



BIOPOLTTOAINEET

VALMISTUS JA LÄMPÖARVOT

Katriina Tenhunen

Opinnäytetyö
Joulukuu 2014
Paperi-, tekstiili- ja kemian-
tekniikka
Kemiantekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu (TAMK)
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikka
Kemiantekniikka

KATRIINA TENHUNEN

Biopolttoaineet
valmistus ja lämpöarvot

Opinnäytetyö 39 sivua, liite / liitteitä 0 sivua
Joulukuu 2014

Opinnäytetyön alkuperäisenä tavoitteena oli käsitellä biopolttoaineita ja niiden lämpöarvoja. Lämpöarvoja oli tarkoitus mitata pommikalorimetrillä ja verrata saatuja arvoja kirjallisuusarvoihin ja miettiä mikä voisi vaikuttaa niissä oleviin eroihin. Pommikalorimetrin hajottua, muutettiin työ kokonaan kirjallisuustyöksi, joka käsittelee biopolttoaineita ja niiden valmistusta ja lämpöarvoja.

Opinnäytetyössä tarkastellaan mitä Suomessa käytetään energialähteinä ja mitä biopolttoaineita käytetään. Kerrotaan mitä yleisesti käsitteellä biopolttoaineet tarkoitetaan. Opinnäytetyössä käsitellään muutamia erilaisia biopolttoaineita ja niistä osaa tarkemmin. Biopolttoaineista on otettu esille muutamia erilaisia kiinteitä, nestemäisiä ja muita biopolttoaineita. Opinnäytetyössä on kerrottu biodieselin, biokaasun ja pyrolyysiöljyn valmistusmenetelmistä tarkemmin.

Viimeisenä opinnäytetyössä otettiin esille kirjallisuudesta löytyviä lämpöarvoja. Löydettyjä lämpöarvoja vertailtiin keskenään ja jonkin verran myös muutamaan fossiilisen polttoaineen kanssa.

Asiasanat: biopolttoaineet, biopolttoaineet valmistus, lämpöarvo.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in Paper, Textile and Chemical Engineering
Option of Chemical Engineering

KATRIINA TENHUNEN

Biofuels
the production and heat values

Bachelor's thesis 39 pages, appendix / appendices 0 pages
December 2014

The original purpose of the thesis was to cover biofuels and heat values of them. The intent was to determine the heat values using a bomb calorimeter, compare the results with values found in literature and speculate the reasons for the possible differences. While the calorimeter broke the thesis was changed to be purely theoretical covering the biofuels, the production of them and heat values of them according to the literature.

The thesis covers what sources of energy and what biofuels are used in Finland. The meaning of term "biofuel" is described and some of them are handled more detailed. Some solid, liquid and other forms of biofuels are covered. The thesis covers production processes of biodiesel, biogas and pyrolysis oil more detailed.

At the end of thesis includes several heat values found in the literature. The values were compared with each other and also to some fossil fuels.

Key words: biofuels, biofuels production, heat value.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	TEORIA.....	6
2.1	Energialähteet Suomessa	6
2.2	Bioenergialähteet Suomessa	9
2.3	Mitä ovat biopolttoaineet?	11
3	ERILAISET BIOPOLTTOAINEET	13
3.1	Kiinteät biopolttoaineet	13
3.1.1	Puu	13
3.1.2	Turve	14
3.1.3	Ruokohelpi	16
3.1.4	Olki	16
3.1.5	Hevosenlanta	16
3.1.6	Energiajäte.....	17
3.2	Nestemäiset biopolttoaineet.....	18
3.2.1	Kasviöljyt	19
3.2.2	Pyrolyysiöljy	19
3.2.3	Biodiesel.....	20
3.3	Muut biopolttoaineet	21
3.3.1	Biokaasu	22
4	BIOPOLTTOAINEIDEN VALMISTUS	24
4.1	Biokaasu	24
4.1.1	Erilaiset reaktoriyytit	24
4.1.2	Biokaasulaitokset.....	27
4.2	Biodiesel.....	29
4.2.1	Valmistus vaihtoesteröimällä	30
4.3	Pyrolyysiöljy.....	32
5	BIOPOLTTOAINEIDEN LÄMPÖARVOJA	34
5.1	Lämpöarvoja	34
6	POHDINTA	37
	LÄHTEET	38

1 JOHDANTO

Tarkoituksena työssä oli alun perin tarkastella erilaisia biopolttoaineita ja niiden lämpöarvoja. Lämpöarvoja oli tarkoitus itse mitata pommikalorimetrillä ja verrata saatuja arvoja löytyviin arvoihin. Pommikalorimetrin hajottua muutettiin työ kokonaan kirjallisuustyöksi, joka käsittelee biopolttoaineita ja niistä muutamien valmistusmenetelmiä.

