Tuotannon lohkokaa-vio on esitetty kuvassa 13.

Työssä tarkastellaan maatilamittakaavaisen puristuksen ja esteröinnin energiataseita. Rypsin viljelyn oletetaan tapahtuvan kappaleessa 5.2 kuvatulla tavalla. Laskennassa oletetaan maatalan peltopinta-alan olevan 60 ha josta 25 % eli 15 ha vuotuisesti viljel-lään rypsiä.

Energiatase-laskelmissa kaikissa polttoaineiden tuotantovaiheissa tarvittut energiapanok-set on muutettu primäärienergiaksi vertailun helpottamiseksi. Primäärienergian kulutus eri työvaiheissa on laskettu biodieselin energiasisältöä kohden. Toisin sanoen, mikäli saatu primäärienergian kulutus RME:n energiasisältöä kohden on alle yksi, kuluu RME:n raaka-aineiden tuotannossa ja jalostuksessa vähemmän energiaa kuin mitä lop-putuote sisältää. Jos energiatase on $1 \text{ MJ/MJ}_{\text{RME}}$, kuluu tuotannossa saman verran ener-giaa kuin mitä lopputuotteesta saadaan.



Kuva 13. RME-biodieselin pienimuotoisen tuotannon lohkokkaavio. (Tehty laskelmissa käytettyjä työvaiheita mukailleen.)

7.1.1 Primäärienergian laskennassa käytetyt parametrit

Biodieselin valmistuksessa kuluu ulkomailta Suomeen tuotavia polttoaineita työkonessa ja ajoneuvoissa. Dieselöljyä käytetään mm. työkonessa ja viljakuivureissa. Polttoai-

neen primäärienergian muuntokerroin ja energiasisältö on esitetty taulukossa viisi. Sähkön primäärienergiakertoimenä on käytetty $2,3 \text{ kWh}_{\text{prim}}/\text{kWh}_e$.¹²

Taulukko 5. Polttoaineiden LHV ja primäärienergianmuuntokertoimet¹²

Polttoaine	LHV (MJ/kg)	Primääri energia (MJ _{prim} /MJ _{pa})
dieselöljy	43,0	1,16

Biodieselin tuotantoon sisältyy erilaisia kuljetuksia kuten lannoitteiden kuljetukset tai raaka-aineen kuljetukset. Kuljetusten on oletettu tapahtuvan täysin rekkakuormina EURO 3 luokan rekalla, jonka kokonaismassa on 60 t ja kantavuus 40 t. Energiataselaskelmissa käytettyjen kuljetusten aiheuttamat kulutukset on esitetty taulukossa kuusi.

Taulukko 6. Biodieselin valmistuksessa tarvittavien kuljetusten kuormausasteet ja niitä vastaavat kulutukset¹²

Kuormausaste, täysperävaunuyhdistelmä 60 t	Kulutus (g/t, km)
100 %	18,48

Kalkki toimitetaan Kokkolan Nord Kalkin tehtailta ja kuljetusmatkan oletetaan olevan n. 15 km. Kalkin valmistuksen tarvitaan tuotetonna kohden energiaa yhteensä 260 MJ joka koostuu sähköstä ja kevyestä polttoöljystä.³⁹ Sähkön osuudeksi oletettiin puolet ja kevyenpolttoöljyn osuudeksi puolet. Kalkin valmistuksen ja kuljetuksen primäärienergia on laskettu kappaleen 7.6.2 kaavan 8. mukaan.

Lannoitteiden valmistuksen energiantarve on voimakkaasti riippuvainen typen määrästä, sillä ammoniakkin valmistaminen kuluttaa runsaasti energiaa. Lannoitteiden kuljetusten on oletettu tapahtuvan täysin rekkakuormina ja niiden keskimääräinen kuljetusmatka Siilinjärven tehtaalta on n. 250 km. Tässä työssä rypsin viljelyssä käytetään lannoitteena kevätiljan Y3:sta. Lannoitteiden valmistuksen primäärienergian kulutukset on esitetty taulukossa seitsemän.

Tuholaismyrkköjen kuljetukset on oletettu tapahtuvan muiden maatalan tuotteiden haun yhteydessä, joten niiden kuljetuksesta aiheutuvan primäärienergian kulutuksen katsotaan olevan mitätön. Torjunta-aineiden valmistuksen energiankulutus (Taulukko 7.)

vaihtelee valmistusmenetelmän ja lähteiden mukaan. Niiden käyttömäärät ovat kuitenkin suhteellisen pieniä, joten epävarman energiankulutuksen vaikutus biodieselin valmistuksen primäärienergiankulutukseen on jokseenkin pientä.

Taulukko 7. Primäärienergian kulutukset lannoitteilla⁴⁰ ja muilla kemikaaleilla⁴¹

	Valmistus Primääri energia
Lannoite	
Kevätviljan Y3	11,32 GJ/t
Tuholaismyrkyt	377 MJ/t

Biodieselin valmistuksessa käytetään erilaisia kemikaaleja katalyytteinä ja reagensseina. Kemikaalien käyttö riippuu valmistustavasta ja sen mittakaavasta. Metanolin ja natriumhydroksidin valmistuksen ja kuljetuksen primäärienergian tarve on esitetty taulukossa kahdeksan.

Taulukko 8. Kemikaalien primäärienergiatarpeet⁴²

Kemikaali	Primäärienergia MJ/kg
Metanoli CH ₃ OH	38,08
Natriumhydroksidi NaOH 50 %	19,87

7.2 RME-biodiesel

Laskelmissa on laskettu biodieselin valmistuksen primäärienergian kulutus maatilakoluokan biodieselvalmistukselle. Maatilan peltoalan on oletettu olevan 60 ha josta rypsiä viljellään neljännes eli 15 ha, mistä saatava biodiesel voisi korvata keskivertotilan vuotuisen polttoöljyn tarpeen. Rypsin satotasoksi on laskelmissa otettu hiukan keskimääräistä 1350 kg/ha parempi satotaso, joka Keski-Pohjanmaan alueella on noin 1500 kg/ha 9 % kosteudella. Suorakylvömenetelmällä viljellyn rypsin satotasoksi oletettiin 90 % perinteisen viljelyketjun satotasosta eli 1350 kg/ha. Satotasojen savuttamiseksi käytetty typpimäärä oli 100 kg/ha. Rikkakasvien torjunta-ainetta perinteisessä kylvöketjussa levitetään noin 2 l/ha veteen sekoitettuna.⁴³ Lannoitteena käytettiin Kemira Grow

How:n kevätiljan Y3 lannoitetta (NPK 20-3-8), jota levitettiin n. 500 kg/ha halutun typpimäärän, 100kg/ha saavuttamiseksi. Kalkitus tapahtuu ylläpitokalkituksena 10 vuoden välein ja levitettävä määrä on noin 5000 kg/ha.³⁵

Puidut siemenet kuljetetaan kuivattavaksi 2 km päähän puintipaikalta traktorin peräkärjellä, jonka tilavuus on 12 m³. Rypsin hehtolitra painaa noin 58 kg joten perävaunuun kapasiteetti on 6960 kg. Rypsin siementen kuivauksen hyötysuhteeksi on oletettu öljyllä lämmittäessä 90 % ja hakelämmitteisessä kuivurissa 75 %. Kuivurin kapasiteetiksi on oletettu 8000 kg/erä ja käyntiajaksi 8 h. Öljyä vesikilon haihduttamiseen oletettiin kuluvan 0,167 l.⁴⁴ Haketta vesikilon haihduttamiseen oletetaan kuluvan 0,56 kg ja hakkeen valmistuksen oletetaan kuluttavan polttoainetta 12,2 l/tonni.¹²

Siemeneksi tuotetun rypsin kuluttama energiamäärä saatiin laskettua kertomalla tarvittava siementen kilomäärä energiamäärällä joka tarvittiin yhden rypsikilon tuottamiseen maatilalla. Koska osa siemenistä on kooltaan niin pieniä, ettei niitä käytetä siemeniksi, oletettiin siemeneksi tuotettavan määrän olevan 30 % suurempi kuin itse kylvösiemenmäärä.

Siementen puristamiseen käytetyn primäärienergian laskennassa on oletettu, että siemenet puristetaan tilalla kahteen kertaan kapasiteetiltään 170-250 kg/h laitteella⁴⁵, paremman öljysaannin saavuttamiseksi. Öljy irtoaa siemenistä parhaiten yli +20 °C lämpötilassa. Tämän vuoksi laitteistossa on alkulämmitin joka parantaa hiukan öljysaantoa ja sen säilyvyyttä. Ensimmäisellä puristuskerralla öljysaanto on noin 22 % ja toisella puristuskierroksella öljyä saadaan noin 10 %. Lämmityslaitteen teho on 3.3 kW ja puristimen moottoriteho on 7,5 kW.⁴⁵ Lämmityksen on oletettu olevan päällä 20 % puristusajasta.

Laskelmissa käytetty maatilamittakaavan esteröintilaitteisto, jonka kapasiteetti on 200 l vuorokaudessa kuluttaa maksimissaan energiaa 10 kWh. Metanolia kuluu 20 % öljyn määrästä ja katalyyttiä noin prosentin verran öljyn määrästä.

7.3 Puriste rouhe

Biodieselin valmistuksessa sivutuotteena syntyvää valkuaisainepitoista rypsirouhetta voidaan käyttää rehuna sekä sioille että naudoille. Rypsirouheella korvataan Yhdysvalloista tuotua soijarehua. Vuonna 2004 valkuaisainepitoisen rehun omavaraisuus oli vain noin 10 %.²⁴ Mikäli rehu käytetään omalla tilalla tai myydään ulos tilalta, on viljelijän rekisteröidyttävä rehun tuottajaksi ja otettava vastuu sen laadusta.³⁶

Rypsirehun valkuaisainepitoisuus on riippuvainen puristustekniikasta. Kuumapuristuksella saadaan suurempi öljysaanti, mutta rehun valkuaisainepitoisuus laskee. Kylmäpuristuksella öljyn saanti on heikompi, mutta rehukäytössä kylmäpuristettu rouhe on arvokkaampaa. Rypsirehulla voidaan korvata soijan tuontia rehun raakavalkuaispitoisuuteen perustuvan ravitsemuksellisen arvon mukaan. Soijarehun raakavalkuaispitoisuus on keskiarvolta 520 g/kg_{ka}, kun taas rypsin puristerouheen valkuaispitoisuus on noin 379 g/kg_{ka}.⁴⁶

Soijan viljely Yhdysvalloissa kuluttaa energiaa noin 5,87 MJ/kg.⁴⁷ Soijapapujen kuljetus meriteitse ja niiden käsittely Suomessa soijarouheeksi kuluttaa energiaa 3,64 MJ/kg.¹² Soijaöljyn voidaan katsoa korvaavan rapsiöljyä, mistä aiheutuvat substitutiohyödyt on otettu huomioon soijapapujen käsittelyssä. Näin ollen Yhdysvalloista tuodun soijarouheen kokonaisenergiankulutus on 9,5 MJ/kg.

Maatilamittakaavaisessa biodieselin tuotannossa syntyvä rypsirouhe voidaan joko käyttää maatalan eläinten ravintona tai polttaa lämpökattilassa. Rouheen alemmaksi lämpöarvoksi on määritetty keskimäärin 13,5 MJ/kg.⁴⁸

7.4 Glyserolin käyttö

Biodieselin valmistuksessa sivutuotteena syntyvää glyserolia voitaisiin hyödyntää raaka-aineena kosmetiikkateollisuudessa sekä kemianteollisuudessa, mutta markkinoiden tarve on pientä ajatellen biodieseltuotannon kasvutavoitteita. Glyseroli käytetäänkin tässä työssä hyödyksi lämmöntuotannossa hakkeen seassa poltettuna. Glyserolin LHV

on 17,1 MJ/kg.⁴⁹ Glyserolia syntyy n. 5 % rypsin siementonnista. Glyserolin polton hyötysuhteena on käytetty 65 %.

7.5 Korren käyttö

Rypsin keskimääräinen korsisato on noin 1945 kg/ha.⁵⁰ Korren energiakäyttö vaatii tarkkuussilppurin, jolla korsi noukitaan maasta ja silputaan.⁵¹ Vuosittaisesta rypsin korsisadosta oletetaan saatavan talteen, tarkkuussilppurilla noukittuna n. 65 %. Tässä työssä korsi käytetään hyödyksi lämmöntuotannossa jolloin polton hyötysuhteeksi oletettiin noin 60 prosenttia. Korren tehollinen lämpöarvo riippuu sen polttokosteudesta. 25 prosentin kosteudessa se on noin 13 MJ/kg.⁵⁰ Korren varastoinnin oletettiin vievän yhtä paljon energiaa kuin rypsin siementen varastoinnin.

Korren energiakäytön suurimpana ongelmana on sen suuri tilavuus, mikä hankaloittaa varastointia. Korren irtokuutio painaa vain 30-40 kg.⁵⁰ Lisäksi korren polttoon liittyy ominaisuuksia jotka on otettava huomioon. Korren tuhkapitoisuus on huomattavasti korkeampi kuin puulla, jolloin kattila likaantuu helpommin ja puhdistustarve lisääntyy. Samoin korsipoltosta muodostuvan tuhkan sulamisen alempi lämpötila on otettava huomioon sekoittamalla kortta hakkeen sekaan, mikä samalla alentaa pelkän korsipolton suurta pienhiukkasten määrää. Polton ongelmana on myös korren syöttö vaikeudet. Pelletöinnillä korresta saataisiin helpommin syötettävää ja energiatiheydeltään parempaa, mutta polton kannattavuus kuitenkin lakkaa pelletöinnistä aiheutuvien kuljetus ja valmistus kustannusten vuoksi.

7.6 Energiataseen laskemisessa käytetyt kaavat

7.6.1 Viljelyssä käytetyn energian laskukaavat

Suorakylvömenetelmän polttoaineenkulutuksen laskennassa on huomioitava että sato on 90 % perinteisen kylvöketjun sadosta. Polttoaineen kulutus viljelyketjun eri työvaiheissa on laskettu kaavan yksi mukaan:

$$(1) V_{diesel} = \frac{V_{max}}{W_{viljely}}$$

Missä: V_{diesel} = kussakin työvaiheessa kulunut polttoaine (l/ha)

V_{max} = traktorin maksimi kulutus (l/h)

$W_{viljely}$ = työsaavutus (ha/h)

Polttoaineen kulutus siementen siirrossa kuivuriin on kuvattu kaavassa kaksi.

$$(2) V_{diesel} = \frac{m_{sato20\%}}{m_{traktori}} \cdot \left(V_{max} \cdot \frac{d}{W_{kuljetus}} \right)$$

Missä: V_{diesel} = siementen siirrossa kulunut polttoaine (l)

$m_{sato20\%}$ = koko tilan rypsisato 20% kosteudessa(kg)

$m_{traktori}$ = traktorin lavan kapasiteetti (kg)

d = matka pellolta kuivuriin (km)

$W_{kuljetus}$ = työsaavutus (km/h)

Siilokuivaus polttoöljyä käyttäen kuluttaa öljyä kaavan kolme mukaan ja sähköenergiaa kaavan neljä mukaan:

$$(3) V_{diesel} = (m_{sato20\%} - m_{sato9\%}) \cdot W_{öljykuivaus}$$

$$(4) E_{sähkö} = \frac{\left(\frac{m_{sato20\%}}{m_{kuivuri}} \right) \cdot W_{sähkö} \cdot t}{\eta_{kuivuri}}$$

Missä: V_{diesel} = kuivauksessa kulunut polttoaine (l)
 $m_{sato9\%}$ = tilan rypsisato 9% kosteudessa (kg)
 $W_{öljykuivaus}$ = työsaavutus (l/haihdutettu H₂O kg)
 $E_{sähkö}$ = kuivaukseen kulunut sähköenergia (kWh)
 $m_{kuivuri}$ = kuivurin kapasiteetti (kg/erä)
 $W_{sähkö}$ = kuivurin sähkönkulutus (kW)
 η = kuivurin hyötysuhde
 t = kuivausaika/erä

Mikäli kuivaus tapahtuu hakelämmitteisellä siilokuivurilla, saadaan hakkeen valmistamiseen tarvittava öljymäärä laskettua kaavan viisi mukaan. Kuivurin sähköenergian tarve lasketaan kaavan neljä mukaan.

$$(5) V_{diesel} = (m_{sato20\%} - m_{sato9\%}) \cdot m_{hake} \cdot V_{valm}$$

Missä: V_{diesel} = hakkeen valmistuksessa kulunut polttoaine (l)
 m_{hake} = tarvittu hakemassa (kg/haihdutettu H₂O kg)
 V_{valm} = hakkeen valmistuksessa tarvittu polttoainemäärä (l/kg)

Varastoinnin energian kulutus saadaan laskettua kaavasta kuusi.

$$(6) E_{sähkö} = m_{sato9\%} \cdot W_{varastointi}$$

Missä: $W_{varastointi}$ = työsaavutus (kWh/kg)

7.6.2 Primäärienergian laskukaavat

RME-biodieselin valmistuksen kuluttama primäärienergia RME litraa kohden lasketaan kaavojen 7-23 avulla.

Viljelyn eri työvaiheiden: kynnön, kalkin levityksen, tasausäestyksen, kylvömuokkauksen, kylvö- ja lannoitustyön, jyräyksen, tuholaisten torjuntatyön, puinnin ja korren korjuun primäärienergian kulutus lasketaan kaavan seitsemän avulla. Myös suorakylvön kylvö/lannoitustyön kuluttama primäärienergia saadaan kaavan seitsemän avulla siten että rypsisato on vain 90 % perinteisen kylvöketjun sadosta.

$$(7) E = \frac{V_{diesel} \cdot \rho_{diesel} \cdot LHV_{diesel} \cdot \alpha}{m_{ha9\%} \cdot \eta \cdot LHV_{RME}}$$

Missä: E = primäärienergia (MJ/MJ_{RME})
 V_{diesel} = viljelyssä tarvittu polttoainemäärä (l/ha)
 ρ_{diesel} = dieselin tiheys (kg/l)
 LHV_{diesel} = dieselin alempi lämpöarvo (MJ/kg)
 α = primäärienergian muuntokerroin
 η = RME:n saantoprosentti
 LHV_{RME} = RME:n alempilämpöarvo (MJ/kg)

Kalkin valmistuksen ja tilalle kuljetuksen kuluttama primäärienergiämäärä RME:n energiasisältöä kohden saadaan laskettua kaavan kahdeksan avulla.

$$(8) E = \frac{\left(\frac{E_{valm} \cdot x_1 \cdot \alpha \cdot m_{kalkki}}{m_{ha9\%} \cdot \eta \cdot LHV_{RME}} \right) + \left(\frac{E_{valm} \cdot x_2 \cdot \alpha \cdot m_{kalkki}}{m_{ha9\%} \cdot \eta \cdot LHV_{RME}} \right) + \left(\frac{m_{diesel} \cdot LHV_{diesel} \cdot \alpha \cdot m_{kalkki} \cdot d}{m_{ha9\%} \cdot \eta \cdot LHV_{RME}} \right)}{10}$$

Missä: E_{valm} = kalkin valmistuksessa tarvittu energia (MJ/kg)
 x_1 = sähköenergian osuus (%)
 x_2 = kevyen polttoöljyn osuus (%)
 α = primäärienergian muuntokerroin
 m_{kalkki} = tarvittava kalkkimäärä (kg/ha)
 V_{diesel} = kalkin valmistuksessa tarvittu kevyen polttoöljyn määrä (l/kg)
 m_{diesel} = Kalkin kuljetuksessa kulunut polttoainemäärä kuormausasteen mukaan (kg_{diesel}/kg, km)
 d = kuljetusmatka (km)

Torjunta-aineiden valmistuksessa kuluva primäärienergia RME:n energiasisältöä kohden lasketaan kaavan yhdeksän perusteella.

$$(9) E = \frac{E_{\text{herbisidi}} \cdot \rho_{\text{herbisidi}} \cdot V_{\text{herbisidi}}}{m_{\text{ha}9\%} \cdot \eta \cdot LHV_{\text{RME}}}$$

Missä: $E_{\text{herbisidi}}$ = torjunta-aineen valmistuksen primäärienergian kulutus (MJ/kg)

$\rho_{\text{herbisidi}}$ = torjunta-aineen tiheys (kg/l)

$V_{\text{herbisidi}}$ = torjunta-aineen kulutus (l/ha)

Lannoitteiden valmistus ja rahti kuluttaa primäärienergiaa RME:n energiasisältöä kohden kaavan 10 mukaan.

$$(10) E = \left(\frac{E_{\text{lannoite}} \cdot m_{\text{lannoite}}}{m_{\text{ha}9\%} \cdot \eta \cdot LHV_{\text{RME}}} \right) + \left(\frac{m_{\text{diesel}} \cdot LHV_{\text{diesel}} \cdot \alpha \cdot m_{\text{lannoite}} \cdot d}{m_{\text{ha}9\%} \cdot \eta \cdot LHV_{\text{RME}}} \right)$$

Missä: E_{lannoite} = lannoitteen valmistuksen energian kulutus (MJ/kg)

m_{lannoite} = lannoitteen tarvittava käyttömäärä (kg/ha)

m_{diesel} = lannoitteen kuljetuksessa kulunut polttoainemäärä (kg_{diesel}/kg, km)

d = kuljetusmatka (km)

Siementen kuivuriin kuljetuksen kuluttama primäärienergia lasketaan kaavan 11 mukaan.

$$(11) E = \frac{V_{\text{diesel}} \cdot \rho_{\text{diesel}} \cdot LHV_{\text{diesel}} \cdot \alpha}{A \cdot m_{\text{ha}9\%} \cdot \eta \cdot LHV_{\text{RME}}}$$

Missä: V_{diesel} = kuljetukseen tarvittu polttoainemäärä (l)

A = rypsin viljelyn pinta-ala (ha)

Siementen kuivauksessa öljylämmitteisellä siilokuivurilla kuluu primäärienergiaa kaavan 12 mukaisesti.

$$(12) E = \left(\frac{V_{\text{diesel}} \cdot \rho_{\text{diesel}} \cdot LHV_{\text{diesel}} \cdot \alpha}{m_{\text{ha}9\%} \cdot A \cdot \eta \cdot LHV_{\text{RME}}} \right) + \left(\frac{E_{\text{sähkö}} \cdot \alpha}{m_{\text{ha}9\%} \cdot A \cdot \eta \cdot LHV_{\text{RME}}} \right)$$

Missä: V_{diesel} = kuivauksessa tarvittu polttoainemäärä (l)
 A = rypsin viljelyn pinta-ala (ha)
 $E_{\text{sähkö}}$ = kuivauksessa tarvittu sähköenergia (MJ)

Hakelämmitteisellä siilokuivurilla primäärienergian kulutus saadaan kaavan 13 mukaan.

(13)

$$E = \left(\frac{(m_{\text{sato}20\%} - m_{\text{sato}9\%}) \cdot m_{\text{hake}} \cdot LHV_{\text{hake}}}{m_{\text{ha}9\%} \cdot A \cdot \eta \cdot LHV_{\text{RME}}} \right) + \left(\frac{V_{\text{diesel}} \cdot \rho_{\text{diesel}} \cdot LHV_{\text{diesel}} \cdot \alpha}{m_{\text{ha}9\%} \cdot A \cdot \eta \cdot LHV_{\text{RME}}} \right) + \left(\frac{E_{\text{sähkö}} \cdot \alpha}{m_{\text{ha}9\%} \cdot A \cdot \eta \cdot LHV_{\text{RME}}} \right)$$

Missä: m_{hake} = tarvittu hakemassa (kg/haihdutettu H₂O kg)
 V_{diesel} = hakkeen valmistuksessa tarvittu polttoainemäärä (l)
 α = primäärienergian muuntokerroin

Siementen valmistuksen kuluttama primäärienergia saadaan kaavan 14 mukaan laske-
 malla viljelyn eri työvaiheiden energioista.