Biopolttoaineet ovat tällä hetkellä kovasti puhuttava aihe ja siitä keskustellaankin paljon. Uusiutumattomien polttoaineiden määrän vähennettyä ja hinnan nousun myötä on ryhdytty tuottamaan ja kehittämään muita ratkaisuja. Pyritään saamaan uusiutuvia polttoaineita näiden uusiutumattomien tilalle. Biopolttoaineita tuotetaan paljon erilaisista raaka-aineista, joista monet sopivat myös elintarviketeollisuuden käyttöön.

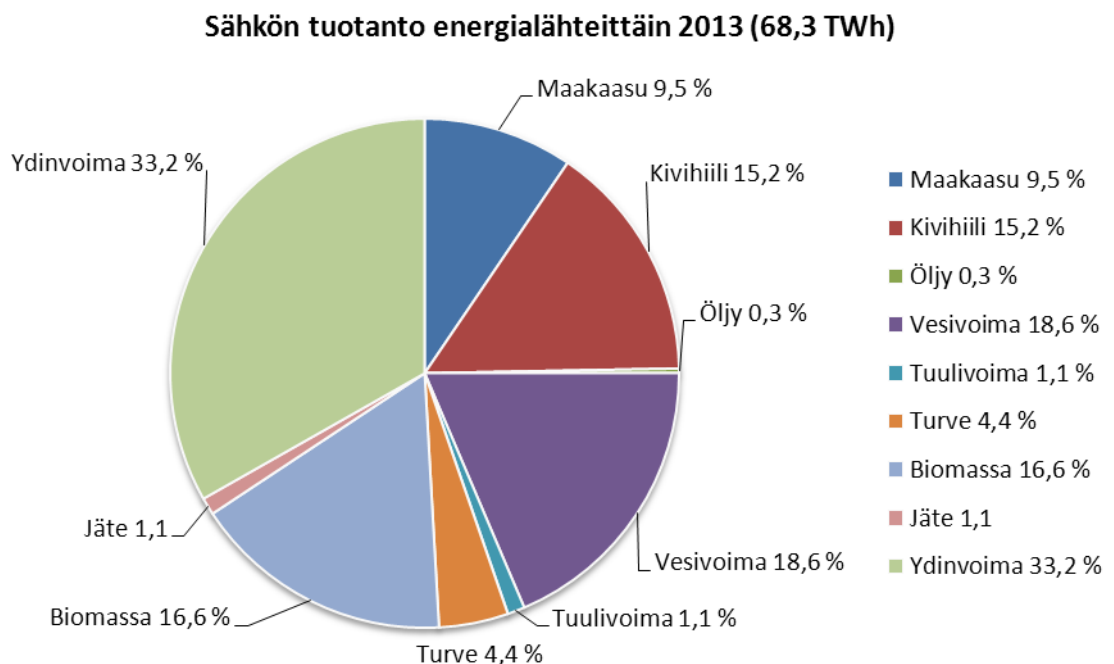
Monet biopolttoaineet, joita nykyään käytetään ja kehitetään, ovat jo olleet kauan sitten käytössä. Näiden polttoaineiden käyttö jäi pois, kun löydettiin niin sanottu halpa öljy. Nyt kun öljy vähenee ja hinta on lähtenyt roimaan nousuun, niin on uudelleen lähdetty etsimään muita raaka-aineita fossiilisten polttoaineiden tilalle. Opinnäytetyössä on esitelty erilaisia biopolttoaineita, joiden jaottelu on tehty koostumuksen perustella. Opinnäytetyön teoriassa esitellään biopolttoaineiden valmistusmenetelmiä. Biopolttoaineista biodiesel, biokaasu ja pyrolyysiöljyn valmistusmenetelmiä on käsitelty tarkemmin.