(14)

$$E = 1,3 \cdot \frac{m_{\text{siemen}} (E_{\text{kyntö}} + E_{\text{kalkitus}} + E_{\text{äestys}} + E_{\text{kylvö}} + E_{\text{jyräys}} + E_{\text{torjunta}} + E_{\text{puinti}} + E_{\text{kuljetus}} + E_{\text{kuivaus}})}{m_{\text{ha}9\%} \cdot \eta \cdot LHV_{\text{RME}}}$$

Missä: m_{siemen} = kylvösiementen määrä (kg/ha)
 $E_{\text{kyntö}}$ = kynnössä kulunut primäärienergia (MJ/MJ_{RME})
 E_{kalkitus} = kalkin levityksen ja valmistuksen primäärienergia (MJ/MJ_{RME})
 $E_{\text{äestys}}$ = tasausäestyksen primäärienergia (MJ/MJ_{RME})
 $E_{\text{kylvö}}$ = kyntömuokkauksen, kylvö-lannoitustyön sekä lannoitteiden val-
 mistuksen primäärienergia (MJ/MJ_{RME})
 $E_{\text{jyräys}}$ = jyrästyksen primäärienergia (MJ/MJ_{RME})
 E_{torjunta} = rikkakasvien torjuntatyön sekä lannoitteiden valmistuksen pri-
 määrienergia (MJ/MJ_{RME})
 E_{puinti} = puinnin primäärienergiankulutus (MJ/MJ_{RME})
 E_{kuljetus} = siementen kuivuriin kuljetuksen primäärienergia (MJ/MJ_{RME})
 E_{kuivaus} = siementen kuivaamiseen kulunut primäärienergia (MJ/MJ_{RME})

Rypsin säilytyksestä aiheutuvat primäärienergiantarpeet saadaan laskettua kaavan 15 mukaan.

$$(15) E = \frac{E_{\text{sähkö}} \cdot \alpha}{A \cdot m_{\text{ha9\%}} \cdot \eta \cdot LHV_{RME}}$$

Maatilakohtaisessa valmistuksessa siemenet puristetaan maatilalla omalla puristimella. Puristuksen primäärienergiantarve lasketaan yhtälön 16 avulla.

$$(16) E = \frac{\left(\frac{m_{\text{sato9\%}}}{m_{\text{puristin}}} \right) \cdot (20\% \cdot E_{\text{lämmitys}} + E_{\text{puristus}}) \cdot \alpha}{A \cdot m_{\text{ha9\%}} \cdot \eta \cdot LHV_{RME}}$$

Missä: m_{puristin} = puristimen kapasiteetti (kg/h)
 $E_{\text{lämmitys}}$ = lämmitysvaiheessa kulunut sähköenergia (MJ)
 E_{puristus} = puristuksessa kulunut energia (MJ)

Esteröintiprosessi kuluttaa maatilakokoluokan laitteistolla primäärienergiaa kaavan 17 mukaan.

$$(17) E = \frac{\left(\frac{m_{\text{sato9\%}} \cdot \eta_{\text{puristus}}}{V_{\text{ester}}} \right) \cdot E_{\text{ester}} \cdot \alpha}{A \cdot m_{\text{ha9\%}} \cdot \eta \cdot LHV_{RME}}$$

Missä: η_{puristus} = öljyn saantoprosentti
 V_{ester} = esteröintilaitteiston kapasiteetti (l/vrk)
 E_{ester} = esteröintilaitteiston sähkönkulutus (MJ)

Lisäksi kuluu primäärienergiaa metanolin ja natriumhydroksidin valmistuksessa kaavojen 18 ja 19 mukaisesti.

$$(18) E = \frac{m_{\text{sato9\%}} \cdot \eta_{\text{puristus}} \cdot x_{\text{MeOH}} \cdot E_{\text{MeOH}}}{m_{\text{ha9\%}} \cdot \eta \cdot LHV_{RME}}$$

$$(19) E = \frac{m_{\text{sato9\%}} \cdot \eta_{\text{puristus}} \cdot x_{\text{NaOH}} \cdot E_{\text{NaOH}}}{m_{\text{ha9\%}} \cdot \eta \cdot LHV_{RME}}$$

Missä: x_{MeOH} = metanolin tarve (%)
 E_{MeOH} = metanolin tuotannon primäärienergiatarve ($\text{MJ}_{\text{prim}}/\text{MJ}_{\text{pa}}$)
 x_{NaOH} = natriumhydroksidin osuus (%)
 E_{NaOH} = NaOH tuotannon primäärienergiatarve ($\text{MJ}_{\text{prim}}/\text{MJ}_{\text{pa}}$)

Rypsin korren antama primäärienergian substituutiohyöty saadaan laskettua kaavojen 7, 11, 15 ja 20 avulla. Kaavalla seitsemän lasketaan korren puinnista aiheutuva polttoaineen kulutus, kaavalla 11 sen kuljetuksesta varastoon aiheutuva polttoaineenkulutus ja kaavalla 15 varastoinnista aiheutuva sähkönkulutus. Kaavalla 20 lasketaan korren poltosta saatava primäärienergia RME:n energiasisältöä kohden.

$$(20) E = \left(\frac{m_{\text{korsi}} \cdot \eta_{\text{puinti}} \cdot LHV_{\text{korsi}}}{m_{\text{ha9\%}} \cdot \eta \cdot LHV_{\text{RME}}} \right) \cdot \eta_{\text{poltto}}$$

Missä: m_{korsi} = rypsin korren sato(kg/ha)
 η_{puinti} = korren sadosta talteen saatu osuus
 LHV_{korsi} = korren alempi lämpöarvo (MJ/kg)
 η_{poltto} = polton hyötysuhde

Glyserolin polton antama primäärienergian substituutiohyöty saadaan laskettua kaavan 21 avulla.

$$(21) E = \left(\frac{\eta_{\text{gly}} \cdot m_{\text{ha9\%}} \cdot LHV_{\text{gly}}}{m_{\text{ha9\%}} \cdot \eta \cdot LHV_{\text{RME}}} \right) \cdot \eta_{\text{poltto}}$$

Missä: η_{gly} = glyserolin saanto rypsihehtaarilta
 LHV_{gly} = Glyserolin alempi lämpöarvo (MJ/kg)

Mikäli rouhe poltetaan hakkeen seassa, siitä saatava primäärienergiayhyöty saadaan laskettua kaavan 22 avulla.

$$(22) E = \left(\frac{\eta_{\text{rouhe}} \cdot m_{\text{ha9\%}} \cdot LHV_{\text{rouhe}}}{m_{\text{ha9\%}} \cdot \eta \cdot LHV_{\text{RME}}} \right) \cdot \eta_{\text{poltto}}$$

Missä: η_{rouhe} = rouheen saanto rypsihehtaarilta
 LHV_{rouhe} = Rouheen alempi lämpöarvo (MJ/kg)

Mikäli taas rouheella korvataan ulkomailta tuotua soijarouhetta, saadaan primääriener-
 giahyöty laskettua kaavan 23 avulla.

$$(23) E = \left(\frac{\eta_{rouhe} \cdot m_{ha9\%} \cdot \eta_{rehu} \cdot E_{rehu}}{m_{ha9\%} \cdot \eta \cdot LHV_{RME}} \right)$$

Missä: η_{rehu} = rypsirouheen korvaavuus soijarehuun nähden (kg soija/kg rypsi)
 E_{rehu} = soijarehun valmistuksessa kulunut energia (MJ/kg)

7.7 Energiataseen tulokset

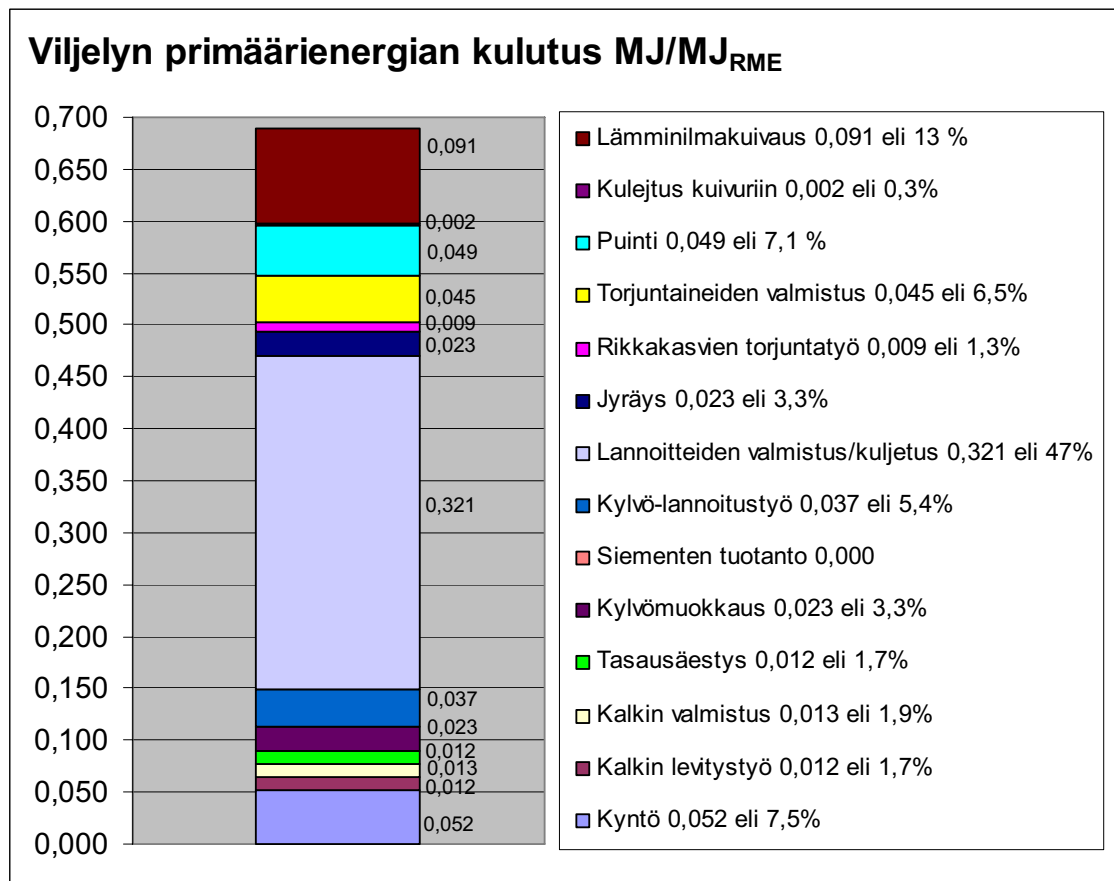
Rypsi biodieselin energiataaseen esimerkkilaskut on esitetty liitteessä 1. Viljelyn lähtötie-
 dot ja polttoaineen kulutukset eri työvaiheissa on liitteessä 2. Biodieselin maatilamitta-
 kaavaisen valmistuksen eri työvaiheiden primäärienergiat on esitetty liitteessä 3.

Primäärienergia on laskettu RME:n energiasisältöä kohden, jolloin primäärienergian
 yksikkönä on käytetty MJ/MJ_{RME}. Mikäli saatu primäärienergian kulutus RME:n ener-
 giasisältöä kohden on alle yksi, kuluu RME:n raaka-aineiden tuotannossa ja jalostukses-
 sa vähemmän energiaa kuin mitä lopputuote sisältää. Jos taas energiataase on 1
 MJ/MJ_{RME}, kuluu tuotannossa saman verran energiaa kuin mitä lopputuotteesta saadaan.
 Negatiivinen tulos kertoo siitä, että sivutuotteena syntyvien rouheen, glyserolin ja kor-
 ren antama substituuatiohyöty ovat suuremmat kuin biodieselin valmistukseen kuluva
 energia.

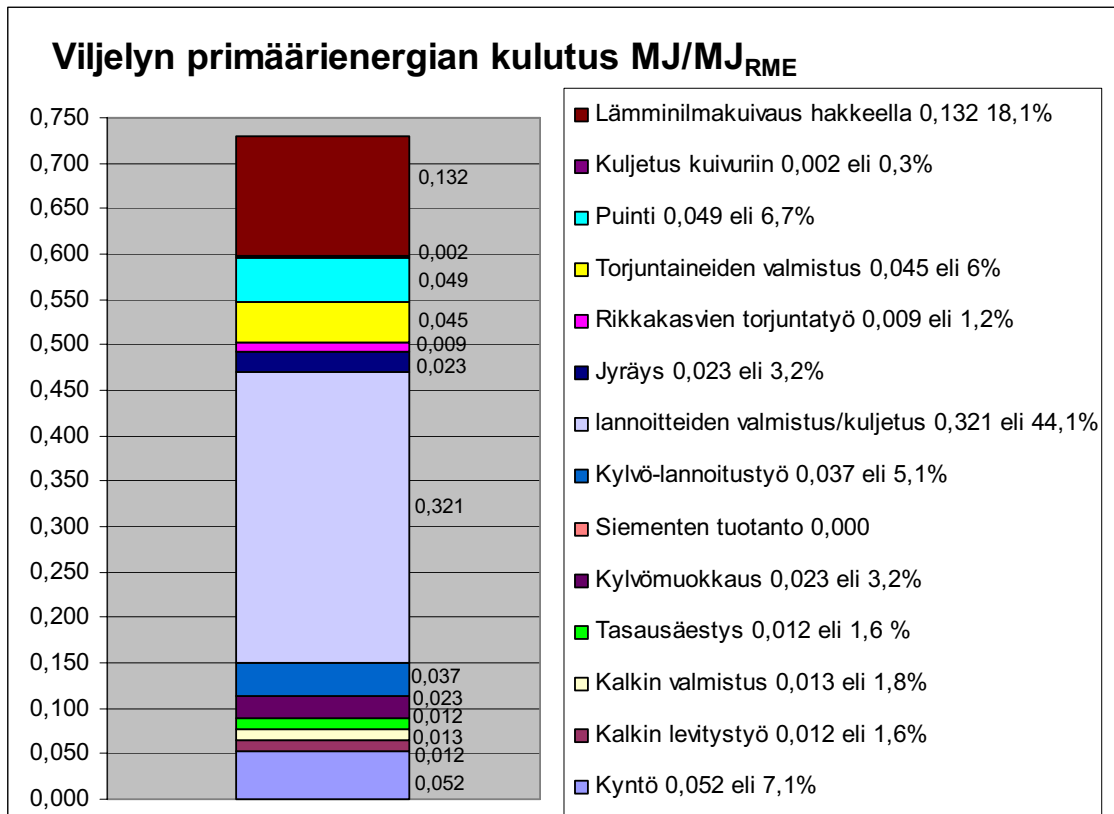
7.7.1 Rypsin viljely mineraalidieseliä käyttäen

Kuvassa 14. on esitetty rypsin viljelyn eri työvaiheiden primäärienergiakulutuksen jakautuminen perinteisellä viljelytavalla, kun käytetään siementen kuivaamiseen polttoöljykäyttöistä lämmينilmakuivausta. Kuvassa 15. voi huomata kuinka hakkeen käyttö kuivurin lämmönlähteenä nostaa primäärienergiapanosta. Hake voidaan luokitella primäärienergiaksi ja sen tarve on 0,56 kg/haihdutettu vesikilo.

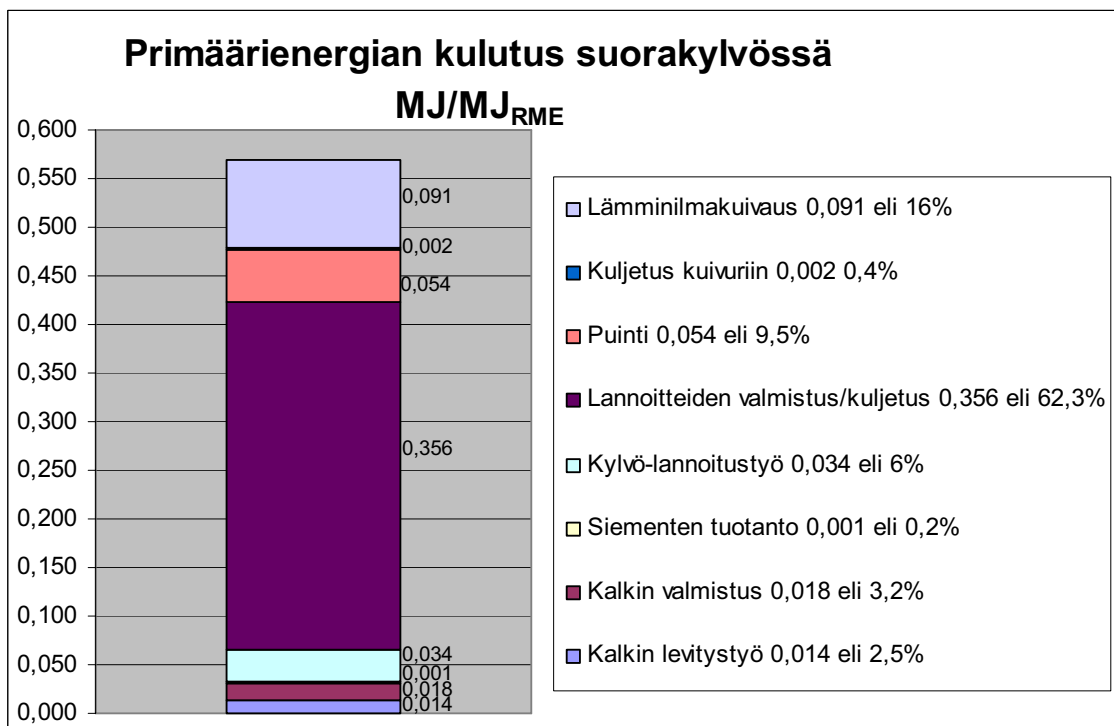
Rypsin tuotanto suoraviljelytekniikkaa käyttäen kulutta primäärienergiaa suhteessa RME:n energiasisältöön kuvien 16. ja 17. mukaan. Kuvassa 17. suorakylvetyn rypsin kuivaamiseen on käytetty haketta.



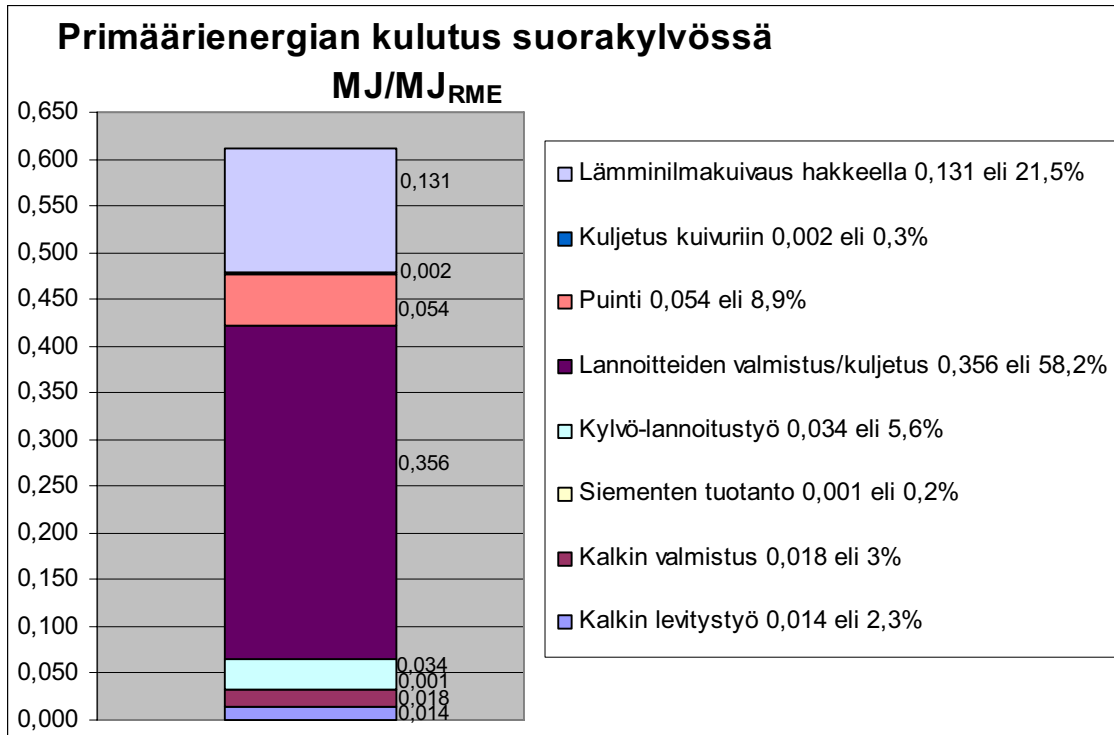
Kuva 14. Primäärienergian jakautuminen eri työvaiheille perinteisessä rypsin viljelyssä.



Kuva 15. Primäärienergian jakautuminen eri työvaiheille perinteisessä rypsin viljelyssä, kun käytetään hakelämmitteistä kuivuria.



Kuva 16. Primäärienergian jakautuminen eri työvaiheille suorakylvössä.



Kuva 17. Primäärienergian jakautuminen eri työvaiheille suorakylvössä, kun käytetään hakelämmitteistä kuivuria.

Kuten kuvista 14.-17. voi huomata on lannoitteiden valmistuksesta ja kuljetuksesta aiheutuva primäärienergian kulutus huomattava 0,321 MJ/MJ_{RME} perinteisessä kylvössä ja 0,356 MJ/MJ_{RME} suorakylvössä. Samoin siementen kuivaus vaatii suhteessa koko viljelyprosessiin paljon energiaa. Hakelämmitteinen kuivuri kuluttaa primäärienergiaa hieman enemmän (0,132 MJ/MJ_{RME}) kuin perinteinen öljykäyttöinen kuivuri (0,091 MJ/MJ_{RME}), mikä osaltaan johtuu hakelämmitteisen kuivurin huonommasta hyötysuhteesta. Hakkeen valmistamiseen kuluu öljyä 12,2 l/tonni haketta¹². Hake kuitenkin maataloilla yleisesti tuotetaan omista metsistä jolloin hakelämmitteinen siilokuivain voi taloudellisesti olla kannattavampi.

Rypsi biodieselin maatalatuotannon energiataaseen kannalta onkin erityisen tärkeitä kehittää entisestään energiatehokkaampia kuivausmenetelmiä. Siementen kuivaus ajoittuu loppukesälle jolloin auringon lämmön hyödyntäminen Suomen olosuhteissa on energiatehokkaasti mahdollista. Aurinkolämpökeräinten käyttöä rypsin siementen kuivauksessa tulisikin jatkossa tutkia lisää.

Lannoitteiden tuotannossa typpi sidotaan lannoitteeseen ammoniakista. Ammoniakin tuotanto taasen kuluttaa hyvin paljon energiaa, mikä nostaa lannoitteiden primääriener-

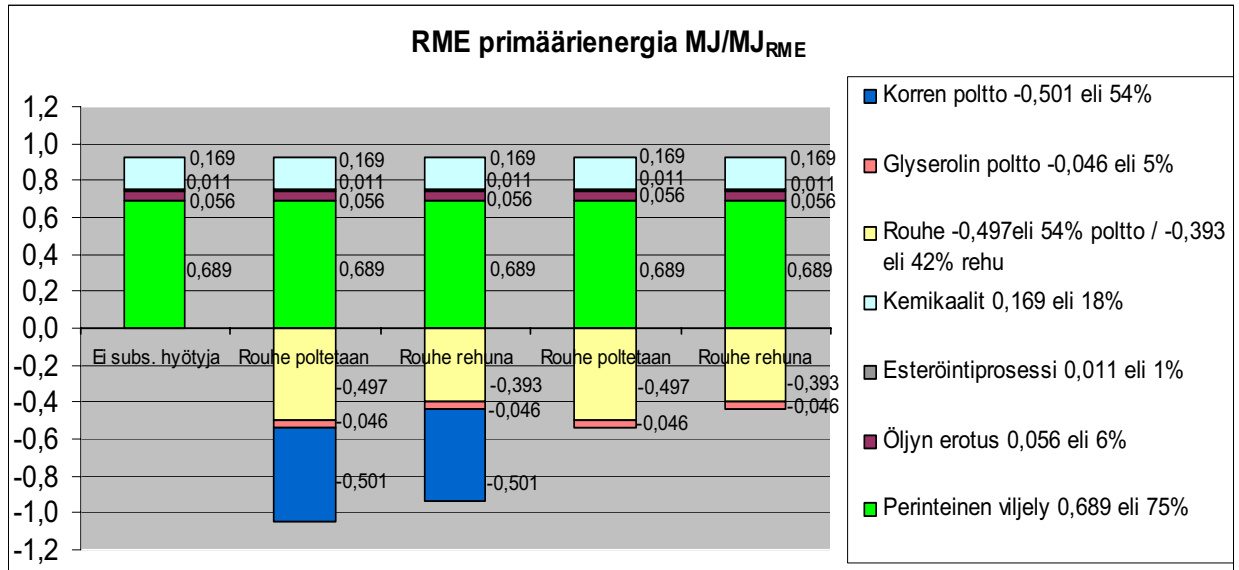
giapanosta. Perinteisessä viljelyssä lannoitteiden osuus on 0,321 MJ/MJ_{RME} ja suorakylvössä lannoitteiden osuudeksi biodieselin energiasisältöä kohden tulee 0,356 MJ/MJ_{RME}. Rypsin viljelyssä onkin tärkeää löytää oikea suhde sadon ja lannoitteiden välille, jotta vältetään ylilannoittamista. Tällä tavoin saadaan lannoitteiden osuus viljelyn primäärienergian tarpeesta minimoitua.

7.7.2 Biodieselin valmistus mineraalidieselillä viljelystä rypsistä

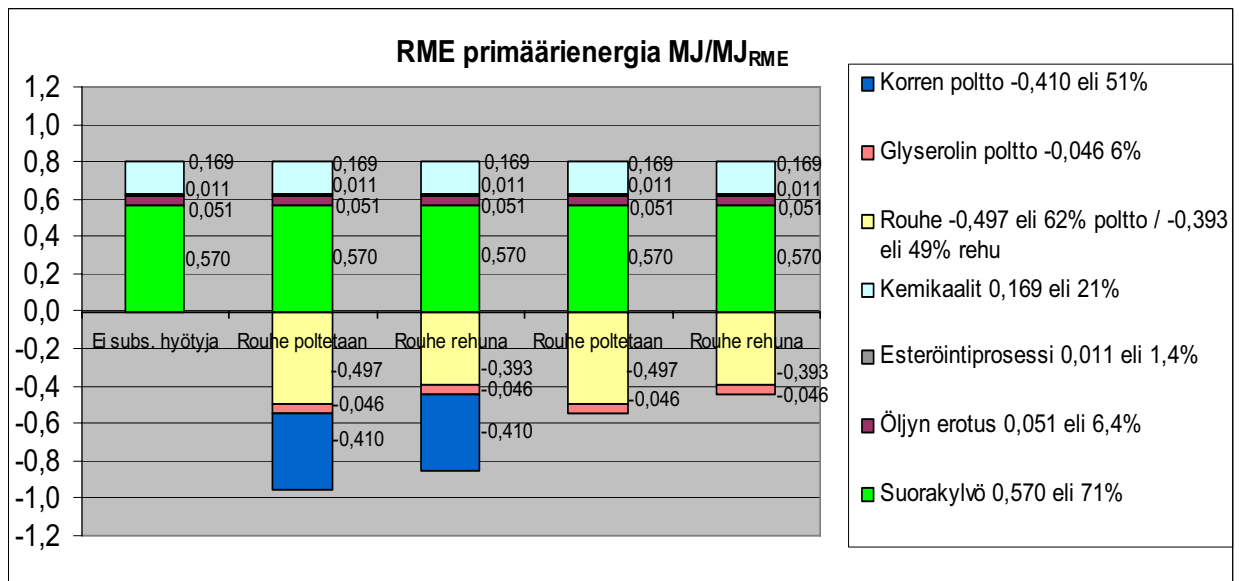
Kuvassa 18. on esitetty biodieselin maatilamittakaavaisen valmistuksen primäärienergian kulutus kun käytetään perinteistä viljelytapaa ja öljykäyttöistä lämminilmauivausta. Suoraviljelystä rypsistä valmistetun biodieselin primäärienergiapanokset RME:n energiasisältöä kohden on esitetty kuvassa 19.

Maatilamittakaavaisen biodieselin valmistuksen olennainen osa on sivutuotteiden hyödyntäminen. Kuvissa 18. ja 19. oletetaan, että puristuksessa syntyvä rouhe voidaan joko polttaa tai käyttää karjan rehuna. Samoin glyseroli on oletettu poltettavan hakkeen seassa. Korren energiakäyttöön liittyy rajoitteita, kuten suuresta tilavuudesta aiheutuvat säilytysvaikeudet. Kuvissa 18. ja 19. onkin esitetty myös sivutuotteista saatavan substituutiohyödyn muutos, mikäli korsi jätetään maahan.

Kuvissa 18. ja 19. primäärienergian kulutus rypsi-biodieselin valmistuksessa on kuvattu nolla akselin yläpuolella. Rypsin viljely perinteisellä viljelytavalla kuluttaa primäärienergiaa 0,689 MJ/MJ_{RME}, siementen puristus 0,056 MJ/MJ_{RME}, esteröinti 0,011 MJ/MJ_{RME} ja siinä käytettyjen kemikaalien valmistus 0,169 MJ/MJ_{RME}. Suoraviljely on energiatehokkaampaa ja koko viljelyketju kuluttaa energiaa 0,570 MJ/MJ_{RME}, puristaminen 0,051 MJ/MJ_{RME}, esteröinti 0,011 MJ/MJ_{RME} ja siinä käytettyjen kemikaalien valmistus 0,169 MJ/MJ_{RME}. Biodieselin valmistuksessa syntyvien sivutuotteiden antamat substituutiohyödyt on esitetty kuvissa siten, että korren ja glyserolin polttaminen sekä rouheen käyttö soijarehua korvaavana ravintona tai vastaavasti sen polttaminen on ajateltu primäärienergiaa luovuttavaksi ja näin merkitty negatiiviseksi.



Kuva 18. Biodieseltuotannon primäärienergiankulutus RME:n energiasisältöä kohden perinteistä viljelytapaa käytettäessä.



Kuva 19. Biodieseltuotannon primäärienergiankulutus RME:n energiasisältöä kohden suoraviljelyä käytettäessä.

Rypsibiodieselin valmistus perinteistä rypsin viljelytapaa käyttäen kuluttaa primäärienergiaa 0,925 MJ/MJ_{RME}. Suoraviljellystä rypsistä esteröidyn biodieselin koko valmistusketjun primäärienergiankulutus on 0,800 MJ/MJ_{RME}, kun käytetään öljylämmitteistä kuivuria. Hakelämmitteisen kuivurin käyttö nostaa energiatasetta, sillä hake itsessään voidaan luokitella primäärienergiaksi. Hakelämmitteisen kuivurin käytön vaikutukset biodieselin energiataseteen on esitetty liitteessä 3.

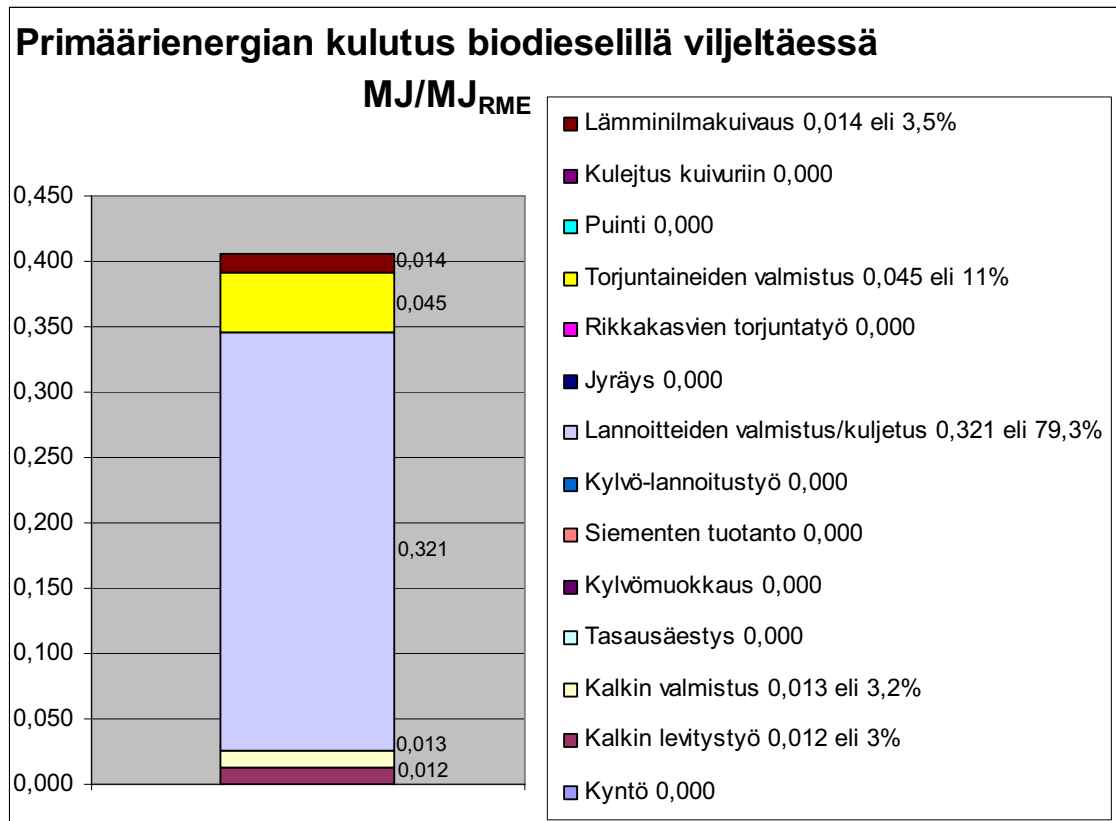
Rypsibiodieselin maatilamittakaavaisen tuotannon energiatehokkuuden kannalta on rouheen ja korren antamat substituutiohyödyt merkittäviä, kuten kuvista 18. ja 19. voi huomata. Rouheen käyttö soijarehua korvaavana eläinravintona ei anna niin suurta primäärienergian substituutiohyötyä kuin rouheen poltto, mutta on eläintilalle merkittävä kustannushyöty. Mikäli maatala voi käyttää rouheen eläinrehuna ja polttaa glyserolin tulee biodieselin valmistuksen energiataseeksi, perinteistä rypsin viljelytapaa käyttäen, $0,486 \text{ MJ/MJ}_{\text{RME}}$ ja suorakylvöä käyttäen $0,361 \text{ MJ/MJ}_{\text{RME}}$. Rouheen ja glyserolin polttaminen parantavat biodieselin energiatasetta siten, että perinteisellä tavalla viljeltyä rypsiä käyttäen se on $0,382 \text{ MJ/MJ}_{\text{RME}}$ ja suoraviljeltyä rypsiä käyttäen energiatase on $0,257 \text{ MJ/MJ}_{\text{RME}}$.

Mikäli korren polttaminen maatilalla hakkeen seassa on mahdollista, saadaan rypsin keksimääräisestä korsisadosta (1945 kg/ha) niin merkittävä energiahyöty, että biodieselin valmistaminen kuluttaa vähemmän energiaa kuin mitä sivutuotteiden polttamisesta ja käyttämisestä karjan rehuna syntyy. Kaikki sivutuotteiden antamat primäärienergian substituutiohyödyt huomioiden, perinteisesti viljellystä rypsistä valmistetun biodieselin energiapanos on $-0,015 \text{ MJ/MJ}_{\text{RME}}$, kun rouhe käytetään karjan rehuksi. Mikäli rouhe poltetaan, energiatase on $-0,119 \text{ MJ/MJ}_{\text{RME}}$. Suorakylvetystä rypsistä valmistetun biodieselin energiatase, kaikki substituutiohyödyt huomioiden, on $-0,049 \text{ MJ/MJ}_{\text{RME}}$ kun rouhe käytetään rehuna ja $-0,154 \text{ MJ/MJ}_{\text{RME}}$ kun rouhe poltetaan. Korren hyödyntäminen kuitenkin vaatii tarkkuussilppurin sekä energiasisältöönään nähden melko suuret varastotilat. Poltettaessa kortta on sen pienhiukkaspäästöt melko suuret ja syöttäminen kattilaan kannattaa tehdä hakkeen seassa korren keveyden vuoksi. Pelletöinnillä korresta saataisiin energiatehokkaampaa ja helpommin tulipesään syötettävää. Korren pelletöinnin vaikutuksia biodieselin tuotannon energiataseeseen tulisikin jatkossa tutkia lisää, samoin kuin sen polttomahdollisuuksia kokonaisina paaleina.

7.7.3 Rypsin viljely biodieseliä käyttäen

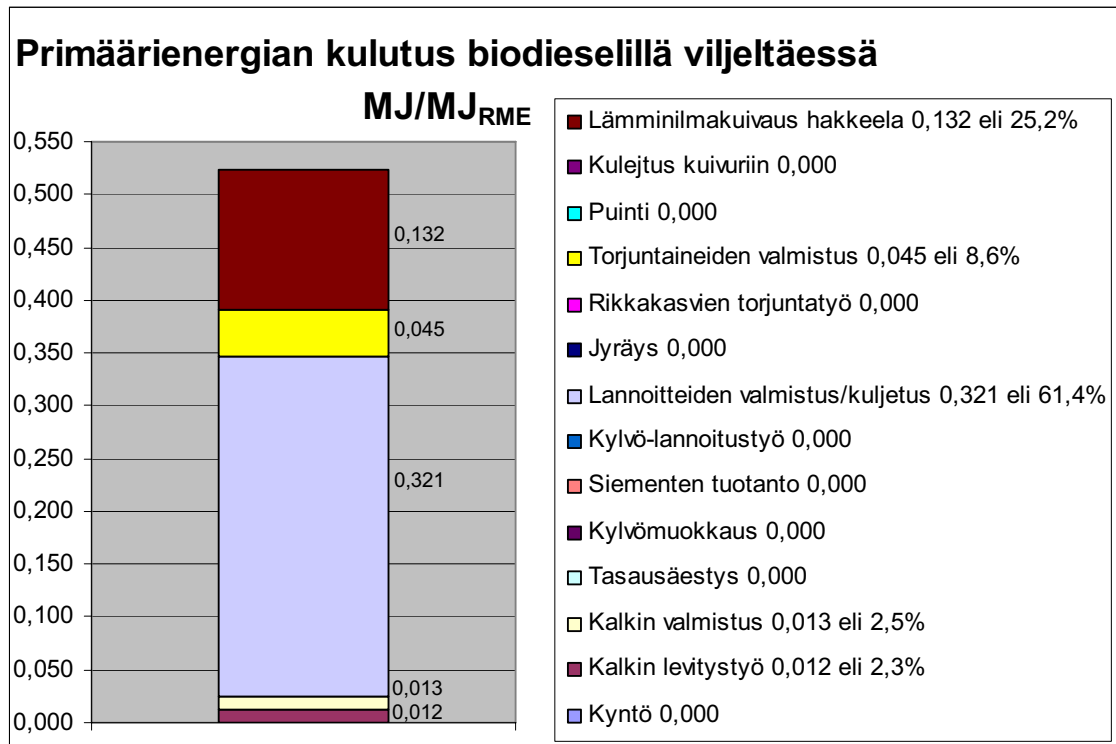
Biodieselin maatilavalmistuksen etuna on, että seuraavien vuosien viljely voidaan hoitaa tilalla valmistetulla biodieselillä (kuva 20.). Kalkin levitys tehdään yleensä urakasuorituksena joten sen levityksen on oletettu tapahtuvan mineraalidieselillä. Muiden maatilalla tapahtuvien polttoainetta vaativien töiden on oletettu tapahtuvan biodieselillä.

Kappaleiden 7.7.1 ja 7.7.2 mukaan biodieselin maatilamittakaavaisen valmistuksen energiatase suhteessa sen energiasältöön on positiivinen, jolloin käytettäessä biodieseliä polttoaineena sen käyttö ei kuluta primäärienergiaa.



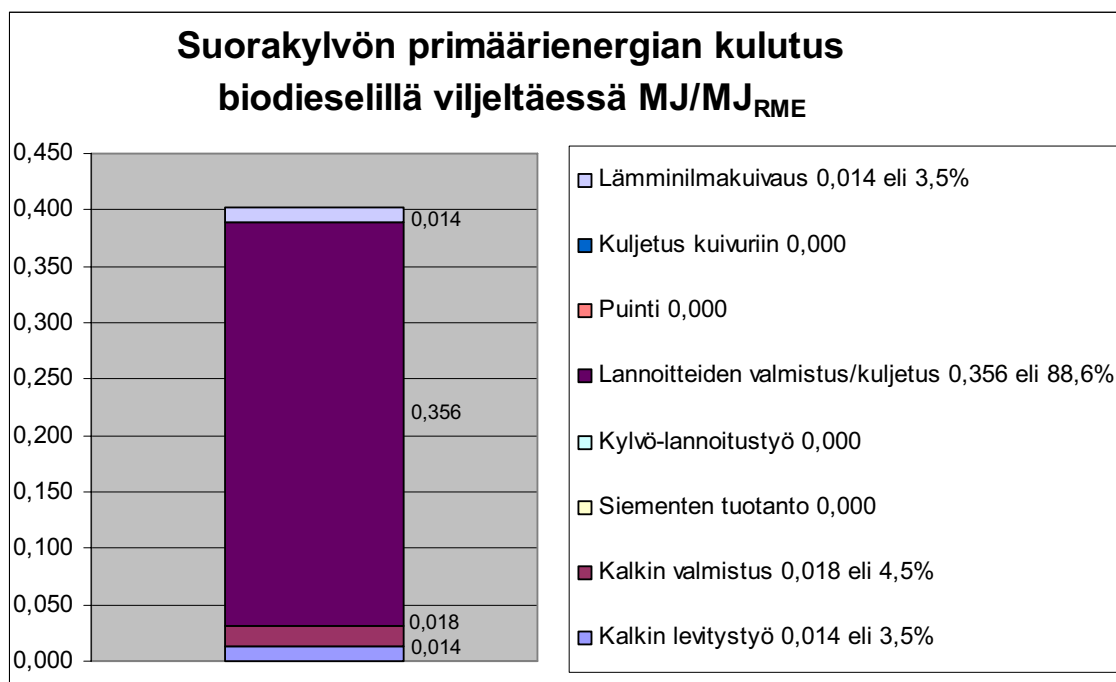
Kuva 20. Primäärienergian jakautuminen eri työvaiheille käytettäessä tilalla tuotettua biodieseliä koneiden polttoaineena.

Hake sellaisenaan voidaan luokitella primäärienergiaksi, joten hakelämmitteinen kuivuri ei ole energiataseen kannalta kovinkaan suotuisa (kuva 21.). Hakelämmitteisen kuivurin etuna kuitenkin on usein omasta metsästä saatava hake, joka vain haketetaan biodieselkäyttöisellä hakettimella.

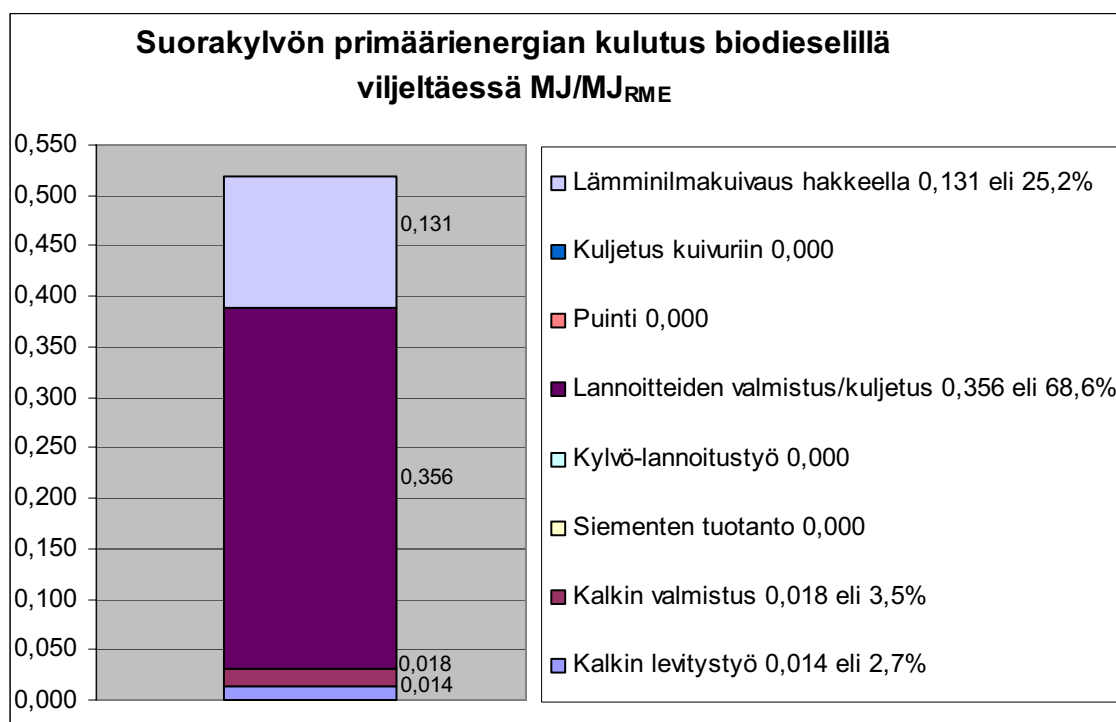


Kuva 21. Primäärienergian jakautuminen eri työvaiheille kun käytetään tilalla tuotettua biodieselä koneiden polttoaineena sekä hakelämmitteistä kuivuria.

Suorakylvötapaa käyttämällä jää rypsin viljelyssä useita työvaiheita pois. Tämän vuoksi biodieselin käyttö ei alenna primäärienergian kulutusta niin voimakkaasti kuin perinteisessä viljelyssä (kuva 22.).



Kuva 22. Primäärienergian jakautuminen eri työvaiheille suorakylvössä kun käytetään omalla tilalla valmistettua biodieseliä.



Kuva 23. Primäärienergian jakautuminen eri työvaiheille suorakylvössä kun käytetään tilalla tuotettua biodieseliä koneiden polttoaineena sekä hakelämmitteistä kuivuria.