Viimeisessä kappaleessa käsitellään biopolttoaineiden lämpöarvoja. Lämpöarvoja on kerätty eri materiaaleista ja niitä vertaillaan keskenään. Lämpöarvoja on verrattu myös muutamaan uusiutumattomaan polttoaineeseen.

2 TEORIA

2.1 Energialähteet Suomessa

Kuvassa 1. on käsitelty sähkön tuotannossa käytettäviä energialähteitä vuonna 2013. Sähkön tuotannossa merkittäviä energialähteitä ovat ydinvoima, biomassa, vesivoima ja kivihiili. Näiden lisäksi käytetään maakaasua, turvetta, öljyä ja tuulivoimaa. Tuulivoiman osuus on pieni Suomessa, mutta kasvava. Kivihiilen osuus Suomen sähkön tuotannossa vaihtelee reilusti. Tähän vaikuttaa se kuinka paljon pohjoismaisilla markkinoilla on tarjolla vesivoimaa. Energialähteistä 36 % on uusiutuvia polttoaineita ja 41 % on kotimaisia. 70 % energialähteistä, joita sähkön tuotannossa käytetään, on hiilidioksidivapaita.



Kuva 1. Sähkön tuotanto energialähteittäin 2013 (Lähde: Energiateollisuus)

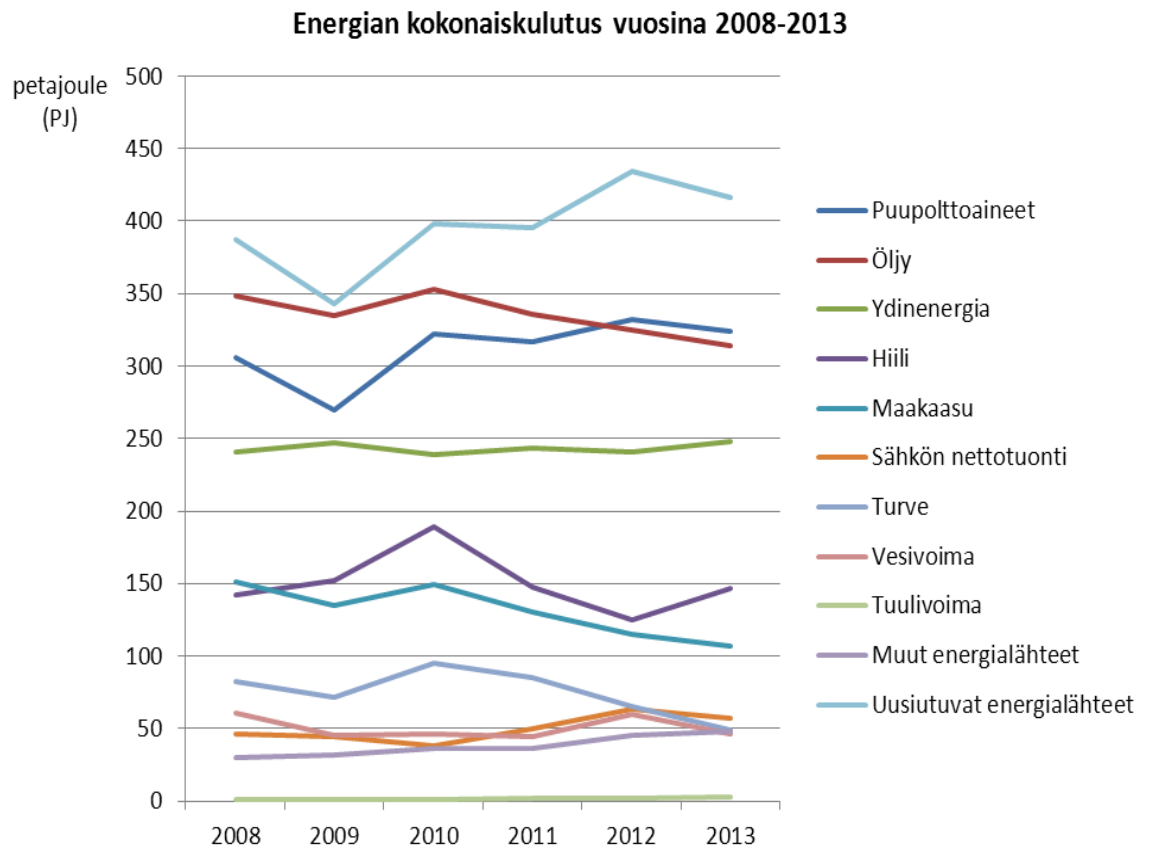
Suomessa on noin 120 sähkö tuottavaa yritystä, joilla on noin 400 voimalaitosta. Näistä voimalaitoksista yli puolet on vesivoimalaitoksia. Suomessa tuotetaan sähköä hyvin monella eri lähteellä verrattuna moneen muuhun Euroopan maahan. Tämän hajautetun sähkön tuotannon etuna on se, että se lisää sähkön hankinnan varmuutta.