Esteröity biodiesel soveltuu ominaisuuksiensa vuoksi erinomaisesti kuivurien polttoaineksi. Viljankuivureita voitaisiin käyttää jopa esteröimättömällä rypsinbioöljyllä, mutta tällöin käynnistys ja sammutus tulisi hoitaa biodieselillä. Mineraalidieselillä viljeltäessä vie siementen kuivaus huomattavan osan rypsin viljelyn energiapanoksesta, kuten kappaleessa 7.7.1 todettiin. Biodieselin käyttö viljankuivureissa alentaakin huomattavasti kuivauksen osuutta rypsin viljelyn energiataaseesta. Kuivauksen primäärienergian kulutus biodieselin energiasisältöön nähden on $0,014 \text{ MJ/MJ}_{\text{RME}}$, kun se mineraaliöljyä käyttäen oli $0,091 \text{ MJ/MJ}_{\text{RME}}$. Hake voidaan luokitella primäärienergiaksi, joten vaikka puut haketettaisiinkin biodieselillä, ei biodieselillä haketetun puun käyttö viljankuivurin polttoaineena sinänsä laske primäärienergiatasetta.

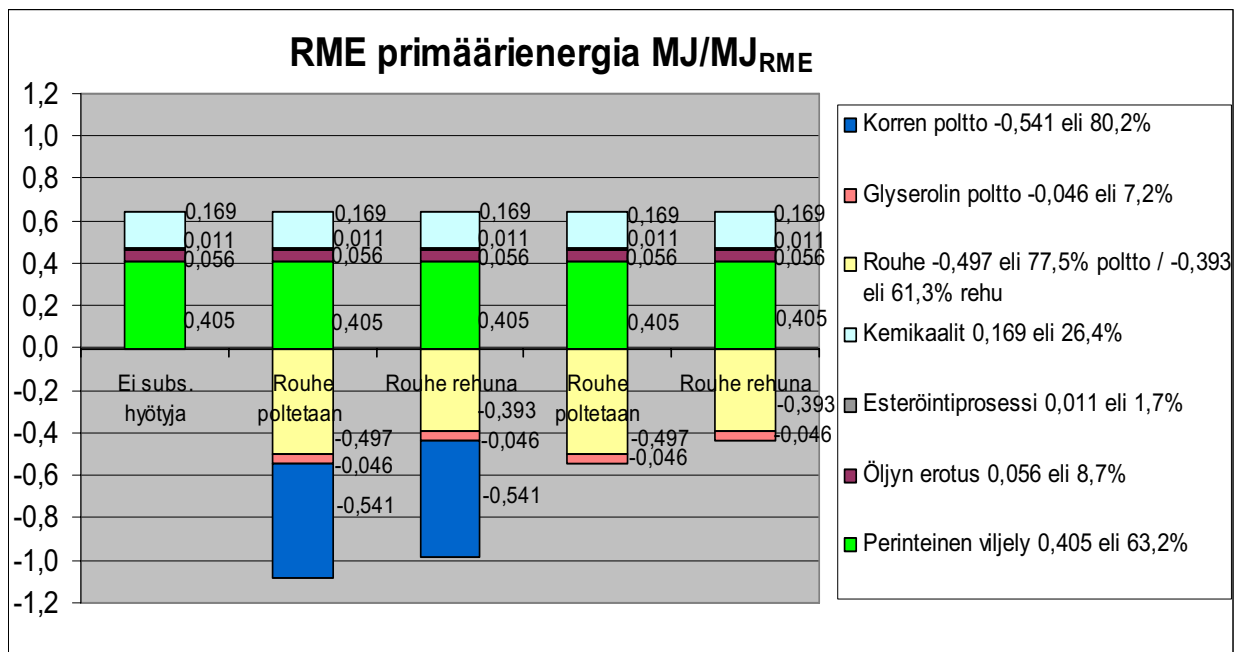
Kuten kuvista 20.-23. voi huomata on lannoitteiden valmistuksesta ja kuljetuksesta aiheutuva primäärienergian kulutus huomattava. Lannoitteiden tuotannossa typpi sidotaan lannoitteeseen ammoniakista. Ammoniakin tuotanto kuluttaa hyvin paljon energiaa, mikä nostaa lannoitteiden primäärienergiapanosta. Rypsin viljelyssä onkin tärkeää löytää oikea suhde sadon ja lannoitteiden välille, jotta vältetään ylilannoittamista. Tällä tavoin saadaan lannoitteiden osuus viljelyn primäärienergian tarpeesta minimoitua. Samoin mineraalipolttoaineita korvaavien biopolttoaineiden käyttöä ammoniakin valmistuksessa tulisi tutkia.

7.7.4 Biodieselin valmistus biodieselillä viljellystä rypsistä

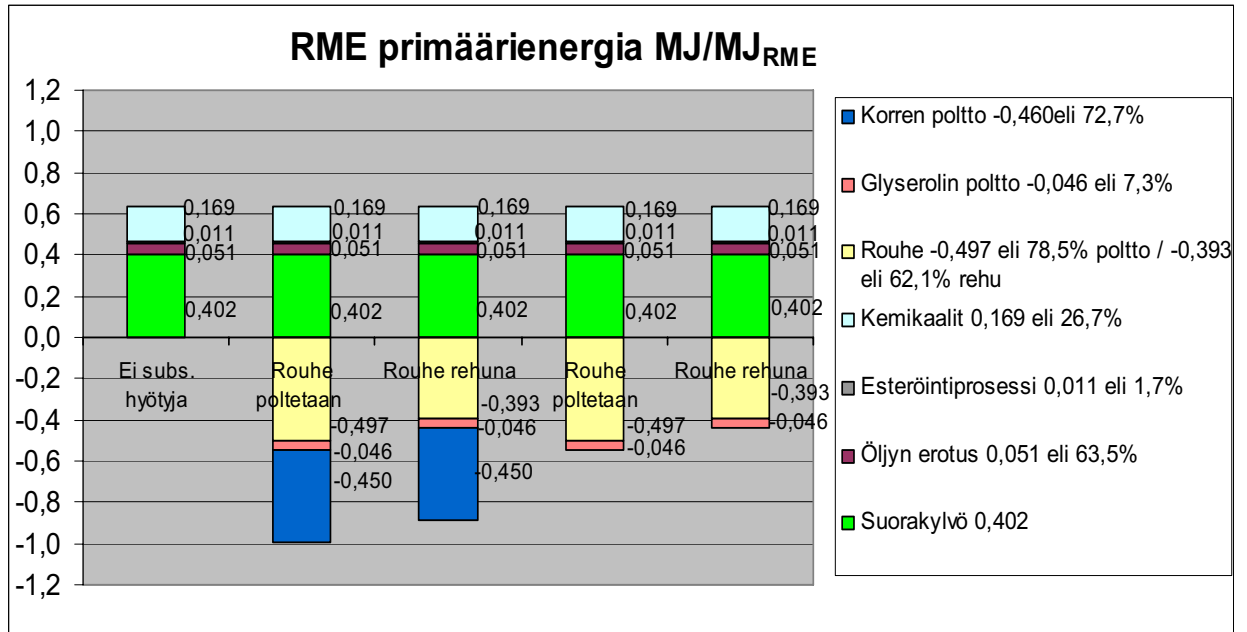
Rypsi-biodieselin energiataaseeseen vaikuttaa suuresti rypsin viljelyn energiataase. Tämän vuoksi seuraavien vuosien energiataase paranee kun viljellään tilalla valmistetulla biodieselillä. Kuvassa 24. on esitetty biodieselin maatilamittakaavaisen valmistuksen primäärienergian kulutus kun käytetään tilalla tuotettua biodieseliä perinteiseen rypsinviljelyyn ja biodieseliä käyttäen lämmintilakuivausta. Suoraviljellystä rypsistä valmistetun biodieselin primäärienergiapanokset RME:n energiasisältöä kohden on esitetty kuvassa 25. Suoraviljelyssä biodieselin käyttö useiden työvaiheiden poisjännin vuoksi ei paranna energiataasetta niin voimakkaasti kuin perinteisessä viljelyssä jossa polttoainetta vaativia työvaiheita on useampia.

Kuvissa 24. ja 25. oletetaan, että puristuksessa syntyvä rouhe voidaan joko polttaa tai käyttää karjan rehuna. Samoin glyseroli on oletettu poltettavan hakkeen seassa. Kuvissa 24. ja 25. on esitetty myös sivutuotteista saatavan substituutiohyödyn muutos, mikäli korsi jätetään maahan, sillä korren polttoon liittyy joitakin rajoitteita, kuten suuresta tilavuudesta aiheutuvat säilytysvaikeudet.

Kuvissa 24. ja 25. primäärienergian kulutus rypsi biodieselin valmistuksessa on kuvattu nolla akselin yläpuolella. Rypsin viljely biodieselillä perinteisellä viljelytavalla kuluttaa primäärienergiaa $0,405 \text{ MJ/MJ}_{\text{RME}}$, siementen puristus, esteröinti ja siinä käytettyjen kemikaalien valmistus kuluttaa primäärienergiaa yhtä paljon viljellänsä sitten mineraalidieselillä vai biodieselillä. Biodieselin käyttö työkonien polttoaineena kaventaa suoraviljelyn energiatehokkuutta perinteisen viljelyyn verrattuna. Koko suoraviljelyketju kuluttaakin energiaa lähes yhtä paljon kuin perinteinen viljelyketju biodieselä käytettäessä, eli $0,402 \text{ MJ/MJ}_{\text{RME}}$. Biodieselin valmistuksessa syntyvien sivutuotteiden antamat energiahyödyt on esitetty kuvissa siten, että korren ja glyserolin polttaminen sekä rouheen käyttö soijarehua korvaavana ravintona tai vastaavasti sen polttaminen on ajateltu primäärienergiaa luovuttavaksi ja näin merkitty negatiiviseksi.



Kuva 24. Biodieseltuotannon primäärienergiankulutus RME:n energiasisältöä kohden kun käytetään biodieselä rypsin perinteiseen viljelyyn.



Kuva 25. Biodieseltuotannon primäärienergiankulutus RME:n energiasisältöä kohden kun käytetään biodieseliä rypsin suorakylvöön.

Rypsibiodieselin valmistus biodieselillä viljellystä rypsestä kuluttaa primäärienergiaa 0,641 MJ/MJ_{RME}. Biodieselillä suoraviljellystä rypsestä esteröidyn biodieselin koko valmistusketjun primäärienergiankulutus on 0,632 MJ/MJ_{RME}, kun käytetään biodieselilämmitteistä kuivuria. Hakelämmitteisen kuivurin käyttö nostaa energiatasetta, sillä hake itsessään voidaan luokitella primäärienergiaksi. Hakelämmitteisen kuivurin käytön vaikutukset biodieselin energiataseeseen on esitetty liitteessä 3.

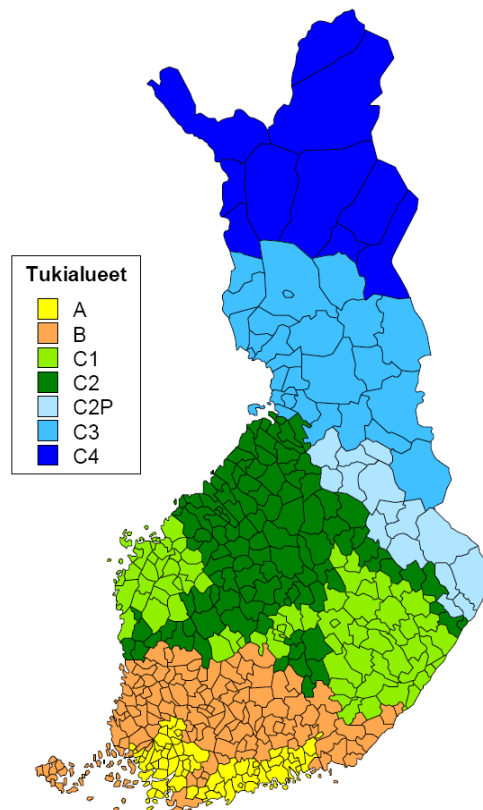
Rypsibiodieselin maatilamittakaavaisen tuotannon energiatehokkuuden kannalta on rouheen ja korren antamat energiahyödyt merkittäviä, kuten kuvista 22. ja 23. voi huomata. Rouheen käyttö soijarehua korvaavana eläinravintona ei anna niin suurta primäärienergian substituutiohyötyä kuin rouheen poltto, mutta on eläintilalle merkittävä kustannushyöty. Mikäli maatila voi käyttää rouheen eläinrehuna ja polttaa glyserolin tulee biodieselillä perinteisesti viljellystä rypsestä valmistetun biodieselin energiataseeksi 0,202 MJ/MJ_{RME} ja suorakylvöä käyttäen 0,193 MJ/MJ_{RME}. Eli biodieselin valmistus kuluttaa 20,2 % biodieselin energiasisällöstä ja suorakylvöä käyttäen n. 19,3 %. Rouheen ja glyserolin polttaminen parantavat biodieselin energiatasetta siten, että perinteisellä tavalla viljeltyä rypsiä käyttäen se on 0,097 MJ/MJ_{RME} ja suoraviljeltyä rypsiä käyttäen energiatase on 0,089 MJ/MJ_{RME}.

Mikäli korren polttaminen maatilalla hakkeen seassa on mahdollista, saadaan rypsin keksimääräisestä korsisadosta (1945 kg/ha) niin merkittävä energiahyöty, että biodieselin valmistaminen kuluttaa vähemmän energiaa kuin mitä sivutuotteiden polttamisesta ja käyttämisestä karjan rehuna syntyy. Kaikki sivutuotteiden antamat primäärienergian substituuiohyödyt huomioiden, perinteisesti biodieselillä viljellystä rypsistä valmistetun biodieselin energiapanos on $-0,339 \text{ MJ/MJ}_{\text{RME}}$, kun rouhe käytetään karjan rehuksi. Mikäli rouhe poltetaan, energiatase on $-0,443 \text{ MJ/MJ}_{\text{RME}}$. Biodieselillä suorakylvetystä rypsistä valmistetun biodieselin energiatase, kaikki substituuiohyödyt huomioiden, on $-0,257 \text{ MJ/MJ}_{\text{RME}}$ kun rouhe käytetään rehuna ja $-0,361 \text{ MJ/MJ}_{\text{RME}}$ kun rouhe poltetaan. Korren hyödyntäminen kuitenkin vaatii tarkkuussilppurin sekä energiasisältöönseen nähden melko suuret varastotilat. Pelletöinnillä korresta saataisiin energiatehokkaampaa ja helpommin tulipesään syötettävää. Korren pelletöinnin vaikutuksia biodieselin tuotannon energiataseeseen tulisikin jatkossa tutkia lisää, samoin kuin sen polttomahdollisuuksia kokonaisina paaleina.

8. KUSTANNUSLASKENTA

Keskiverto suomalainen maatila käyttää vuodessa noin 6500 l kevyttä polttoöljyä.³⁴ Maatilamittakaan biodieseltuotannossa biodieselin valmistus on kannattavaa, mikäli biodieselin valmistuksen kustannukset jäävät mineraalipolttoöljyn ostokustannusten alle. Lisäksi rypsiöljyn puristuksessa syntyvä rypsirouhe korvaa ostettavaa soijarouhetta, mikä voidaan myös laskea maatilamittakaavan valmistuksen kustannushyödyksi. Samoin kuin lämmityshaketta korvaavat korsisilppu sekä glyseroli, jotka voidaan polttaa stokeri-polttimessa hakkeen seassa.

Kustannuslaskenta on suoritettu C 2 tukialueelle (kuva 26.). Joka kattaa Keski-Pohjanmaan maakunnan. C2 tukialueella rypsin viljelystä tukia maksetaan yhteensä 746 €⁵², johon on sisällytetty nuoren viljelijän tuki jota maksetaan mikäli viljelijä tai hänen puolisonsa on alle 40 vuotta.



Kuva 26. Maataloustukien tukialueet.

8.1 Kustannuslaskennan rajaukset

Kustannuslaskelmissa on erikseen arvioitu kustannukset perinteiselle kylvötavalle ja suorakylvölle. Kalkitus tapahtuu joka 10 vuosi, urakoitsija veloittaa kalkituksesta 200 €/ha.³⁵ Kuivauksen hinta on laskettu polttoaineen- ja sähkönkulutuksen avulla, siten että sähkön hinnaksi on oletettu 0,10 €/l. Kone ja rakennuskustannukset on mukailtu Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen, lohkopankin⁵³ kustannuslaskelmasta. Ihmistyön palkkana on laskelmissa käytetty 12,25 € mihin on sisällytetty maataloustyöntekijän vaatimusryhmän 5. mukainen palkka 7,75 € sekä välilliset kustannukset 58 %.²⁴ Yleisesti maanviljelijät kuitenkin laskevat oman palkkansa siitä mikä toiminnasta ”jää käteen”, kun kulut on maksettu. Tämä on olennainen osa yrittäjyyden luonnetta, mutta yrittäjän on silti otettava huomioon loma- ja sairausajan palkat sekä eläkevakuutusmaksut. Polttoaineen hinnaksi on otettu 15.4.2007 päivitetty hinta 0,612 €.⁵⁴

Mikäli puristuksen käyttöasteen olisi oletettu olevan 100 %, vastaisi tämä 8 h puristus aikaa vuorokaudessa. Lipeä katalyytin tarkan kulutuksen vaihtoesteröintiprosessissa saa selville titraamalla, mutta kustannuslaskelmissa sen voidaan olettaa olevan 0,5 % valmista biodieselilitraa kohden. Lipeän hinnaksi on oletettu 500 €/tonni ja metanolin hinnaksi 800 €/tonni.²⁴

Biodieselin valmistuksen kustannuslaskennassa ei erikseen ole eritelty rakennuskustannuksia, sillä laitteisto ei vie suurta tilaa ja se voidaan sijoittaa konehalliin, mikä huomioidiin viljelyn kustannusarvioissa.

Puristuksen kustannuslaskelmissa on verrattu kahta eri puristinta (taulukko 9). Sixtekin⁵⁵ Pellervo Y6L-95 öljypuristimessa on taajuusmuuntajakäyttöinen spiraalikuljetin joka rajoittaa puristimelle menevää rypsin määrää, jolloin saadaan läpimenoaikaa pidentettyä ja öljylle jää näin enemmän aikaa puristua ulos massasta. Toisena vertailu puristimena on käytetty Preseco Oy:n puristinta, jonka kapasiteetti on huomattavasti suurempi. Öljysaanto tällä puristimella on ensimmäisen puristuskerran jälkeen 20-22 % ja toisella puristuskerralla massasta saadaan irtoamaan vielä n. 10% öljyä.⁴⁵ Molemmista puristimista on kuva kappaleessa 6.1.1. Laskelmissa on käytetty Sixtek⁵⁵ yhtiön Pellervo Y6L-95 öljynpuristinta jonka arvonlisäveroton hinta on noin 4 000 euroa.

Taulukko 9. Puristimien vertailu

Puristimet		Sixtek	Preseco Oy
Öljysaanto	%	31	32
kapasiteetti	kg _{siemen} /h	57	170-250
Hankintahinta	€	4000	9500
Kuoletus 7 vuotta	€	571	1357
Korko 5%	€	120	285
Laitekustannus	€/a	691	1642
70 % käyttöasteella	€/t _{rypsi}	5,93	8,03
20% käyttöasteella	€/t _{rypsi}	20,77	28,12

Hintavertailu on suoritettu taulukossa 10. kahdelle eri esteröintilaitteelle. Biottori Oy:n maahantuoman Biodys Engineeringin Biodys C1200 prosessorin kapasiteetti on 160 litraa valmista biodieseliä ja toisen Preseco Oy:n SOL 10 laitteiston kapasiteetti on 160+160 litraa. Esteröintilaitteistona laskemissa on käytetty Biodys Engineeringin laitteistoa, jonka hinta rahteineen Hollannista on noin 4 500 € ilman arvonlisäveroa.⁵⁶ Sähkökulutukseksi tuotantoprosessin aikana on oletettu n. 80 kWh ja sähkön hinnaksi 0,095 €/kWh.

Taulukko 10. Esteröintilaitteistojen vertailu

Esteröinti		Biodys	Sol 10
Kapasiteetti	l _{RME} /vrk	160	320
Hankintahinta	€	4500	25000
Kuoletus 7 vuotta	€	643	3571
Korko 5%	€	135	750
Laitekustannus	€/a	778	4321
70% käyttöasteella	€/t _{RME}	19,0	52,9
20% käyttöasteella	€/t _{RME}	66,6	185,0

Rypsirouheella voidaan korvata ulkomailta tuotavaa soijarouhetta valkuaisainesuhteen mukaan 73 prosenttisesti. Soijarouheen hinta on noin 270 €/t, mistä saadaan laskettua biodieselin valmistuksessa syntyvän rouheen kustannushyöty. Hakkeen tuotantohintana on käytetty noin 5 €/MWh, irtorisuista käyttöpaikalla hakettuna ilman kaukokuljetusta.⁵⁷ Tästä saadaan laskettua glyserolin sekä korren antamat kustannushyödyt.

8.3 Kustannukset

Kustannuslaskelmat on esitetty liitteessä neljä. Suorakylvetyn rypsin viljely on huomattavasti edullisempaa kuin perinteisellä kylvötavalla viljelty rypsi. Suorakylvömenetelmää käyttäen viljelyn kustannukset olivat 715 €/ha ja perinteistä kylvötapaa käyttäen 843 €/ha. Rypsitonnista maksetaan siemeninä myytäessä 210-270 €/t.⁵⁸ Joten hehtaarilta siemenenä myytynä rypsiä saa, 1500 kg satotasolla 315-405 € ja suorakylvetyn rypsin satotasolla 283,5-364,5 €. Kummallakaan viljelytavalla rypsin viljely Suomen satotasolla ei ole kannattavaa, vaan perustuu viljelystä saataviin tukiin. Tukien jälkeen suorakylvetty rypsi jäi 30 € positiiviselle ajatellen biodieselin valmistusta. Perinteisellä kylvötavalla viljely oli 98 € tappiollista.

Taulukko 11. Kokonaiskustannus RME tonnin valmistamiseksi 70 % käyttöasteella

Kannattavuuslaskelma €/t _{RME}	Suorakylvö	Perinteinen viljely
Rypsin viljely	$2,91ha \cdot (-30€ / ha) \approx -87€$	$2,63ha \cdot 98€ / ha \approx 258€$
Biodieselin valmistus	335	335
Verot (polttoöljy)	71	71
	319	664

Taulukon 11. mukaan biodieselin litrahinnaksi tulee suorakylvöä käyttäen 0,281 €/l ja perinteistä kylvötapaa käyttäen 0,584 €/l ilman sivutuotteista saatuja etuja. Koska polttoöljyn hinnan oletetaan nousevan entisestään, on biodieselin maatilamittakaavainen valmistus kannattavaa, jopa ilman sivutuotteista saatavaa kustannushyötyä. Rypsi-rouheen, glyserolin sekä korren antamat kustannushyödyt on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Biodieselin valmistuksessa syntyvien tuotteiden antama substituutiohyöty valmistuskustannuksiin

Substituutiohyödyt €/t _{RME}	Suorakylvö	Perinteinen
Rypsirehu korvaa soijarehua	-481	-535
Glyseroli korvaa haketta	-6	-6
Korsi korvaa haketta	-71	-85
	-558	-626

Biodieselin sivutuotteena syntyvä rouhe antaa maanviljelijälle erinomaisen kustannus-
edun, mikäli se voidaan käyttää eläinten ravinnoksi. Korresta saatava kustannushyöty
on myös merkittävä, mikäli maatilalla on mahdollista säilyttää ja polttaa kortta. Suora-
kylvetyn rypsin kaikkien sivutuotteiden antama kustannushyöty biodieselitraa kohden
on 0,491 €/l ja perinteistä kylvötapaa käyttäen 0,551 €/l. Mikäli oletetaan, että korsi
jätetään maahan antavat rouhe ja glyseroli biodieselille suorakylvömenetelmällä 0,428
€/l ja perinteisellä kylvötavalla 0,476 €/l kustannushyödyn.