(<http://www.energia.fi> luettu 1.12.2014)

Taulukko 1. Energian kokonaiskulutus. (Lähde: Tilastokeskus)

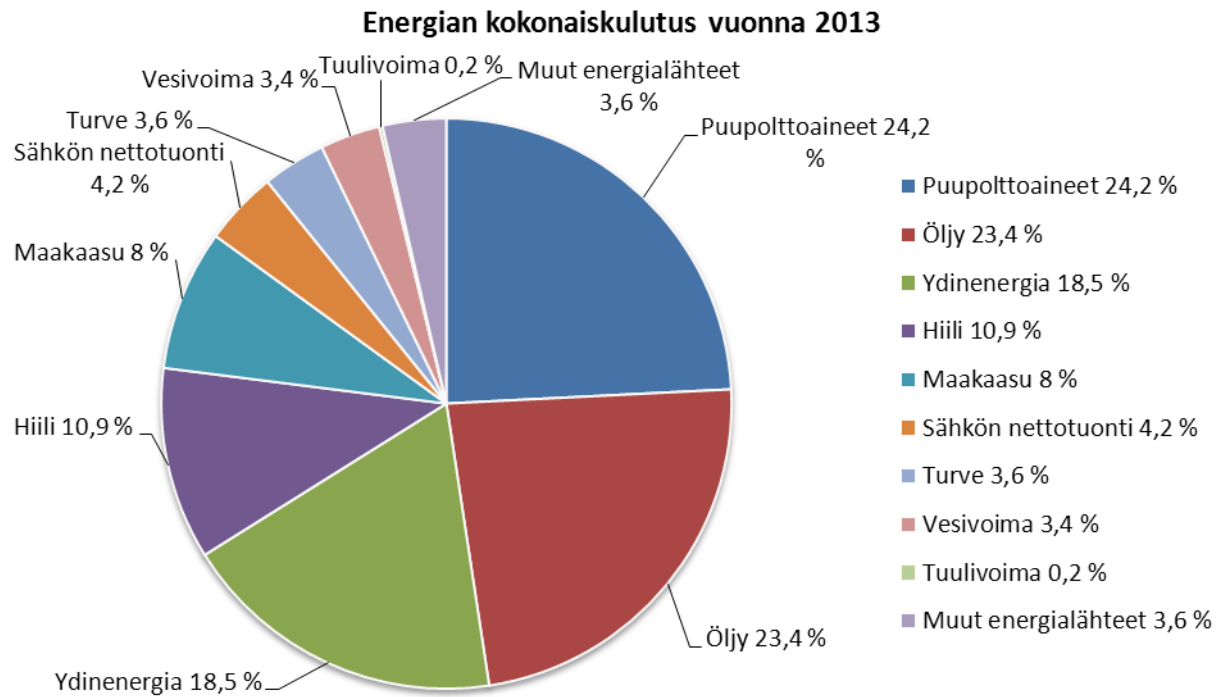
	2008	2009	2010	2011	2012	2013*	
	petajoule (PJ)						%
Puupolttoaineet	306	270	322	317	332	324	24,2
Öljy	348	335	353	336	325	314	23,4
Ydinenergia	241	247	239	243	241	248	18,5
Hiili	142	152	189	148	125	147	10,9
Maakaasu	151	135	149	130	115	107	8,0
Sähkön nettotuonti	46	44	38	50	63	57	4,2
Turve	82	72	95	85	65	49	3,6
Vesivoima	61	45	46	44	60	46	3,4
Tuulivoima	1	1	1	2	2	3	0,2
Muut energialähteet	30	32	36	36	45	48	3,6
Yhteensä	1 407	1 333	1 467	1 391	1 372	1 341	100
Uusiutuvat energialähteet ¹⁾ , %	27,5	25,7	27,1	28,4	31,6	31,0	
1) Sisältää mm. puupolttoaineet, vesi- ja tuulivoiman ja kierrätyspolttoaineista bioha- joavan osuuden * Ennakkotieto							