Kuten taulukoista 11. ja 12. voi havaita, on biodieselin maatilamittakaavainen tuotanto
suorakylvöä käyttäen erittäin kannattavaa. Suorakylvömenetelmää käyttäen sivutuottei-
den antamat kustannusedut ovat niin merkittävät, että ne ylittävät biodieselin tuotanto-
kustannukset, jolloin biodieselin tuotanto on liiketaloudellisesti kannattavaa. Suorakyl-
vö on kuitenkin vielä suhteellisen uusi viljelymenetelmä rypsilille, ja sen viljelytekniikan
ja satovarmuuden parantamiseksi on tutkimusta suorakylvöstä lisättävä.

Perinteistä viljelytapaa käyttäen jää biodieselin kustannuksiksi sivutuotteiden kustan-
nushyödyt huomioiden 38€/t eli 0,033 €/l. Koska voidaan olettaa, että mineraalipolttoöl-
lyn hinta jatkaa nousuaan on biodieselin maatilamittakaavainen tuotanto myös perinteis-
ellä viljelytavalla erittäin kannattavaa.

Biodieselin maatilamittakaavaisen valmistuksen etuna on, että seuraavan vuoden rypsi-
pellot voidaan viljellä biodieselillä. Taulukossa 13. on esitetty seuraavien vuosien kus-
tannukset kun polttoaineena käytetään perinteisellä viljelytekniikalla viljellystä rypsiä
tuotettua biodieselillä. Tällöin rypsihehtaarin viljelyn kustannukset jäävät 23 € positiivi-
selle, ajatellen biodieselin valmistusta.

Taulukko 13. Kokonaiskustannus RME tonnin valmistamiseksi 70 % käyttöasteella,
maatilalla tuotetulla biodieselillä viljellystä rypsiä

Kannattavuuslaskelma €/t _{RME}	Perinteinen viljely
Rypsin viljely	$2,63ha \cdot -23€ / ha \approx -60€$
Biodieselin valmistus	335
Verot	71
	346

Taulukon 13. mukaan biodieselin hinnaksi seuraavana vuonna, kun rypsin viljely voidaan hoitaa biodieselillä tulee 346 €/t eli 0,305€/l. Mikäli sivutuotteista saatavat kustannushyödyt (Taulukko 12) otetaan huomioon jää biodieselin valmistus 280 €/t plussan puolelle, jolloin biodieselin valmistuksesta perinteisellä kylvötavalla tulee liiketaloudellisesti kannattavaa.

Mikäli maanviljelijä alkaa myydä valmistamaansa biodieseliä, on hänen varmistuttava sen laadusta ja myydystä biodieselistä tulee maksaa 22 %:n arvonlisävero. Leena Malkki⁹ on erikoistyössään tutkinut menetelmiä, joilla maatilamittakaavainen laadunvarmistus onnistuu. Myös rehun myynnistä on tehtävä kirjallinen ilmoitus ja viljelijän rekisteröidyttävä rehun valmistajaksi ja näin otettava vastuu rehun laadusta.³⁶

Mikäli perinteisellä viljelytavalla tuotetusta rypsistä valmistetun biodieselin tuotantohintaan 593 €/t eli 0,522 €/l ilman veroja, lisätään rikillisen polttoaineen vero 0,3459 €/l ja arvonlisäveron osuus 22 %, saadaan biodieselin hinnaksi 1,059 €/l. Mikäli tila voi käyttää itse hyödyksi kaikki sivutuotteet jää biodieselin tuotantohinnaksi rikillisen dieselöljyn vero mukaan laskettuna 0,317 €/l. Nykyisellä polttoöljyn hintatasolla 0,612 €/l biodieselin myyminen olisi siis kannattavaa, jos sivutuotteiden antamat kustannushyödyt voidaan käyttää hyväksi.

9. VERTAILUKOHDE: BIODIESELIN ASEMA SAKSASSA

Saksalainen tieliikenne käyttää vuosittain n 55 Mtoe polttoainetta, josta biodieselin osuus on noin 900 000 toe.²⁴ Saksassa biodieselin käyttö toteutetaan lähes kokonaan seoskäyttönä. Saksan esimerkillisen biodieselikäytön takana on 1990-luvulla alkanut poliittisen muutoksen aikakausi. Ennen vuotta 1990 Saksaa voitiin kuvata uusituvan energian käytön antiteesiksi, mutta tämän jälkeen uusiutuvista energianlähteistä tuotettua energiaa on alettu tukea. Vuonna 2000 Saksassa säädettiin laki joka tarjoaa runsaita tukia bioenergialle.⁵⁹

Saksassa on ollut vuodesta 2004 lähtien voimassa nollaverotus biodieselille¹⁴, mikä tarkoitti n. 0,47 €/l¹³. Saksan hallitus kuitenkin asetti elokuussa 2006 9 sentin veron biodieselille, joka laskee biodieselin kulutusta huomattavasti.⁶⁰ Vuoden 2006 joulukuussa biodieseliä myytiin yli puolet vähemmän kuin edellisvuotena. Saksalaiset biodieseljalostamot pitävät veropäätöstä nurinkurisena, sillä se ei lainkaan tue EU:n asettaman biopolttoainedirektiivin toteutumista.

Saksan biodieselin tuotantokapasiteetti on kasvanut viime vuosina huomasti. Vuonna 2006 se oli noin 2,7 miljoonaa tonnia kun se vuonna 2004 oli reilu miljoona tonnia.² Uuden veron lisäksi biodieselin hintaa Saksassa nostaa biodieselin kysynnästä johtuva kasviöljyjen hinnannousu. Litra biodieseliä maksaa Saksassa enää vain 3 senttiä vähemmän kuin mineraalidiesel, mutta autot kuluttavat enemmän biodieseliä, joten sen käyttäminen ei autoilijoille enää kannata. Hintaeron tulisi olla noin 10 sentin luokkaa, jotta biodieselin käyttö kannattaisi.⁶⁰

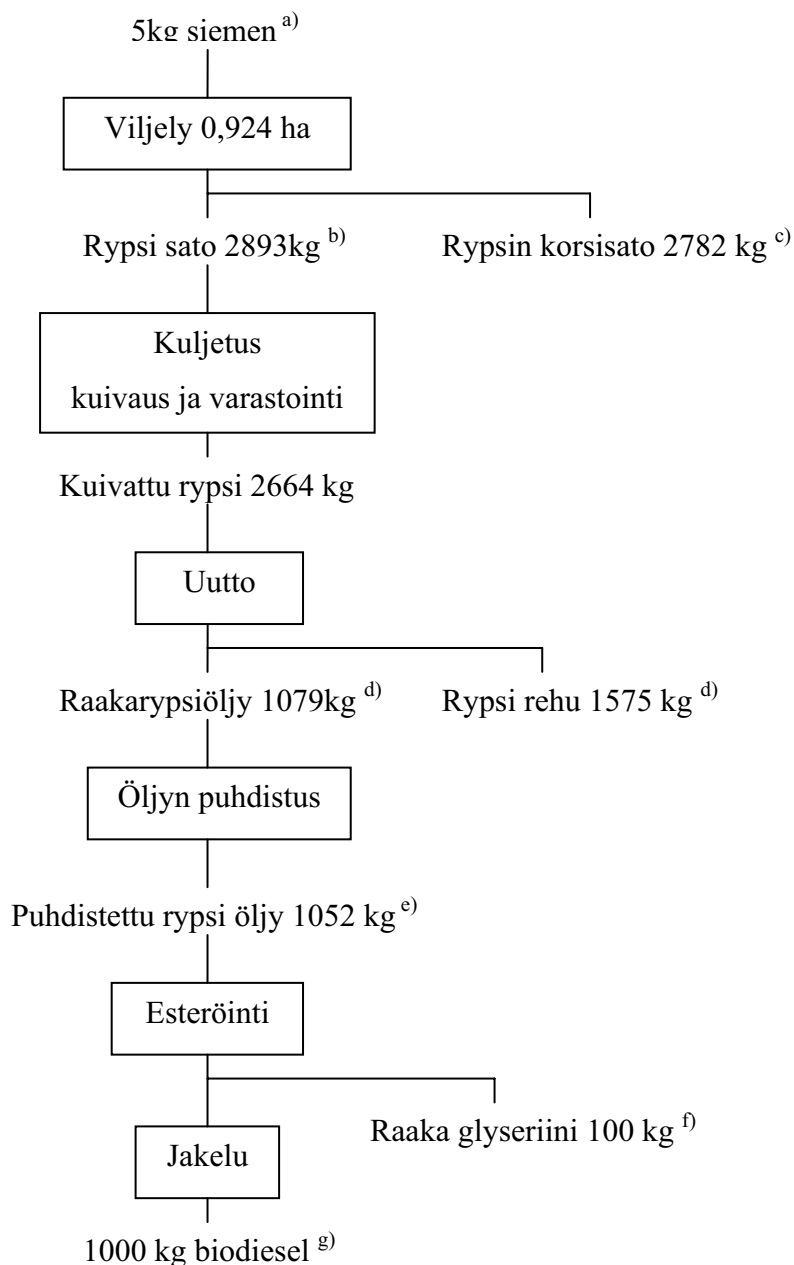
Saksassa biodieseliä tuotetaan pääasiassa rapsista, mutta myös käytetyistä paistirasvoista, eläinrasvoista sekä muista öljykasvien öljyistä tuotetaan biodieseliä. Vuonna 2005 Saksassa oli ainoastaan kaksi suuremman kokoluokan jalostamoja, jotka sijaitsivat öljypuristamoiden yhteydessä.¹⁴ Niiden kapasiteetti on noin 200 000 t vuodessa. Useimmat Saksan biodieseltuotantolaitokset ovat kokoluokkaa 2000 t – 150 000 t vuodessa ja niiden tuotantoteknologia vaihtelee suuresti kokoluokan ja raaka-aineen mukaan. Paisto- sekä eläinrasvoja käytettiin Saksassa biodieselin valmistukseen vuonna 2004 kaikkiaan 47 000 tonnia. Rapsin viljelyyn, biodieselin valmistuksen raaka-aineeksi, käytettiin

vuonna 2004 Saksassa noin 650 000 ha sekä lisäksi rapsiöljyä tuotiin maahan biodieselin raaka-ainetarpeen täyttämiseksi.

9.1 Saksalainen energiataselaskelma

Tässä työssä tarkastellaan Englantilaisista N.D. Mortimer *et al.*⁴¹ Scheffield Hallam yliopistolle tekemää loppuraporttia, minkä tuloksia voidaan sellaisenaan verrata myös Saksalaiseen tuotantoon, sillä satotasot ja tuotantotavat ovat hyvin samankaltaisia.

Tutkimuksessa on käytetty hehtaarisatona n. 3000 kg, mikä vastaa myös keskiverto Saksalaista satotasoa. Kuvassa 27. on esitetty N.D. Mortimer *et al.*⁴¹ raportin tuotantoketju, jossa valmistetaan 1000 tonnia biodieseliä. N.D. Mortimer *et al.*⁴¹ ovat käyttäneet raportissaan uuttoa öljyn erotukseen jolloin öljyn saantoprosentiksi on saatu n. 40 %.



^{a)} Siementä kylvetään ADAS:n (Agricultural Development and Advisory Service) ohjeiden mukaan 5 kg/ha.

^{b)} Vuosien 1997-2000 rypsisadon keskiarvo. Puintikosteudessa (15%) hehtaarisato on 3074 kg, kuivattuna (kosteus 9 %) sato on 2900 kg/ha.

^{c)} Kuivattu rypsin korsisato. Perustuen rypsin siemenen ja korren suhteeseen 1:0,98

^{d)} Tonnista kuivattua rypsin siementä saadaan uuttamalla 405 kg raakarypsiöljyä ja 591 kg rypsirouhetta.

^{e)} Tonnista raakarypsiöljyä saadaan puhdistuksessa 975 kg puhdistettua öljyä.

^{f)} 100 kg glyserolia syntyy kun tuotetaan 1000 kg biodieseliä.

^{g)} 1203 kg:sta jalostamatonta rypsiöljyä saadaan 1143 kg biodieseliä.

Kuva 27. Biodieselin valmistusketju, uutto öljyn erotuksena.

Taulukossa 14. on esitetty primäärienergian kulutus eri työvaiheille keskitetyssä biodieselin tuotannossa, jossa öljy erotetaan uuttamalla.

Taulukko 14. Eri työvaiheiden primäärienergian kulutus

RME valmistus	Primäärienergia	
	(MJ/t _{RME})	(%)
Viljely		
Lannoitteet	3 962 ± 556	24
Muut	1 854 ± 239	11
Kuljetus	551 ± 22	3
Kuivaus	556 ± 85	4
Varastointi	214 ± 18	1
Uutto	2 394 ± 242	15
Jalostus	411 ± 34	3
Esteröinti	5 706 ± 607	35
Tehtaan ylläpito	162 ± 21	1
Jakelu	498 ± 21	3
Yhteensä	16 296 ± 896	1000

Energiataseeksi RME:n energiasisältöä kohden saadaan $0,44 \pm 0,02$ MJ/MJ_{RME}, joka on mitattu proportionaalisesti biodieselin energiasisältöä kohden, jonka oletetaan raportissa olevan 37,27 MJ/kg.

10. VERTAILUKOHDE: BIODIESELIN ASEMA RUOTSISSA

Vielä vuonna 2005 biodieseliä myytiin Ruotsissa alle 10 000 m³.⁶¹ Ruotsalainen Svenska Ecobränsle on rakentanut vuonna 2006 kapasiteetiltaan 45 000 t RME biodiesel laitoksen Karlshamniin. Tehdas käyttää pääsääntöisesti paikallista rypsiä raaka-aineenaan, mutta myös tuo osan raaka-aineestaan Tanskasta ja Saksasta. Svenska EcoBränslen tuotantokapasiteetti tulee lähivuosina vielä kaksinkertaistumaan, kunhan toinen tuotantoyksikkö valmistuu.⁴ Myös toinen laajempimittakaavainen RME tuotantolaitos on rakenteilla Ruotsin länsirannikolle Stenungsundiin. Tuotannon on määrä alkaa alkuvuodesta 2007 ja tehtaan tuotanto kapasiteetti on noin 53 000 t.⁶²

Ruotsin valtio on myöntänyt, EU:n sallimin keinoin biodieselin valmistajille verovapauden, joten biodiesel on ruotsissa täysin verovapaata. Ennen elokuuta 2006 oli Ruotsissa dieseliin sekoitetun biodieselin maksimi määräksi rajoitettu 2 %, mutta lakimuutoksen jälkeen biodieselin maksimi seossuhde on nostettu 5 %.⁶¹ Lakimuutoksen uskotaan lisäävän biodieselin kysyntä ja edesauttavan EU:n biopolttoaine direktiivin tavoitteiden täyttymistä.

Ruotsin hallitus on asettanut tavoitteeksi riippumattomuuden öljystä vuoteen 2020 mennessä. Tavoitteiden täytyminen edellyttää tieliikenteen kulutuksen pienentymistä 30-40 % sekä kotimaisten biopolttoaineiden tuotannon kasvua. Öljyomavaraisuuden takaamiseksi tarvitaan energiakasvien viljelyyn noin 300 000-500 000 ha peltoa.⁶¹

Rapsia ja rypsiä viljellään Ruotsin etelä ja keskiosissa. Viljelyala oli vuonna 2006 noin 90 000 ha.⁶¹ Keskisato on Ruotsissa huomattavasti Suomea suurempi. Tämä johtuu rapsin yleensäkin paremmasta satotasosta sekä suotuisemmista viljelyolosuhteista. Ruotsin keskimääräinen satotaso syysrapsille on noin 3000 kg/ha ja kevätrapsille noin 2000 kg/ha⁶¹, kun suomen keskimääräinen rypsisato on viime vuosina ollut noin 1350 kg/ha. Vaikka rapsin viljelyala on Ruotsissa viime vuosina kasvanut huomattavasti ja kasvanee entisestään, joutuvat uudet tuotantolaitokset turvautumaan ulkomailta tuotuun öljyyn.

10.1 Ruotsalainen energiatasetelaskelma

Tässä työssä tarkastellaan Uppsalan yliopiston maataloustieteiden laitokselle tehdyn väitöskirjan energiatasetelaskelmia pienimuotoiselle biodieselin valmistukselle Ruotsissa⁴⁹. Laskelmissa tarkastellaan tilaa, jonka peltoala on 40 ha. Tästä alasta pienimuotoiseen RME:n valmistukseen on käytetty 10 % eli 4 ha. Lisäksi vertailukohtana tutkimuksessa verrataan keskiuurta jalostusta, jossa käytettävissä oleva pelto ala oli 1000 ha, josta rapsin viljelyyn käytettiin 5 % eli 50 ha. Allokointi tässä tutkimuksessa on tehty energiatasetelaskelmojen avulla taulukon 15. mukaisesti.

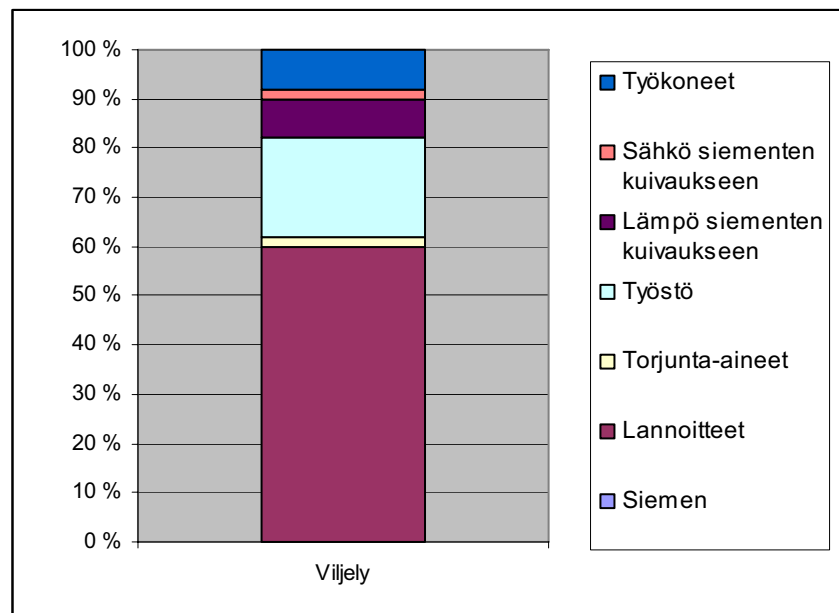
Taulukko 15. Allokointiin käytetyt energiaosuudet

RME tuotanto	Tuote (kg/ha)	LHV (MJ/kg)	Energian tuotanto (GJ/ha)	Osuus %
RME	730	38,5	28	45 %
Glyseriini	80	17,1	1,4	2 %
Rehu	1630	20,1	32,6	53 %
Yhteensä			62,0	100 %

Pienimuotoisessa jalostuksessa ei rapsin siementen kuljetusmatkoja huomioitu lainkaan ja keskiuuren jalostuksen kuljetusmatkoiksi oletettiin 7 km. Valmistettu RME, sekä rapsirehu ja muut sivutuotteet oletettiin kuljetettavan takaisin tilalle keskiuuresta jalostamosta, jotta tarkasteluista saatiin yhdenveroiset. Öljyn erotuksen hyötysuhteeksi laskelmissa on oletettu maatilamittakaavan laitteistolle 68 % ja 75 % keskiuuressa valmistuksessa. Kummassakaan tapauksessa ei käytetty heksaaniuuttoa. Energiankulutus RME tuotannossa on kuvattu taulukossa 16. Viljelyn energiankulutuksen jakautuminen on esitetty kuvassa 28.

Taulukko 16. Energiankulutus RME tuotannossa

Työvaihe	Energian kulutus	Energian kulutus
	Pienimuotoinen	Keskiuuri jalostus
Viljely	12 000 MJ/ha	12 000 MJ/ha
Siementen puristus	0,36 MJ/kg	0,216 MJ/kg
Esteröinti	0,60 MJ/kg _{RME}	0,60 MJ/kg _{RME}
Yhteensä	0,300 MJ/MJ _{fuel}	0,281 MJ/MJ _{fuel}



Kuva 28. Energiankulutuksen jakautuminen rapsin viljelyssä.

Keskisuuri jalostus kulutti kokonaisuudessaan vähemmän energiaa kuin pienimuotoinen jalostus vaikkakin siinä kuljetuksista aiheutui lisäenergiantarvetta.

11. VERTAILUKOHDE: BODIESELIN ASEMA YHDYSVALLOISSA

Myös Yhdysvalloissa biodieselin tuotantomäärät ovat kasvamassa uusien biopolttoaineita tukevien lakejen ansiosta. Vuonna 2006 oli biodieselin tuotantomäärä noussut jo 450 tuhanteen tonniin, kun se vuonna 2005 oli noin 250 tuhatta tonnia.⁶¹ Tuotantolaitoksia vuonna 2006 oli 65 kappaletta ja noin 50 uutta tuotantolaitosta rakennetaan, joidenka valmistuttua kapasiteetin arvioidaan nousevan noin 1100 miljoonaan gallonaan eli noin 3,6 miljoonaan tonniin.⁶³

*Myös Yhdysvalloissa on biodieselille annettu määräaikaista verohelpotuksia.*⁶³ Samankaltaisesti Ruotsin mallin mukaan, verohelpotuksen saavat yritykset jotka sekoittavat biodieseliä mineraalidieselin sekaan. Verohelpotus on suuruudeltaan yksi dollari gallonaa kohden. Myös pieniä biodiesellaitoksia tuetaan verohelpotuksin. Laitoksille myönnetään 15 miljoonaan gallonaan eli 66 tuhanteen tonniin asti 10 sentin verohelpotus per gallona.

Yhdysvaltojen tärkein biodieselin raaka-aine on soijapapu. Yhdysvallat onkin maailman suurimpia soijan tuottajia. Yhdysvalloissa viljeltiin vuonna 2005 noin 85 miljoonaan tonnia soijaa.⁶¹ Soijan tärkein jalostustuote tällä hetkellä on siitä saatava rehu ja öljy on vain sivutuote, sillä soija sisältää vain noin 18,4 % öljyä.⁶⁴ 90 % yhdysvaltain biodieselistä valmistetaan soijaöljystä, sillä sitä on runsaasti saatavilla ja sen markkinahinta on siksi kohtuullinen. Soijan rehu tuotannon jakelun ja prosessoinnin infrastruktuuri on jo olemassa mikä edesauttaa siitä valmistettavan biodieselin tuotannon kasvua.

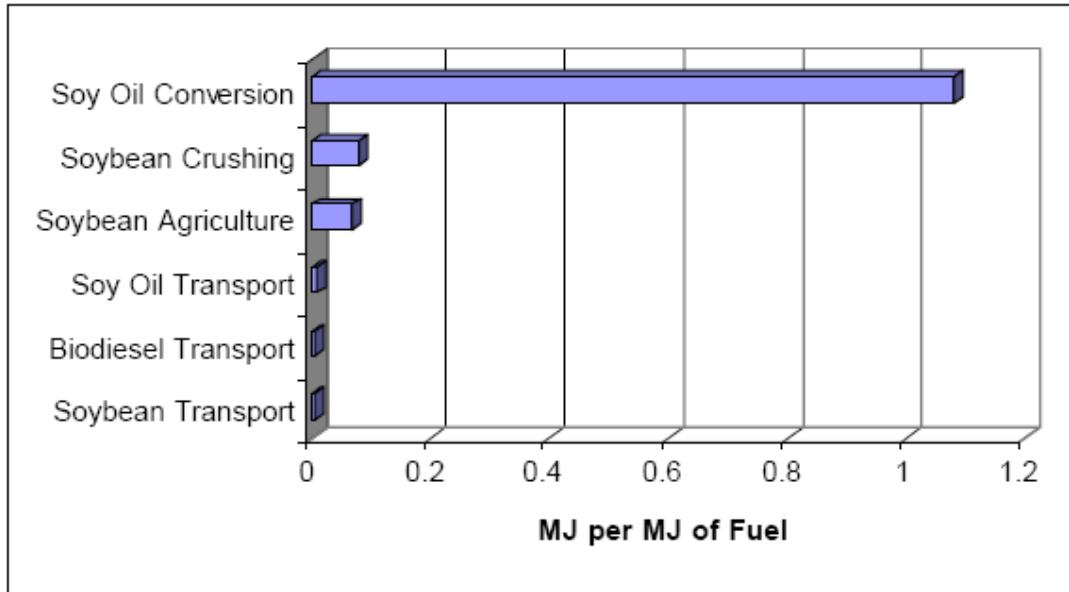
11.1 Yhdysvaltalainen energiataselaskelma

Energiataselaskelma on Yhdysvaltojen maatalous- ja energiaministeriön tilaaman tutkimuksen loppuraportista.⁶⁴ Energiataselaskelmissa on otettu huomioon soijanpavun viljelyn vaatima työkoneiden energia sekä lannoitteiden kuljetuksen sekä valmistuksen vaatima energia.. Kuljetusmatkaksi viljelijältä puristamolle on oletettu n. 75 mailia eli n. 120 km. Soija oletetaan korjattavaksi 16 % kosteudessa ja kuivattavaksi puristamolla 11

-%:n kosteuteen. Kuivatuksen energiankulutus on lisätty puristuksen energiakulutukseen. Puristamon kapasiteetin oletetaan olevan noin 2 270 tonnia päivässä mistä saadaan noin 400 tonnia päivässä soijaöljyä. Tutkimuksessa soijarehun osuus puristuksen energiantarpeesta on allokoitu massataseiden avulla. Puristuksen energiantarpeeksi on otettu vain öljyn massaprosenttiosuus. Kuljetus esteröintilaitokselle on oletettu tapahtuvan junalla ja sen keskimääräiseksi pituudeksi on oletettu 570 mailia eli 917 km. Vaihtoesteröintilaitoksen teoreettisen saannon on oletettu olevan noin 97 % ja sen kapasiteetin oletetaan olevan 94 500 m³/vuosi. Glyseroli on allokoitu massataseiden perusteella siten, että esteröinnissä tarvittua energiasta on poistettu glyserolin osuus. Soija öljyn konversioon on sisällytetty soijapapuihin sitoutunut aurinkoenergia, joka yhdistetään soijaöljyyn (taulukko 17. ja kuva 29.)). Biodieselin kuljetus jakeluasemille tapahtuu säiliöautoilla ja kuljetusmatkaksi on oletettu noin 100 mailia eli noin 160 km.

Taulukko 17. Soijabiodieselin primäärienergian kulutuksen jakautuminen

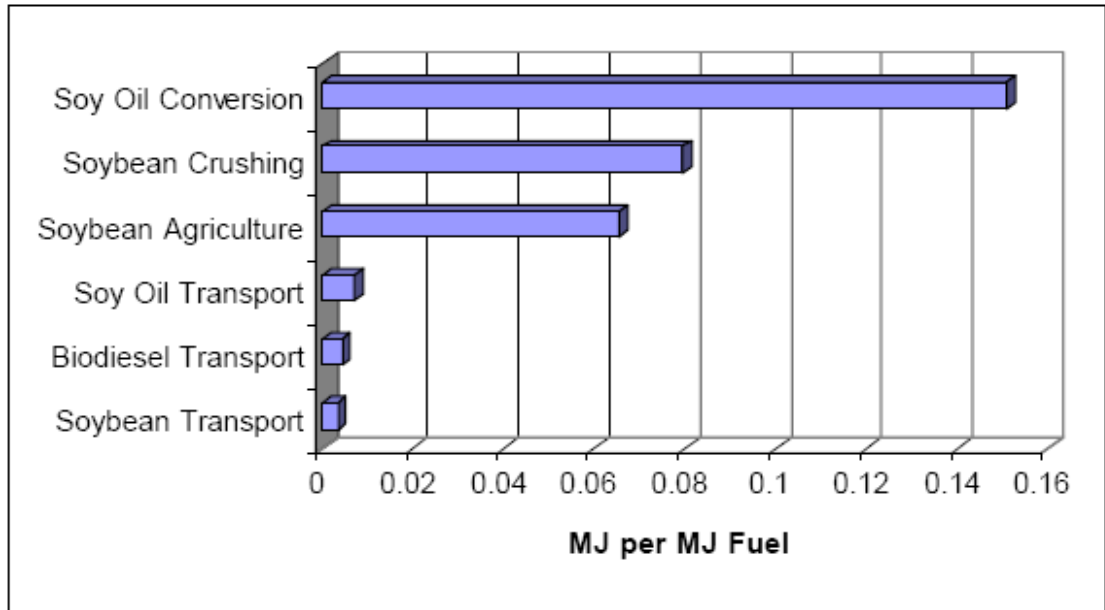
Stage	Primary Energy (MJ/MJ _{fuel})	Percent
Soybean Agriculture	0,0660	5,32%
Soybean Transport	0,0034	0,27%
Soybean Crushing	0,0803	6,47%
Soy Oil Transport	0,0072	0,58%
Soy Oil Conversion	1,0801	87,01%
Biodiesel Transport	0,0044	0,35%
Total	1,2414	100%



Kuva 29. Primäärienergian kulutus biodieselin valmistuksessa soijapavuista

Taulukko 18. Fossiilisen energian kulutuksen jakautuminen soijabiodieselin valmistuksessa

Stage	Fossil Energy (MJ/MJ _{fuel})	Percent
Soybean Agriculture	0,0656	21,08%
Soybean Transport	0,0034	1,09%
Soybean Crushing	0,0796	25,61%
Soy Oil Transport	0,0072	2,31%
Soy Oil Conversion	0,1508	48,49%
Biodiesel Transport	0,0044	1,41%
Total	0,3110	100%



Kuva 22. Soijabiodieselin fossiilisen energian kulutus.

Soijabiodieselin valmistus kuluttaa primäärienergiaa taulukon mukaan yhteensä 1,2414 MJ/MJ_{pa} sekä fossiilista energiaa 0,311 MJ/MJ_{pa}.

12. TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Jatkuvasti nouseva polttoöljyn hinta vaikuttaa myös maaseudun elinvoimaisuuteen sekä suomalaisen maatalouden kilpailukykyyn. Rypsiä maatilalla omaan käyttöön valmistettava biodiesel on maatalouden kilpailukykyä parantava tekijä, joka samalla luo myös jatkuvuutta ja elinvoimaisuutta tiloille.

Jotta Euroopan Unionin vuodelle 2010 asettama 5,75 % liikenteen biopolttoaineiden osuus koko liikenteen energiankulutuksesta täytyisi biodieselin osalta, vaatisi se biodieselin tuotantoon yli 250 000 hehtaarin rypseltoalan, n. 1300 kg hehtaarisadolla kuten Maa- ja metsätalousministeriön asettama työryhmä on muistiossaan²⁸ todennut. Koska rapsin hehtaarisato on suotuisilla kasvupaikoilla rypsiä suurempi, kannattaa rapsin viljely öljykasviksi tietyin paikoin rypsiä paremmin.

Suomeen ollaan suunnittelemassa myös laajempimittakaavaisia biodieselin tuotantolaitoksia. Esimerkiksi Päijät-Hämeeseen Asikkalaan kaavaillaan 6 500 tonnin biodiesel laitosta, jossa tuotettua biodieseliä on tarkoitus ainakin alkuvaiheessa, pääosin käyttää talojen lämmitysöljynä.⁴⁸ Myös Neste Oil Oy:n on kasvattamassa biodieselpotentiaaliaan rakentamalla toisen NExBTL laitoksen jonka kapasiteetti on noin 170 000 m³/a. Mikäli Suomessa haluttaisiin muiden Euroopan Unionin jäsenmaiden kaltaisia laajempimittakaavaisia RME tuotantolaitoksia, tulisi biodieselin valmistusta tukea valtion toimesta esimerkiksi verohelpotuksin. Tällaisen verohelpotuksin tuetun biodieselin positiivisista vaikutuksista on useita esimerkkejä Saksasta ja esim. Ruotsista.

Koska moottoriajoneuvokäyttöön myytävän biodieselin tulee täyttää EU:n standardin EN 14214 mukaiset vaatimukset, tulee biodieselin laatua tarkkailla. Leena Malkki⁹ on erikoistyössään etsinyt yksinkertaisia menetelmiä maatilamittakaavaisen biodieseltuotannon laadun tarkkailuun heti valmistamisen jälkeen. Näillä menetelmillä voidaan varmistaa biodieselin standardinmukaisuus maatilalla ja näin taata myös mahdollisesti myyntiin menevän biodieselin laatu.

12.1 Työllisyysnäkymät

Suomessa on jatkossa entisestään panostettava biopolttoaineiden tuotantoon kotimaisilla raaka-aineilla. Tällä tavoin saadaan luotua maataloustuottajille lisätuloja ja toimeentulojen jatkuvuutta. Laajempimittakaavaiset tuotantolaitokset lisäävät maakuntien elinvoimaisuutta ja tuovat samalla muutamia työpaikkoja. Biodieselin kotimaisella tuotannolla on myös merkittävä välillinen työllistävä vaikutus.

Suomessa on jo pitkään tutkittu ja suunniteltu teknologiaa biodieselin valmistukseen. Myös laitteistojen valmistuksella ja suunnittelulla on merkittävä välitön työllistävä vaikutus.

12.2 Esteet biodieselin matkassa

Suurimpana kynnyskysymyksenä biodieselin käytön ja valmistuksen lisääntymiselle voidaan pitää raaka-aineen tuotannon kannattamattomuutta suomen satotasolla. Mikäli maatalouden tukia ei maksettaisi ei rypsin viljely suomen satotasolla olisi kannattavaa. Näin ollen öljykasvien viljelyn tukitoimia tulisikin entisestään parantaa, jotta kiinnostus öljykasvien viljelyyn lisääntyisi. Suomessa, kotimaisten raaka-aineiden saatavuuteen tulisikin kiinnittää huomiota, sillä nykyiset rypsin ja rapsin tuotantomäärät eivät riitä kattamaan EU:n asettamia biopolttoainetavoitteita. Ulkomailta tuodut raaka-aineet alentavat biodieselin ympäristöystävällisyyttä ja asettavat kyseenalaiseksi sen ekologisuuden

Suomessa Biodieseliä verotetaan rikillisen dieselöljyn tavoin korkeamman veroluokan mukaan, vaikka rypsi biodiesel ei sisällä rikkiä lainkaan. Korkea verotus ei kannusta biodieselin tuotantoon, mikä jarruttaa pienten ja keskisuurten tuotantoyksiköiden suunnittelua ja toteutusta. Useiden Euroopan maiden sekä Yhdysvaltojen mukainen verohelppotus biodieselin tuottajille ei merkittävästi häiritsisi muiden polttoaineiden valmistajia. Myös ihmisten ja päättäjien ennakkoluulot biodieseliä ja kaikkia biopolttoaineita kohtaan on yksi biodieselin käytön lisääntymisen haasteista. Biopolttoaineiden julkista kuvaa tulisi parantaa ja ihmisten tietoisuutta lisätä, jotta biopolttoaineiden käyttöön saataisiin Suomessa yleinen mielenkiinto.

Biodieselillä on nykyisin hyvin olematon jakeluverkko Suomessa. Jakeluverkkoa tulisi kehittää kattavammaksi ja samalla kiinnittää huomiota biodieselin varastointiin ja logistiikkaan niin, että siitä saataisiin energiatehokas ja toimiva.

Tämänhetkiset standardit niin EU:n kuin autonvalmistajien keskuudessa asettavat tiettyjä rajoitteita biodieselin käytölle. Autonvalmistajien intresseissä on hyvä suorituskyky kun taas EU:n laatimat standardit painottavat biodieselin turvallisuutta ja ympäristöystävällisyyttä. EN 590 standardi sallii vain 5 % biodieselosuuden lisäämisen mineraalidieselin sekaan.¹ Mikä rajoittaa myös EU:n vuodelle 2010 asettama 5,75 % liikenteen biopolttoaineiden osuuden toteutumista.

13. YHTEENVETO

Ehtyvät öljyvarannot ja niiden kallis poraushinta ovat saaneet tutkijat pohtimaan vaihtoehtoisia menetelmiä liikenteen polttoaineiksi. Biopolttoaineet ovatkin kasvattaneet suosiotaan Euroopan Unionin jäsenmaissa, erityisesti Saksassa ja Ranskassa, mutta myös Suomessa ollaan kiinnostumassa biodieselin mahdollisuuksista. Biopolttoaineilla haetaan myös energiaomavaraisuuden lisäämistä. Euroopan Unioni velvoittaa jäsenmaitaan vuoteen 2010 mennessä käyttämään biopolttoaineita 5,75 %, energiasisällöstä laskettuna, kaikesta tieliikenteen käyttöön tarkoitettusta bensiinistä tai dieselöljystä.

Biodiesel on yleisnimitys uusiutuvista luonnonrasvoista vaihtoesteröimällä valmistetulle dieselpolttoaineelle, jota voidaan sellaisenaan käyttää uusimmissa dieselmoottoreissa tai lämmityslaitteissa. Biodieseliä voidaan myös sekoittaa eri suhteissa perinteiseen dieselöljyyn. Biodieselin raaka-aineena voidaan käyttää lähes minkä tahansa öljykasvin öljyä tai eläinrasvoja, kuin myös käytettyjä paistinrasvoja. Rypsiöljystä metaanilla esteröityä rasvahappoa kutsutaan rypsimetyyliesteriksi (RME). RME on rikitöntä, täysin luonnossa hajoavaa, eikä se sisällä toksisia yhdisteitä.

RME-biodieselin maatilamittakaavaisessa valmistuksessa rypsin siemen aluksi puristetaan mekaanisesti ruuvipuristimella, jolloin syntyy raakarypsiöljyä ja valkuaispitoiseksi eläin rehuksi kelpaavaa rypsirouhetta. RME:tä rypsiöljystä saadaan vaihtoesteröimällä öljy metanolilla katalyyttiä käyttäen. Sivutuotteena syntyy vahamaista glyserolia.

Puristettaessa rypsiä maatilakokoluokan puristimella saadaan biodieselin raaka-aineeksi soveltuvaa rypsiöljyä keskimäärin noin 25-32 %. Puristus voidaan tehdä joko kylmä- tai kuumapuristuksena. Puristimen esilämmittimellä öljysaanto paranee noin 5-10 %. Öljysaanto saadaan paranemaan myös käyttämällä taajuusmuuntajakäyttöistä spiraalikuljetinta, joka rajoittaa puristimelle menevää siemenmäärää tai vaihtoehtoisesti puristus voidaan suorittaa kahteen kertaan jolloin varmistetaan, että kaikki öljy on irronnut rouheesta.

Esteröintireaktiossa glyseroliin sitoutunut rasvahappoketju reagoi alkoholin kanssa, katalyytin läsnä ollessa, jolloin syntyy glyserolia sekä päätuotetta eli esteriä. Rypsiöljyn vaihtoesteröintireaktio tapahtuu kolmena reversiibelinä reaktiona. Ensimmäisessä vai-

heessa triglyseridi hajoaa diglyseridiksi, jonka jälkeen monoglyseridiksi ja edelleen glyseroliksi. Metyyliesteriä muodostuu kaikissa kolmessa vaiheessa. Biodieselin esteröinti-reaktion nopeuteen ja mekanismiin vaikuttaa suuresti myös katalyytin konsentraatio, vapaiden rasvahappojen määrä, reaktio lämpötila sekä epäpuhtaudet kuten vesi, joka saa aikaan saippuoitumisen.

Suomessa biodieselin pienmittakaavaisen, n. 60 ha tila, valmistuksen yleisimpänä raaka-aineena käytetään rypsiä ja rapsia, mutta myös sinapinsiemenistä valmistetaan biodieseliä. Tällä hetkellä rypsiä viljellään suomessa noin 100 000 hehtaaria, mikä ei riitä edes kotimaisen elintarviketeollisuuden tarpeisiin. Rypsin viljelyä onkin pyritty lisäämään sillä se lisää myös valkuaisainepitoisen rehun omavaraisuutta sekä monipuolistaa viljelykiertoa ja samalla ylläpitää maan kasvukuntoa. Seuraavan vuoden viljasadon onkin havaittu olevan noin 5-15 % parempi, kun lohkolla on viljelty rypsiä.

Rypsiä ei kuitenkaan voida viljellä samalla peltolohkolla kuin joka neljäs tai viides vuosi, jottei tautiriski kasva liian suureksi. Yleisesti rypsiä viljellään perinteistä kyntö, äestys, kylvömuokkaus menetelmää käyttäen, mutta rypsin viljelyyn soveltuu myös suora kylvömenetelmä. Siinä rypsin siemen kylvetään edellisen kasvuston sänkeen ilman minkäänlaista muokkausta. Suorakylvön ongelmana ovat edellisvuoden rikkakasvit, sillä torjunta-aineiden käyttö ei ole mahdollista, niinpä satoennuste on hieman perinteistä kylvötappaa pienempi.

Potentiaalisesti Suomessa olisi mahdollista viljellä rypsiä 250 000 ha alueella josta saataisiin valmistettua noin 112 500 tonnia biodieseliä mikä vastaa n. 5,6 % vuoden 2004 Suomen dieselpolttoaineen kokonaiskulutuksesta. Keski-Pohjanmaan maakunnan alueella olisi potentiaalisesti mahdollista viljellä rypsiä 14 900 ha alalla, josta voitaisiin maatilamittakaavan laitteistoilla tuottaa 5700 tonnia biodieseliä, mikä vastaa hieman alta tuhannen maatilan vuotuista polttoöljyn tarvetta tai vastaavasti 6450 keskikokoisen dieselauton vuotuista kulutusta.

Kun primäärienergia lasketaan RME:n energiasisältöä kohden, tarkoitta alle yhden primäärienergian kulutus RME:n energiasisältöä kohden sitä, että RME:n raaka-aineiden tuotannossa ja jalostuksessa kuluu vähemmän energiaa kuin mitä lopputuote sisältää. Biodieselin maatilamittakaavaisen tuotannon energiataseeseen biodieselin energiasisältöä kohden $0,925 \text{ MJ/MJ}_{\text{RME}}$ vaikuttaa huomattavasti lannoitteiden valmistuksesta ja

kuljetuksesta aiheutuvat primäärienergian kulutukset 0,321 MJ/MJ_{RME}. Lannoitteiden osuus biodieselin energiapanoksesta on n. 35 %. Myös siementen kuivaus säilytyskos-teuteen kuluttaa suhteessa koko viljelyketjuun paljon energiaa (0,091MJ/MJ_{RME} eli n. 10 %), minkä vuoksi sen tehokkuuteen onkin kiinnitettävä huomiota. Yksi vaihtoehto kuivauksen energiatehokkuuden lisäämiseksi voisi olla aurinkokeräimien käyttö, jolloin öljyn kulutus saataisiin minimoitua. Suorakylvön primäärienergian kulutus on useiden työvaiheiden poisjäännin vuoksi perinteistä kylvötapaa pienempi 0,800 MJ/MJ_{RME}, minkä vuoksi suorakylvömenetelmä on erittäin edullinen menetelmä biodieselin raaka-aineen, rypsin tuottamiseksi.

Rypsibiodieselin maatilamittakaavaisen tuotannon energiatehokkuuden kannalta on rouheen ja korren hyväksikäyttö erittäin merkittävää. Rouheen käyttö soijarehua kor-vaavana eläinravintona ei anna niin suurta primäärienergian substituutiohyötyä kuin rouheen poltto, mutta on eläintilalle merkittävä kustannushyöty. Korren hyödyntäminen vaatii tarkkuussilppurin sekä energiasisältöönnsä nähden melko suuret varastotilat. Pol-tettaessa kortta ovat sen pienhiukkaspäästöt melko suuret ja syöttäminen polttimeen sen keveyden vuoksi hankalaa. Kortta kannattakin polttaa hakkeen seassa, jolloin myös pienhiukkaspäästöt saadaan kuriin. Pelletöinnillä korresta saataisiin energiatehokkaam-paa ja helpommin tulipesään syötettävää, minkä takia pelletöinnin vaikutuksia biodiese-lin tuotannon energiataseeseen tulisikin jatkossa tutkia lisää. Samoin kokonaisten olki-paalien polton edellytyksiä tulisi Suomessa tutkia.

Maatilamittakaavaisen valmistuksen etuna on, että seuraavan vuoden rypsinviljely voi-daan hoitaa biodieselillä, mikä vähentää rypsin viljelyn primäärienergiankulutusta huo-mattavasti. Perinteisellä viljelytavalla biodieselillä viljelystä rypsistä valmistetun bio-dieselin energiankulutus biodieselin energiasisältöä kohden on 0,641 MJ/MJ_{RME} ja suo-rakylvöä käyttäen 0,632 MJ/MJ_{RME}. Suorakylvön primäärienergiankulutus ei laske niin dramaattisesti vähäisemmästä polttoöljyä vaativasta työmäärästä johtuen.

Rypsin rouheesta ja glyserolista saatavat substituutiohyödyt huomioiden saadaan perin-teisellä viljelytavalla tuotetusta rypsistä valmistetun biodieselin energiapanokseksi tuot-teen energiasisältöä kohden noin 48,5 %. Suorakylvöllä tuotetusta rypsistä valmistetun biodieselin energiapanos on noin 36 %, eli biodieselin valmistus kuluttaa 36 % biodie-selin antamasta energiasta. Seuraavana vuonna kun biodiesel voidaan valmistaa rypsis-tä, joka on viljelty biodieselillä, energiapanos kääntyy negatiiviseksi eli biodieselin

valmistus kuluttaa vähemmän energiaa kuin mitä sen sivutuotteena saatavat rehurouhe ja glyseroli antavat.

Suorakylvetyn rypsin viljely on huomattavasti edullisempaa kuin perinteisellä kylvötavalla tapahtuva viljely. Biodieselin kustannukseksi ilman korresta tai rypsirehusta saatavia kustannushyötyjä tulee suorakylvömenetelmää käyttäen puristimen ja esteröintilaitteiston käyttöasteen ollessa 70 % noin 319 €/t eli 0,281 €/l. Perinteistä kylvötapaa käyttäen biodieseltonni maksaa 664 €/t eli litralle hintaa tulee 0,584 €/l, johtuen kylvön useammasta työvaiheesta. Biodieselin sivutuotteena syntyvä rouhe antaa maanviljelijälle erinomaisen kustannusedun, mikäli se voidaan käyttää eläinten ravinnoksi. Oljesta saatava kustannushyöty on myös merkittävä, mikäli maatilalla on mahdollista säilyttää ja polttaa kortta. Suorakylvetyn rypsin sivutuotteiden antama kustannushyöty biodiesel-litraa kohden on 0,491 €/l ja perinteistä kylvötapaa käyttäen 0,551 €/l.