Taulukossa 1. on taulukoitu energian kokonaiskulutusta vuosina 2008-2013. Vuoden 2013 tiedot perustuvat ennakkotietoihin. Taulukosta voidaan huomata turpeen ja öljyn vähenevä käyttö. Öljyä pyritään korvaamaan uusilla polttoaineilla nousevan hinnan vuoksi. Turpeen käyttö on jonkin verran vähentynyt, koska sen rinnalle polttolaitoksiin on otettu muun muassa puuperäisiä polttoaineita. Tuulivoiman määrän huomataan olevan myös kasvussa. Taulukosta löytyy myös jokaiselle vuodelle uusiutuvan energian määrä prosentteina kokonaiskulutuksesta. Tämän voidaan huomata myös kasvaneen vuodesta 2008 vuoteen 2013. Taulukossa on myös ilmoitettu vuoden 2013 kokonaiskulutukset prosentteina.



Kuva 2. energian kokonaiskulutus vuosina 2008-2013.

Kuvan 2. kaavio on tehty taulukon 1. tietojen perusteella. Kuvasta voidaan vertailla eri polttoaineiden kulutusta Suomessa ja niiden käytön kehitystä vuosina 2008-2013 selkeämmin, kuin taulukosta. Kaaviosta huomataan öljyn selkeä lasku vuodesta 2010 alkaen. Hitaassa nousussa on vesivoima ja tuulivoima kaavion perusteella. Vuoden 2010 jälkeen myös hiilen ja maakaasun käyttö ovat romahtaneet. Vuoden 2010 jälkeen on vähennetty turpeen käyttöä ja lisätty puupolttoaineiden käyttöä. Tämä johtuu varmaankin siitä, että monissa turvepolttolaitoksissa on ruvettu käyttämään turpeen rinnalla puupolttoaineita. Vuoden 2009 jälkeen uusiutuvat energialähteet ovat lähteneet kasvuun. Näissä huomataan pieni romahdus vuodesta 2012 vuoteen 2013. Tasaisimpana koko ajalla 2008-2013 on pysynyt ydinenergia, jonka määrä on ollut lähes vakio.



Kuva 3. Energian kokonaiskulutus.