Biodieselin tuotannon etuna on että seuraavan vuoden rypsi voidaan viljellä omalla tilalla tuotetulla biodieselillä, jolloin polttoainekustannukset jäävät pois. Perinteistä kylvötapaa käyttäen seuraavan vuoden biodieselhinnaksi tulee 346 €/t eli 0,305 €/l ilman kustannushyötyjä sivutuotteista. Kustannushyödyt huomioiden jää biodieselin valmistus 280 €/t voiton puolelle.

Biodieselin maatilamittakaavainen valmistus on kannattavaa jo ilman sivutuotteista saatavia kustannushyötyjä. Mikäli sen sivutuotteita voidaan käyttää omalla tilalla hyödyksi, tulee biodieselin valmistuksesta liiketaloudellisesti kannattavaa. Rypsirouheen käyttö karjan rehuna alentaa karjan ruokintakustannuksia ja samalla lisää tilan omavaraisuutta. Biodieselin tuotantokustannuksia ja energiatasetta arvioitaessa onkin tärkeätä huomioida tuotteen koko elinkaari sivutuotteineen, sillä ne ovat olennainen osa biodieselin tuotantoprosessia.

Mikäli maanviljelijä alkaa myydä valmistamaansa biodieseliä, on hänen varmistuttava sen laadusta ja rekisteröidyttävä tullille, jolloin myydystä biodieselista tulee maksaa 22 %:n arvonlisävero. Myös rehun myynnistä on tehtävä ilmoitus ja näin otettava vastuu rehun laadusta.

Mikäli perinteisellä viljelytavalla tuotetusta rypsistä valmistetun biodieselin tuotantohintaan 593 €/t eli 0,522 €/l ilman veroja, lisätään rikillisen polttoaineen vero 0,3459 €/l

ja arvonlisäveron osuus 22 %, saadaan biodieselin hinnaksi 1,059 €/l. Mikäli tila voi käyttää itse hyödyksi kaikki sivutuotteet jää biodieselin tuotantohinnaksi rikillisen dieselöljyn vero mukaan laskettuna 0,317 €/l. Nykyisellä polttoöljyn hintatasolla 0,612 €/l biodieselin myyminen olisi siis kannattavaa, jos sivutuotteiden antamat kustannushyödyt voidaan käyttää hyväksi.

Vaikka biodieselin maatilamittakaavainen valmistus ilman valtion tukia onkin kannattavaa, on valtion kannustava veropolitiikka yksi avainasia Suomen biopolttoaineiden tulevaisuudelle. Biodieselin kotimainen valmistus parantaa maatalojen elinvoimaisuutta sekä työllisyyttä. Se myös parantaa maatalojen kilpailukykyä sekä Suomen riippumattomuutta ulkomaisista polttoaineista. Tämän vuoksi Suomessa onkin edelleen panostettava biodieselin sekä kaikkien muiden biopolttoaineiden tutkimukseen ja kehitykseen, jolloin niistä saadaan entistä kilpailukykyisempiä perinteisiin polttoaineisiin nähden.

LÄHTEET

1. L. Fagernäs, A. Johansson, C. Wilén, K. Sipilä, T. Mäkinen, S. Helynen, E Daugherty, H. den Uil, J. Vehlow, T. Kåberger ja M. Rogulska, *Bioenergy in Europe, Opportunities and Barriers*, Bioenergy NoE, VTT, Helsinki, 2006.
2. Statistics of the EU Biodiesel Industry, <http://www.ebb-eu.org/stats.php#>, EBB, European diesel Board, (13.5.2007).
3. Maa- ja Metsätalousministeriö, Peltobiomassa, liikenteen biopoltonesteet ja bio-kaasu -jaosto, loppuraportti 2007, työryhmämuistio 2007:2, 66s.
4. P. Erlandsson, Nyetablering av RME i Karlshamn, Svenska Ecobränsle Ab, *Lantmännen*, 2006.
5. L. Rantanen, R. Linnaila, P. Aakko, ja T. Harju, NExBTL - Biodiesel fuel of the next generation, Neste Oil, 2005-01-3771, 2005.
6. VTT käynnistää kaasutuskoelaitteiston toisen sukupolven biopolttoaineiden kehittämiseen, Liikenteen biopolttoaineita kilpailukykyisesti, <http://www.vtt.fi/uutta/2006/20061011.jsp>, VTT, (17.1.2007).
7. D. Bajpai, V.K. Tyagi, Biodiesel: Source, Production, Composition, Properties and its benefits, *Journal of Oleo Science*, 2006, 55(10) 487-502.
8. T. Hyttinen, *Bioöljyjen vaihtoesteröintiprosessit*, Diplomityö, Oulun yliopisto, Prosessitekniikan osasto, Oulu, 1997.
9. L. Malkki, *Rypsiöljyn metyyliesterin paikallinen valmistus ja käyttö*, Pro gradu-tutkielma, Jyväskylän yliopisto, Kemian laitos, uusiutuvan energian osasto, Jyväskylä, 2006.
10. K. Rahkamo, Biodiesel-esittely, Neste Oil Oyj, Capital markets day 2006.
11. R. Linnaila, Porvoon biodiesel-laitosinvestointi, Neste Oil Oyj, Öljykasvisseminari 9.3.2005.
12. T. Mäkinen, S. Soimakallio, T. Paappanen, K. Pahkala ja H. Mikkola, *Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit*, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT tiedotteita 2357, Helsinki, 2006.
13. Kauppa- ja teollisuusministeriö, *Liikenteen biopolttoaineiden tuotannon ja käytön edistäminen suomessa*, Työryhmän mietintö, KTM julkaisuja 11, Energiaosasto, 2006.

14. S.O. Gärtner and G.A. Reinhardt, *Biodiesel Initiatives in Germany*, Final Report, Ifeu-Institute for Energy and Environmental Research, Heidelberg, Saksa, 2005.
15. A. Lampinen ja E. Jokinen, *Suomen maatilojen energiantuotantopotentiaalit, Ekologinen perspektiivi*, Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 84, Jyväskylän yliopisto, 2006.
16. Euroopan Unionin direktiivi, Liikenteen biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden edistämisestä, 2003/30/EY.
17. Euroopan Unionin direktiivi, energiatuotteiden ja sähkön verotusta koskevan yhteisön kehyksen uudistamisesta, 2003/96/EY.
18. B. Lundström, Pohjanmaan TE-Keskus, Henkilökohtainen tiedonanto, 31.1.2007.
19. Maa- ja metsätalousministeriö, *Rypsin ja rypsin bioenergiakäyttö tilalla energiakasvituki- ja non food velvoitekesantojärjestelmässä*, ohjeet viljelijöille 2006.
20. Laki nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta 1472/2994.
21. Arvonlisäverolaki 13.12.1993/1501.
22. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Tiedotarkisto 215/2006, Liikennepolttoaineiden jakelijoille lakisääteinen velvoite aloittaa biopolttoaineiden jakelu, 2006.
23. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus TIKE, Peltokasvitilastot, Peltokasvien sato vuonna 2006.
24. A. Vihma, E. Aro-Heinilä ja M. Sinkkonen, *Rypsibiodieselin (RME) maatilatuotannon kannattavuus*, MTT:n selvityksiä 115, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, 2006.
25. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus TIKE, Peltokasvitilastot, Käytössä oleva maatalousmaa 14.12.2006.
26. H. Känkänen, Rypsin ominaisuudet viljelykierron ja suorakylvön kannalta, Valta-kunnallinen rypsipäivä, Hämeenlinna, 9.3.2006.
27. Öljykasvinviljelijän opas, <http://www.agronet.fi/rypsi2000/index.html>, päivitetty 3.5.2007.
28. Maa- ja Metsätalousministeriö, *Peltoviljelyn tulevaisuuden linjaukset suomessa*, Työryhmämuistio 2005:15, Helsinki, 2005.
29. A. Partala, Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus TIKE, henkilökohtainen tiedonanto, 25.1.2007.
30. E. Mikkola, Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus TIKE, Henkilökohtainen tiedonanto, 29.1.2007.
31. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus TIKE, Käytössä oleva maatalousmaa vuonna 2005 työvoima- ja elinkeinokeskuksittain, 29.11.2005.

32. T. Heikkilä, Etelä-Pohjanmaan TE-Keskus, henkilökohtainen tiedonanto, 31.1.2007.
33. J. Yli-Uotila, Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus TIKE, Maaseutuelinkeinorekisteri, Pelto- ja kevätrypsialoja kylä ja postinumeroalueittain Keski-Pohjanmaan maakunnan alueella, raportti t_029407, 2007.
34. S. Huttunen, *Paikallista kestävää energiaa – Uusiutuvan energian mahdollisuudet maataloilla*, Jyväskylän yliopiston biologian laitoksen tiedonantoja 80, Jyväskylä yliopisto, 2004.
35. M. Jylhä, Nordkalk Oyj, Henkilökohtainen tiedonanto, 6.3.2007.
36. Maa- ja Metsätalousministeriö, Energiakasvien tuen muutokset vuodelle 2007, Tukihakukoulutus tilanteen 22.1.2007 mukaan.
37. A. Kerminen, Energiaa omilta mailta, *Leipä leveämmäksi*, **2006**, 53(4), 30-34.
38. M. Malk, Energiakasvien tuki ja tilatason energiakäyttö, Tukikoulutus, 2006.
39. M. Lauronen, Nordkalk, Henkilökohtainen tiedonanto, 8.3.2007.
40. S. Ylisuutari, Kemira GrowHow, Henkilökohtainen tiedonanto, 4.5.2007.
41. N.D. Mortimer, P. Cormack, M.A. Elsayed and R.E. Horne, *Evaluation of the Comparative Energy, Global Warming and Socio-Economic Costs and Benefits of Biodiesel*, Final Report 20/1, School of Environment and Development, Sheffield Hallam University, Englanti, 2003.
42. M.A. Elsayed, R. Matthews and N.D. Mortimer, *Carbon and Energy Balances for a Range of Biofuel Options*, Final Report, Resources Research Unit, Sheffield Hallam University, Englanti, 2003.
43. Kemira Grow-How, Devrinol 450 SC, <http://www.kemira-growhow.com/FIN/fi/Products/Plant+Protection+FI/Herbicides+FI/devrinol.htm>, (3.5.2007).
44. P. Suomi, T. Lötjönen, H. Mikkola, A.M. Kirkkari ja R. Palva, *Viljan korjuu ja varastointi laajenevalla viljatilalla*, Maa- ja elintarviketalous 31, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT, 2003.
45. J. Solio, Preseco, Henkilökohtainen tiedonanto, 8.3.2007.
46. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset 2006, märehitjät – siat - siipikarja – turkiseläimet - hevoset MTT:n selvityksiä 106, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, 2006.
47. P. Janulis, Reduction of Energy Consumption in Biodiesel Fuel Life Cycle, *Renewable Energy* **2004**, 29, 861-871.

48. Pöyry, Lahden tiede- ja yrityspuisto Oy, *Selvitys rypsi- ja rapsipohjaisenkasviöljytuotannon logistiikkaketjun kehittämisestä Päijät-Hämeessä*, Raportti, 22.12.2006.
49. S. Bernesson, *Farm-scale production of RME and Ethanol Heavy diesel engines with Emphasis of Environmental Assessment*, Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Biometry and Engineering, Uppsala, Ruotsi, 2004.
50. E. Alakangas, *Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia*, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT tiedotteita 2045, Espoo, 2000.
51. P. Halonen, S. Helynen, M. Flyktman, E. Kallio, M. Kallio, T. Paappanen ja P. Vesterinen, *Bioenergian tuotanto- ja käyttöketjut ja niiden suorat työllisyysvaikutukset*, VTT tiedotteita 2219, Espoo, 2003.
52. C. Lillhonga, Kokkolan kaupungin maaseutuelinkeinoviranomainen, henkilökohtainen tiedonanto, 17.4.2007.
53. Lohkopankki, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT, agronet.fi, https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/AGRONET/kasvi/02_Kasvivilan%20tulokset/098/rypsi2005_kateC.htm, (19.4.2007).
54. Öljy ja kaasualan keskusliitto, Tilastot ja kaaviot, Kuluttajahintaseuranta, http://www.oil-gas.fi/files/260_HinnatjaverotSuomessa.pdf, (15.4.2007).
55. P. Luodema, Sixtek, Henkilökohtainen tiedonanto, 18.4.2007.
56. K. Jokisalo, Biottori Oy, Henkilökohtainen tiedonanto, 17.4.2007.
57. Pöyry Forest Industry Consulting Oy, *Metsäenergiantuotannon, korjuun ja käytön kustannustehokkuus sekä tukijärjestelmien vaikuttavuus päästökaupan olosuhteissa*, Maa- ja metsätalousministeriö, Loppuraportti 52A07161, Vantaa, 2006.
58. Virgino, Rypsin sopimusviljely, Viikkokohtaiset hinnat, <http://www.virgino.fi/rypsi/rypsi.html>, (9.5.2007).
59. P. Roberts, *Kun öljy loppuu - uuden energiatalouden vaihtoehdot*, Edita, Helsinki, 2006.
60. Biodieselin kulutus romahti Saksassa, *Keski-Pohjanmaa*, 3.2.2007.
61. B. Johnsson, och C. Lagerkvist, *Biodiesel - ett fordonsbränsle på frammarsch?*, Marknadsöversikt, Rapport 2006:21, Jordbruks verket, 2006.
62. A. Lexmon, *Sweden Oilseed and Products*, Nordic/Baltic Biofuels Report, USDA Foreign Agricultural Service, Gain Report Number: SW6012, 2006.
63. R. Schenpf, *Agriculture-Based Renewable Energy Production*, CRS Report for Congress, Congressional Research Service, U.S.A., 2006.

64. J. Sheehan, V. Camobreco, J. Duffield, M. Graboski and H. Shapouri, *Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in a Urban Bus*, Final report, the Natiolan Renewable Energy Laboratory, Colorado, U.S.A., 1998.

1. ESIMERKKILASKUT

Tilan vuotuinen rypsinviljelyalue on noin 15 ha ja satotaso 1500 kg 9 % kosteudessa, jolloin puintikosteudessa (20 %) rypsin sato on noin 1690 kg. Suorakylvetyn rypsin satotason on oletettu olevan 90 % perinteisen viljelyn satotasosta.

1.2 Polttoaineen kulutus

Polttoaineen kulutus hehtaarille viljelyketjun eri työvaiheissa on laskettu kappaleen 7.6.1 kaavan yksi mukaan, traktorin keskikulutus on oletettu olevan 15 l/h ja työsaavutus¹² esim. kynnössä on 0,7 ha/h.

$$V_{diesel} = \frac{15 \text{ l/h}}{0,7 \text{ ha/h}} = 321 \text{ l/ha}$$

Polttoaineen kulutus siementen siirrossa kuivuriin on laskettu kaavan kaksi mukaan. Kuljetusmatka pellolta kuivurille on keskimäärin 2 km ja traktorin lavan tilavuus 12 m³, mikä vastaa n. 6900 kg rypsin siemeniä sillä hehtolitra siemeniä painaa 58 kg.

$$V_{diesel} = \frac{25350 \text{ kg}}{6900 \text{ kg}} \cdot \left(15 \text{ l/h} \cdot \frac{2 \text{ km}}{8 \text{ km/h}} \right) = 13,8 \text{ l}$$

Siilokuivaus polttoöljyä käyttäen kuluttaa öljyä kaavan kolme mukaan. Öljyä kuluu 0,167 l/haihdutettu vesikilo. Kuivurin kapasiteetti on 8000 kg ja käyntiaika 8 h/erä kuivurin hyötysuhteeksi on oletettu 90 %.

$$V_{diesel} = (25350 \text{ kg} - 22500 \text{ kg}) \cdot 0,167 \text{ l/haihd.H}_2\text{Okg} = 476 \text{ l}$$

Sähköenergiaa kuivaukseen kuluu kaavan neljä mukaan:

$$E_{sähkö} = \frac{\left(\frac{25350\text{kg}}{8000\text{kg}}\right) \cdot 16\text{kW} \cdot 8\text{h}}{0,9} = 451\text{kWh}$$

Mikäli kuivaus tapahtuu hakelämmitteisellä siilokuivurilla, saadaan hakkeen valmistamiseen tarvittava öljymäärä laskettua kaavan viisi mukaan. Kuivaukseen kuluu haketta 0,56 kg/haihdutettu vesikilo ja sen valmistamiseen kuluu polttoöljyä 12,2 l/tonni. Kuivurin sähköenergian tarve lasketaan kuten öljykäyttöisissäkin kuivurissa, mutta hyötysuhteeksi on oletettu 75 %.

$$V_{diesel} = (25350\text{kg} - 22500\text{kg}) \cdot 0,56 \frac{\text{kg}}{\text{haihd.H}_2\text{Okg}} \cdot 0,0122 \frac{\text{l}}{\text{kg}} = 19,5\text{l}$$

Rypsin siementen varastointi kuluttaa energiaa keskimäärin 0,08 kWh/tonni. Varastoinnin energiankulutus voidaan arvioida kaavan kuusi mukaan.

$$E_{sähkö} = \frac{22500\text{kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{t}}} \cdot 0,08 \frac{\text{kWh}}{\text{t}} = 1,8\text{kWh}$$

1.2 Primäärienergian laskeminen

RME-biodieselin valmistuksen kuluttama primäärienergia RME litraa kohden lasketaan kaavojen 7-23 avulla.

Viljelyn eri työvaiheiden: kynnön, kalkin levityksen, tasausäestyksen, kylvömuokkauksen, kylvö- ja lannoitustyön, jyräyksen, tuholaitosten torjuntatyön, puinnin ja korren korjuun primäärienergian kulutus lasketaan kaavan seitsemän avulla. Myös suorakylvön kylvö/lannoitustyön kuluttama primäärienergia saadaan kaavan seitsemän avulla siten että rypsisato on vain 90 % perinteisen kylvöketjun sadosta. Esimerkiksi kynnön primäärienergian kulutus voidaan laskea yllä lasketun kulutuksen mukaan. dieselin tiheys on 0,88 kg/l ja sen alempi lämpöarvo 43 MJ/kg. Laskelmissa käytetään primäärienergi-

an muuntokerrointa joka on dieselille 1,16 MJ_{prim}/MJ_{pa}. Biodieselin saanto siementon-
nista on 32 % ja sen alempilämpöarvo on 37,5 MJ/kg.

$$E = \frac{21,4 \text{ l/ha} \cdot 0,88 \text{ kg/l} \cdot 43 \text{ MJ/kg} \cdot 1,16}{1500 \text{ l/ha} \cdot 0,32 \text{ tRME/tsiemen} \cdot 37,5 \text{ MJ/kg}} = 0,052 \text{ MJ/MJ}_{RME}$$

Kalkin valmistuksen ja tilalle kuljetuksen kuluttama primäärienergiämäärä RME:n energiasisältöä kohden saadaan laskettua kaavan kahdeksan avulla. Kalkin valmistuksen energiankulutuksen 260 MJ/t on oletettu jakautuvan tasan sähköön ja polttoöljyyn. Kalkkia levitetään joka 10. vuosi 5 t/ha. Sähköenergia muutetaan primäärienergiaksi muuntokertoimella 2,3. Kalkin kuljetus kulutta polttoainetta 18,48 g/t,km ja kuljetus-
matkan oletetaan olevan n. 20 km.

$$E = \frac{\left(\frac{260 \text{ MJ/t} \cdot 0,5 \cdot 2,3 \cdot 5 \text{ t/ha}}{1500 \text{ kg/ha} \cdot 0,32 \cdot 37,5 \text{ MJ/kg}} \right) + \left(\frac{260 \text{ MJ/t} \cdot 0,5 \cdot 1,16 \cdot 5 \text{ t/ha}}{1500 \text{ kg/ha} \cdot 0,32 \cdot 37,5 \text{ MJ/kg}} \right)}{10} + \frac{\left(\frac{0,01848 \text{ kg/t,km} \cdot 43 \text{ MJ/kg} \cdot 1,16 \cdot 20 \text{ km} \cdot 5 \text{ t/ha}}{1500 \text{ kg/ha} \cdot 0,32 \cdot 37,5 \text{ MJ/kg}} \right)}{10} = 0,013 \text{ MJ/MJ}_{RME}$$

Torjunta-aineiden valmistuksessa kuluva primäärienergia RME:n energiasisältöä kohden lasketaan kaavan yhdeksän perusteella. Torjunta-aineiden valmistus kuluttaa primäärienergiaa 377 MJ/t, tiheys on 1,08 kg/l ja käyttömäärä 2 l/ha.

$$E = \frac{377 \text{ MJ/t} \cdot 1,08 \text{ kg/l} \cdot 2 \text{ l/ha}}{1500 \text{ kg/ha} \cdot 0,32 \cdot 37,5 \text{ MJ/kg}} = 0,045 \text{ MJ/MJ}_{RME}$$

Lannoitteiden valmistus ja rahti kuluttaa primäärienergiaa RME:n energiasisältöä kohden kaavan 10 mukaan. Lannoitteena käytettävän Syysviljan-Y2 valmistuksen primäärienergiankulutus on 12,9 MJ/kg ja tarpeeksi suuren typpimäärän takaamiseksi lannoit-

teita on levitettävä 435 kg/ha. Kuljetus tapahtuu täysin rekkakuormina Siilinjärven tehtaalta jonne matkaa on noin 250 km.

$$E = \left(\frac{11,32 \text{ MJ/kg} \cdot 500 \text{ kg/ha}}{1500 \text{ kg/ha} \cdot 0,32 \cdot 37,5 \text{ MJ/kg}} \right) + \left(\frac{0,01848 \text{ kg/t, km} \cdot 43 \text{ MJ/kg} \cdot 1,16 \cdot 0,500 \text{ t/ha} \cdot 250 \text{ km}}{1500 \text{ kg/ha} \cdot 0,32 \cdot 37,5 \text{ MJ/kg}} \right)$$

$$= 0,321 \text{ MJ/MJ}_{RME}$$

Siementen kuivuriin kuljetuksen kuluttama primäärienergia lasketaan kaavan 11 mukaan.

$$E = \frac{13,81 \cdot 0,88 \text{ l/kg} \cdot 43 \text{ MJ/kg} \cdot 1,16}{15 \text{ ha} \cdot 1500 \text{ kg/ha} \cdot 0,32 \cdot 37,5 \text{ MJ/kg}} = 0,002 \text{ MJ/MJ}_{RME}$$

Siementen kuivauksessa öljylämmitteisellä siilokuivurilla kuluu primäärienergiaa kaavan 12 mukaisesti. Polttoöljyn ja sähköenergian kulutukset on laskettu ylempänä.

$$E = \left(\frac{4761 \cdot 0,88 \text{ l/kg} \cdot 43 \text{ MJ/kg} \cdot 1,16}{15 \text{ ha} \cdot 1500 \text{ kg/ha} \cdot 0,32 \cdot 37,5 \text{ MJ/kg}} \right) + \left(\frac{451 \text{ kWh} \cdot 3,6 \text{ MJ/kWh} \cdot 2,3}{15 \text{ ha} \cdot 1500 \text{ kg/ha} \cdot 0,32 \cdot 37,5 \text{ MJ/kg}} \right) = 0,091 \text{ MJ/MJ}_{RME}$$

Hakelämmitteisellä siilokuivurilla primäärienergian kulutus saadaan kaavan 13 mukaan. Haketta kuluu 0,59 kg/haihdutettu vesikilo. Polttoöljyn kulutus tarvittavan hakemäärän valmistuksessa on 19,5 l ja sähkönkulutus kuivauksessa on 541 kWh hyötysuhteen ollessa 75 %.

$$E = \left(\frac{(25350\text{kg} - 22500\text{kg}) \cdot 0,59 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \cdot 19,5 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}}{15\text{ha} \cdot 1500 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \cdot 0,32 \cdot 37,5 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}} \right) + \left(\frac{19,5\text{l} \cdot 0,88 \frac{\text{l}}{\text{kg}} \cdot 43 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot 1,16}{15\text{ha} \cdot 1500 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \cdot 0,32 \cdot 37,5 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}} \right) + \left(\frac{541\text{kWh} \cdot 3,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kWh}} \cdot 2,3}{15\text{ha} \cdot 1500 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \cdot 0,32 \cdot 37,5 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}} \right) = 0,132 \frac{\text{MJ}}{\text{MJ}_{\text{RME}}}$$

Siementen valmistuksen kuluttama primäärienergia saadaan kaavan 14 mukaan laske-
malla viljelyn eri työvaiheiden energioista. Siemeniä kylvetään 8 kg/ha ja niitä tuotetaan
30 % enemmän pienten siementen poistuessa seulonnassa.

$$E = 1,3 \cdot \frac{8 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \cdot (0,052 + 0,025 + 0,012 + 0,377 + 0,023 + 0,054 + 0,049 + 0,002 + 0,091) \text{MJ}}{1500 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \cdot 0,32 \cdot 37,5 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}}$$

$$= 0,0004 \frac{\text{MJ}}{\text{MJ}_{\text{RME}}}$$

Siementen säilytyksestä aiheutuvat primäärienergiatarpeet saadaan laskettua kaavan 15
mukaan.

$$E = \frac{1,8\text{kWh} \cdot 3,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kWh}} \cdot 2,3}{15\text{ha} \cdot 1500 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \cdot 0,32 \cdot 37,5 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}} = 0,0001 \frac{\text{MJ}}{\text{MJ}_{\text{RME}}}$$

Maatilakohtaisessa valmistuksessa siemenet puristetaan maatilan omalla puristimella.
Puristuksen primäärienergiatarve lasketaan yhtälön 16 avulla. Joillakin puristimilla
paremman puristustuloksen saamiseksi siemenet puristetaan kahteen kertaan. Primää-
rienergian laskemisessa käytetty puristin kuluttaa energiaa 7,5 kWh ja lisäksi alkuläm-
mityksen aikana (20 % koko puristusajasta) lämmitin kuluttaa 3,3 kWh.

$$E = \frac{\left(\frac{22500\text{kg}}{200\text{kg}} \right) \cdot (20\% \cdot 3,3\text{kWh} + 7,5\text{kWh}) \cdot 3,6 \frac{\text{MJ}}{\text{kWh}} \cdot 2,3 \cdot 2}{15\text{ha} \cdot 1500 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \cdot 0,32 \cdot 37,5 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}} = 0,056 \frac{\text{MJ}}{\text{MJ}_{\text{RME}}}$$

Esteröintiprosessi kuluttaa maatilakokoluokan laitteistolla primäärienergiaa kaavan 17 mukaan.

$$E = \frac{\left(\frac{22500 \text{ kg} \cdot 0,32 \text{ l/kg}}{200 \text{ l}} \right) \cdot 10 \text{ kWh} \cdot 3,6 \text{ MJ/kWh} \cdot 2,3}{15 \text{ ha} \cdot 1500 \text{ kg/ha} \cdot 0,32 \cdot 37,5 \text{ MJ/kg}} = 0,011 \text{ MJ/MJ}_{RME}$$

Lisäksi kuluu primäärienergiaa metanolin ja natriumhydroksidin valmistuksessa kaavojen 18 ja 19 mukaisesti. Metanolia kuluu 20 % öljyn määrästä ja natriumhydroksidia 1 %. Metanolin tiheys on 0,79 kg/l ja 50 % natriumhydroksidin tiheys on 1,53 kg/l.

$$E = \frac{22500 \text{ kg} \cdot 0,32 \text{ l/kg} \cdot 0,2 \cdot 0,79 \text{ kg/l} \cdot 38,08 \text{ MJ/kg}}{15 \text{ ha} \cdot 1500 \text{ kg/ha} \cdot 0,32 \cdot 37,5 \text{ MJ/kg}} + \frac{22500 \text{ kg} \cdot 0,32 \text{ l/kg} \cdot 0,01 \cdot 1,53 \text{ kg/l} \cdot 19,87 \text{ MJ/kg}}{15 \text{ ha} \cdot 1500 \text{ kg/ha} \cdot 0,32 \cdot 37,5 \text{ MJ/kg}} = 0,169 \text{ MJ/MJ}_{RME}$$

Rypsin korren antama primäärienergian substituutiohyöty saadaan laskettua kaavojen 7, 11 ja 15 ja 20 avulla. Kaavalla seitsemän lasketaan korren puinnista aiheutuva polttoaineen kulutus. Kaavalla 11 lasketaan energiankulutus kun korsi kuljetetaan varastoon. Rypsin korren säilytyksestä aiheutuva energiankulutus lasketaan kaavalla 15 ja kaavalla 20 lasketaan korren poltosta saatava primäärienergia RME:n energiasisältöä kohden. Korren hehtaarisato on noin 1945 kg josta arvioidaan saatavan keräytyksi 65 %. Työhön käytetään tarkkuussilppuria jonka työsaavutus on 3,57 ha/h.⁵¹ Korren lämpöarvo on 13 MJ/kg. Polton hyötysuhteeksi on otettu vain noin 50 % sillä korren polttoon liittyy polttoa hankaloittavia tekijöitä.

$$E = \left(\frac{1945 \text{ kg/ha} \cdot 0,65 \cdot 13 \text{ MJ/kg}}{1500 \text{ kg/ha} \cdot 0,32 \cdot 37,5 \text{ MJ/kg}} \right) \cdot 0,5 = 0,457 \text{ MJ/MJ}_{RME}$$

Glyserolin polton antama primäärienergian substituutiohyöty saadaan laskettua kaavan 21 avulla. Glyserolia syntyy biodieselin valmistuksessa keskimäärin 5 % rypsihehtaartilta. Sen lämpöarvo on 17.1 MJ/kg ja sen polton hyötysuhde on 65 %.

$$E = \left(\frac{0,05 \cdot 1500 \text{ kg/ha} \cdot 17,1 \text{ MJ/kg}}{1500 \text{ kg/ha} \cdot 0,32 \cdot 37,5 \text{ MJ/kg}} \right) \cdot 0,65 = 0,046 \text{ MJ/MJ}_{RME}$$

Mikäli rouhe poltetaan hakkeen seassa siitä saatava primäärienergiahyöty saadaan laskettua kaavan 22 avulla. Rouhetta saadaan puristuksessa 68 % rypsin hehtaarisadosta. Sen alempi lämpöarvo on 13,5 MJ/kg ja poltettaessa rouhetta hakkeen seassa polton hyötysuhteeksi on otettu 65 %.

$$E = \left(\frac{0,68 \cdot 1500 \text{ kg/ha} \cdot 13,5 \text{ MJ/kg}}{1500 \text{ kg/ha} \cdot 0,32 \cdot 37,5 \text{ MJ/kg}} \right) \cdot 0,65 = 0,497 \text{ MJ/MJ}_{RME}$$

Mikäli taas rouheella korvataan ulkomailta tuotua soijarouhetta, saadaan primäärienergiahyöty laskettua kaavan 23 avulla. Soijarouheen valmistus ja rahti suomeen kuluttaa energiaa 9,5 MJ/kg. Rypsirouheella voidaan soijarouhetta korvata 73 % valkuaisuutteen perustuen.

$$E = \left(\frac{0,68 \cdot 1500 \text{ kg/ha} \cdot 0,73 \cdot 9,5 \text{ MJ/kg}}{1500 \text{ kg/ha} \cdot 0,32 \cdot 37,5 \text{ MJ/kg}} \right) = 0,393 \text{ MJ/MJ}_{RME}$$

Rypsin viljelyn lähtötiedot

Maatila rypsiala (ha)	15													
Tilan työkoneet	kulutus max. l/h													
Traktori 1: 100 kW	15													
Leikkuupuumuri	18													
Keskim. Matka kuivuriin 2 km														
		Rypsin satoennuste (kg/ha)												
		Maatilan rypsisato	22500	1500	20%	25350	20250	1350	9%	22800				

Rypsin viljelyn työvaiheet

Työvaihe	Työsaavutus yksikkö	Kulutus l/ha	Polttoaine l	sähkö kWh	Kulutus l/ha	Polttoaine l	sähkö kWh	Suorakylvö
1 Kyntö	0,7 ha/tunti	21,4		321				
2 Kalkitus	3 ha/tunti	5,0		75				5,0 75
3 Tasausäestys	3 ha/tunti	5,0		75				
4 Kylvömuokkaus	1,6 ha/tunti	9,4		141				
5 Kylvölannoitus	1 ha/tunti	15,0		225				
6 Jyräys	1,6 ha/tunti	9,4		141				
7 Rikkakasvien ja tuholaisien torjunta	4,2 ha/tunti	3,6		54				
8 Suorakylvö	1,2 ha/tunti							12,5 188
9 Puinti	0,9 ha/tunti	20,0		300				20,0 300
10 Kuljetus kuivuriin 6 t perävaunulla	8 km/h			13,8				
11a Lämmintilimakui vaus ¹⁾	0,167 l öljyä/haitid vesi kg			476				426
	16 kW							405
11b Lämmintilimakui vaus hakkeella ²⁾	8000kg/erä			451				
Käyntiaika 8 h/erä				19,5				17
12 Varastointi	16 kW			541				486
	0,08 kWh/tonni			1,8				2
15 Korren korjuu	3,57 ha/tunti			76				5,0 76
Korren kuljetus varastoon	8 km/h	5,0		169				152
Korren varastointi	0,08 kWh/tonni			237				213

¹⁾ kuivauksen lähtökosteus 20% ja loppukosteus 9%

²⁾ haketta kuluu 0,56 kg /haiduettu vesikilo. Hakkeen valmistuksen energiankulutus 12,2 l/tonni

RME Primäärienergia taseet		Perinteinen		Suorakylvö	
		Energia [MJ/MJ _{RME}]		Energia [MJ/MJ _{RME}]	
Rypsin viljely					
1 Kyntö		0,052			
2 Kalkitus					
kalkin levitystyö		0,012		0,014	
kalkin valmistus		0,013		0,018	
3 Tasausäestys		0,012			
4 Kylvömuokkaus		0,023			
5 Kylvö-lannoitus					
siementen tuotanto		0,000			
kylvö-lannoitustyö		0,037			
lannoitteiden valmistus- kuljetus		0,321			
6 Jyräys		0,023			
7 Rikkakasvien ja tuholaisten torjunta					
torjuntatyö		0,009			
torjuntaineiden valmistus		0,045			
8 Suorakylvö					
Siementen tuotanto				0,001	
Kylvö-lannoitustyö				0,034	
lannoitteiden valmistus- kuljetus				0,356	
9 Puinti		0,049		0,054	
10 Kuljetus kuivuriin		0,002		0,002	
11a Lämminilmakuivaus		0,091		0,091	
11b Lämminilmakuivaus hakkeella		0,132		0,131	
12 Varastointi		0,000		0,000	
RME-valmistus			Sixtek		Sixtek
13 öljyn erotus		0,056	0,063	0,051	0,056
14 Esteröinti					
Esteröintiprosessi		0,011		0,011	
Kemikaalit		0,169		0,169	
Substituutiohyödyt					
15a Korsi korvaa haketta					
Korren korjuutyö		0,012		0,012	
Kuljetus varastoon		0,028		0,028	
Varastointi		0,007		0,007	
Poltto		0,548		0,457	
15b Rouhe korvaa soijarouhetta		0,393		0,393	
15c Rouheen poltto		0,497		0,497	
15d Glyderoli korvaa haketta					
Poltto		0,046		0,046	
YHTEENSÄ: lämminkuivaus: ei subs. Hyötyjä		0,925		0,800	
kuivaus hakkeella ei subs. Hyötyjä		0,966		0,841	
subs. Hyödyt					
lämminkuivaus: 15a, 15b, 15d		-0,015		-0,049	
15a, 15c, 15d		-0,119		-0,154	
kuivaus hakkeella: 15a, 15b, 15d		0,026		-0,009	
15a, 15c, 15d		-0,078		-0,113	
lämminkuivaus: 15b, 15d		0,486		0,361	
15c, 15d		0,382		0,257	
Hakekuivaus: 15b, 15d		0,527		0,401	
15c, 15d		0,423		0,297	

RME Primäärienergia taseet viljeltäessä omavaraisella biodieselillä

	Perinteinen Energia [MJ/MJ _{RME}]	Suorakylvö Energia [MJ/MJ _{RME}]		
Rypsin viljely			Rypsin toimituskosteus	9 %
1 Kyntö			Rypsin siemensato	1500 kg/ha
2 Kalkitus			Suorakylvön siemensato	1350 kg/ha
kalkin levitystyö	0,012	0,014	Rypsin korsisato ⁵⁰	1945 kg/ha
kalkin valmistus	0,013	0,018	Biodiesel saanto	0,32 t _{RME} /t _{siemen}
3 Tasausäestys			dieselin tiheys	0,88 kg/l
4 Kylvömuokkaus			LHV diesel	43 MJ/kg
5 Kylvölannoitus			LHV RME	37,5 MJ/kg
siementen tuotanto			LHV Hake ⁵⁰	19,5 MJ/kg
kylvö-lannoitustyö			LHV korsi ⁵⁰	13 MJ/kg
lannoitteiden valmistus- kuljetus	0,321		LHV glyseroli ⁴⁹	17,1 MJ/kg
6 Jyräys			LHV Rouhe ⁴⁸	13,5 MJ/kg
7 Rikkakasvien ja tuholaisien torjunta			Glyserolin saanto	0,05 t _{gly} /t _{siemen}
torjuntatyö			Rouheen saanto	0,68 t _{rouhe} /t _{siemen}
torjuntaineiden valmistus	0,045			
8 Suorakylvö				
Siementen tuotanto				
Kylvö-lannoitustyö				
lannoitteiden valmistus- kuljetus		0,356		
9 Puinti				
10 Kuljetus kuivuriin				
11a Lämmilmakuivaus	0,014	0,014		
11b Lämmilmakuivaus hakkeella	0,132	0,131		
12 Varastointi	0,000	0,000		
RME-valmistus				
13 öljyn erotus	0,056	0,051		
14 Esteröinti				
Esteröintiprosessi	0,011	0,011		
Kemikaalit	0,169	0,169		
Substituutiohyödyt				
15a Korsi korvaa haketta				
Korren korjuutyö				
Kuljetus varastoon				
Varastointi	0,007	0,007		
Poltto	0,548	0,457		
15b Rouhe korvaa soijarouhetta	0,393	0,393		
15c Rouheen poltto	0,497	0,497		
15d Glyderoli korvaa haketta				
Poltto	0,046	0,046		
YHTEENSÄ: lämminkuivaus: ei subs. Hyötyjä	0,641	0,632		
kuivaus hakkeella ei subs. Hyötyjä	0,759	0,750		
subs. Hyödyt				
lämminkuivaus: 15a, 15b, 15d	-0,339	-0,257		
15a, 15c, 15d	-0,443	-0,361		
kuivaus hakkeella: 15a, 15b, 15d	-0,221	-0,140		
15a, 15c, 15d	-0,325	-0,244		
lämminkuivaus: 15b, 15d	0,202	0,193		
15c, 15d	0,097	0,089		
Hakekuivaus: 15b, 15d	0,320	0,310		
15c, 15d	0,216	0,206		

Taulukko 1. Perinteisellä viljelytavalla tuotetun rypsin kannattavuuslaskelma

Kannattavuuslaskelma, Kotieläintila, tukialue C2	á (€)	määrä	€/ha
Tuet/ha ¹⁾			
Tilatuki	152	1	152
Ympäristötuki	107	1	107
LFA-tuki	210	1	210
LFA-lisäosa	99	1	99
Peltokasvien tuotantopalkkio	40	1	40
Yleinen ha tuki	30	1	30
Pohjoinen ha tuki	27	1	27
Energiakasvituki	45	1	45
Nuoren viljelijän tuki ²⁾	36	1	36
<i>Tuet yhteensä</i>			746
Muuttuvat kustannukset			
Siemenet	6,0	8	48
Lannoitteet	0,32	435	139
Kalkitus ³⁾	4	5	20
Torjunta-aineet ⁴⁾	18,6	1	19
TraktORITYÖT ⁵⁾	9,2	7,5	69
Leikkuupuintityöt ⁶⁾	10,4	4,7	49
Kuivaus ⁷⁾	22,43	1	22
<i>Muuttuva kustannukset yhteensä</i>			366
Kone- ja rakennus- ja yleiskustannukset			
Konekustannukset			234
Rakennuskustannukset			48
Yleiskustannukset			46
<i>Yleiskustannukset yhteensä</i>			328
Työkustannukset	12,25	12,2	149
Rypsin tuotantokustannukset yhteensä			-98 €/ha

¹⁾ Luvut ovat vuonna 2006 toteutuneita tukia.

²⁾ Maksetaan jos viljelijä tai hänen puolisonsa alle 40 vuotta.

³⁾ Joka kymmenes vuosi. Urakkahinta sisältää kalkin.

⁴⁾ Super Treflan 2,0l/ha 15€/ha, tuholaistorjuntaan Karate 0,2 l/ha 3,6€/ha

⁵⁾ Polttoaineen hinta 0,612€/l, kulutus 15 l/h

⁶⁾ Polttoaineen hinta 0,612€/l, kulutus 17 l/h

⁷⁾ Polttoaineen kulutus 37,7 l/ha, hinta 0,612€/l, sähkönkulutus 30 kWh/ha, hinta 10 senttiä/kWh

Taulukko 2. Suorakylvöllä viljellyn rypsin tuotantokustannukset

Kannattavuuslaskelma, Kotieläintila, tukialue C2	á (€)	määrä	€/ha
Tuet/ha ¹⁾			
Tilatuki	152	1	152
Ympäristötuki	107	1	107
LFA-tuki	210	1	210
LFA-lisäosa	99	1	99
Peltokasvien tuotantopalkkio	40	1	40
Yleinen ha tuki	30	1	30
Pohjoinen ha tuki	27	1	27
Energiakasvituki	45	1	45
Nuoren viljelijän tuki ²⁾	36	1	36
<i>Tuet yhteensä</i>			746
Muuttuvat kustannukset			
Siemenet	6,0	12	72
Lannoitteet	0,3	435	139
Kalkitus ³⁾	4,0	5	20
Torjunta-aineet ⁴⁾	3,6	1	4
TraktORITYÖT ⁵⁾	9,2	1,2	11
Leikkuupuintityöt ⁶⁾	10,4	4,7	49
Kuivaus ⁷⁾	20,1	1	20
<i>Muuttuva kustannukset yhteensä</i>			315
Kone- ja rakennus- ja yleiskustannukset			
Konekustannukset			234
Rakennuskustannukset			48
Yleiskustannukset			46
<i>Yleiskustannukset yhteensä</i>			328
Työkustannukset	12,25	5,9	72
Suorakylvetyt rypsin tuotantokustannukset yhteensä:			30 €/ha

¹⁾ Luvut ovat vuonna 2006 toteutuneita tukia.

²⁾ Maksetaan jos viljelijä tai hänen puolisonsa alle 40 vuotta.

³⁾ Joka kymmenes vuosi. Urakkahinta sisältää kalkin.

⁴⁾ Super Treflan 2,0l/ha 15€/ha, tuholaistorjuntaan Karate 0,2 l/ha 3,6€/ha

⁵⁾ Polttoaineen hinta 0,612€/l, kulutus 15 l/h

⁶⁾ Polttoaineen hinta 0,612€/l, kulutus 17 l/h

⁷⁾ Polttoaineen kulutus 28,4 l/ha, hinta 0,612€/l, sähkönkulutus 27 kWh/ha, hinta 10 senttiä/kWh

Taulukko 3. Perinteisellä viljelytavalla biodieselillä viljellyn rypsin kannattavuuslaskelma

Kannattavuuslaskelma, Kotieläintila, tukialue C2	á (€)	määrä	€/ha
Tuet/ha ¹⁾			
Tilatuki	152	1	152
Ympäristötuki	107	1	107
LFA-tuki	210	1	210
LFA-lisäosa	99	1	99
Peltokasvien tuotantopalkkio	40	1	40
Yleinen ha tuki	30	1	30
Pohjoinen ha tuki	27	1	27
Energiakasvituki	45	1	45
Nuoren viljelijän tuki ²⁾	36	1	36
<i>Tuet yhteensä</i>			746
Muuttuvat kustannukset			
Siemenet	6,0	8	48
Lannoitteet	0,32	435	139
Kalkitus ³⁾	4	5	20
Torjunta-aineet ⁴⁾	18,6	1	19
Trakturityöt ⁵⁾	0,5	7,5	4
Leikkuupuintityöt ⁶⁾	0,6	4,7	3
Kuivaus ⁷⁾	0,02	1690	34
<i>Muuttuva kustannukset yhteensä</i>			245
Kone- ja rakennus- ja yleiskustannukset			
Konekustannukset			234
Rakennuskustannukset			48
Yleiskustannukset			46
<i>Yleiskustannukset yhteensä</i>			328
Työkustannukset	12,25	12,2	149
Rypsin tuotantokustannukset yhteensä			23 €/ha

¹⁾ Luvut ovat vuonna 2006 toteutuneita tukia.

²⁾ Maksetaan jos viljelijä tai hänen puolisonsa alle 40 vuotta.

³⁾ Joka kymmenes vuosi. Urakkahinta sisältää kalkin.

⁴⁾ Super Treflan 2,0l/ha 15€/ha, tuholaistorjuntaan Karate 0,2 l/ha 3,6€/ha

⁵⁾ Polttoaineen hinta 0,033€/l, kulutus 15 l/h

⁶⁾ Polttoaineen hinta 0,033€/l, kulutus 17 l/h

⁷⁾ Biodieselin kulutus 37,7 l/ha, hinta 0,033€/l, sähkönkulutus 30 kWh/ha, hinta 10 senttiä/kWh

Taulukko 4. Biodieselin valmistuskustannukset

Biodieselin valmistus €/t_{RME}	á (€)	määrä	€/ha
Muuttuvat kustannukset			
Metanoli	800	0,2	160
NaOH	500	0,005	3
Sähkö	0,095	80	8
<i>Muuttuvat kustannukset yhteensä</i>			170
Työkustannukset	12,25		10
Konekustannukset 20 % käyttöasteella			
Puristin	20,77	3,934	82
Esteröintilaitteisto	66,6	1	67
<i>Konekustannukset yhteensä</i>			148
Konekustannukset 70 % käyttöasteella			
puristin	5,9	3,9	23
esteröintilaitteisto	19,0	1	19
<i>Konekustannukset yhteensä</i>			42
Biodieselin valmistus yhteensä: Käyttöaste 20 %			441 €/t _{RME}
Käyttöaste 70 %			335 €/t _{RME}