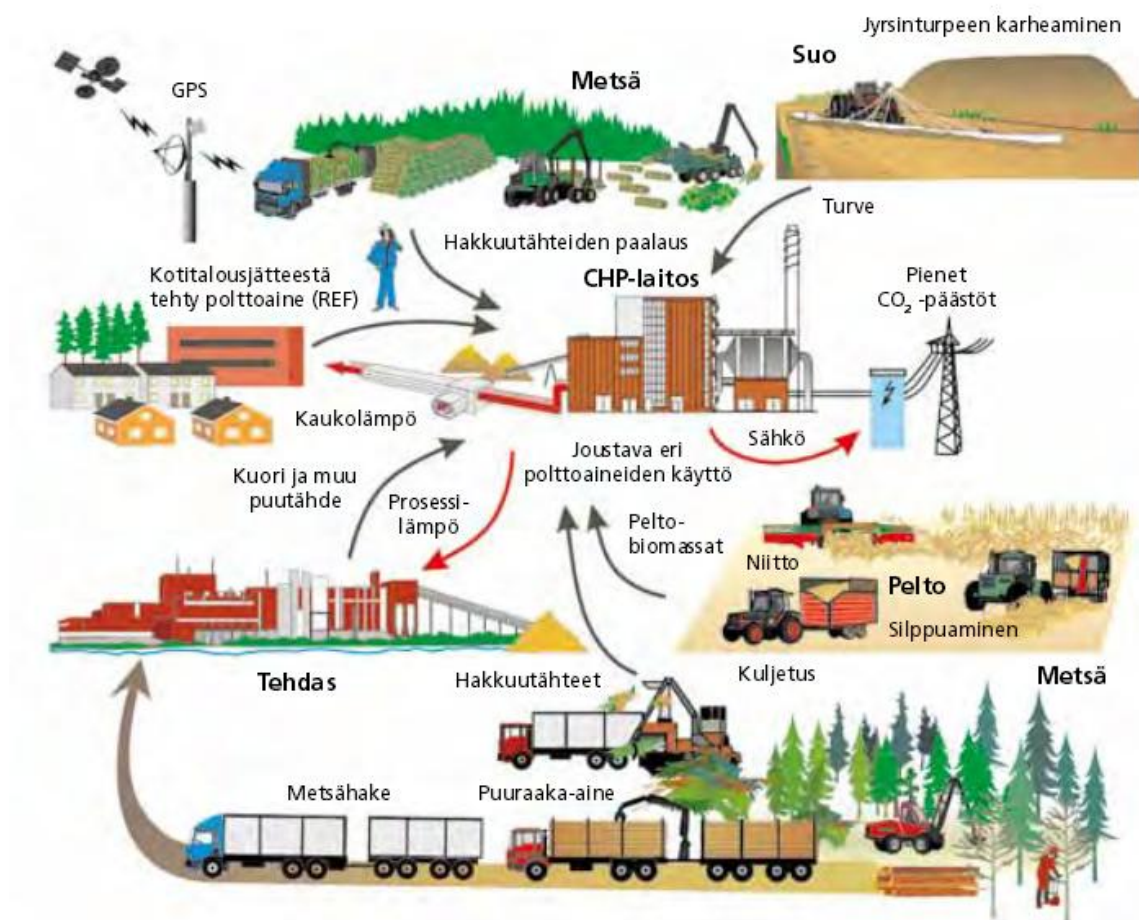
Kuvassa 3. olevassa kaaviossa, merkittäviä energialähteitä ovat puu, öljy, ydinenergia ja hiili. Kaavio on tehty taulukon 1. tietojen perusteella. Tiedot perustuvat vuoden 2013 ennakkotietoihin.

Voidaan verrat kuvan 1. ja kuvan 3. kaavioita keskenään. Voidaan huomata suuria eroavaisuuksia siinä miten kokonaisvaltaisesti käytetään energiaa ja mitä käytetään sähkön tuotantoon. Öljyllä on merkittävä osuus energian kokonaiskulutuksesta, mutta silti sähkön tuotannossa sillä on vain pieni osuus. Kun taas vastaavasti turpeella, vesi- ja tuulivoimalla on energian kokonaiskulutuksessa pienet osuudet, mutta niillä on taas merkittävät osuudet sähkön tuotannon energialähteinä.

2.2 Bioenergiälähteet Suomessa

Kuvassa 4. on käsitelty erilaisia bioenergiälähteitä ja niiden bioenergiaketjua. Siinä käsitellään muutamia biopolttoaineita, joita tässä työssä tullaan tarkemmin tarkastelemaan. Näitä ovat muun muassa metsäteollisuudesta, soilta ja pelloilta tulevat biopolttoaineiksi kelpaavat raaka-aineet. Kuvassa 4. on esitetty syntyvien biopolttoaineiden kiertoa ja sitä

kuinka se päätyy kaukolämpönä kotitalouksille ja tehtaille käyttöön. Kuvassa 4. on havainnollistettu myös sitä, kuinka yhdessä laitoksessa voidaan hyödyntää useita erilaisia biopolttoaineita.



Kuva 4. Bioenergiaketju. (Lähde: Teknologia ilmastonmuutoksen torjunnassa)

Suomessa käytetään monenlaisia biopolttoaineita energianlähteinä. Suomessa tuotetaan lämpöä ja sähköä yhteistuotannolla muun muassa turpeesta. Muita Suomessa käytettäviä energialähteitä ovat pelloilta saatavat biomassat, eläinten lanta ja metsäteollisuudesta tulevat hakkuujätteet. Metsistä käytetään energiantuotantoon puusta syntyvät kaikki hakkuujätteet, joita ovat muun muassa kuoret, kannot ja oksat. Näiden lisäksi Suomessa on lajiteltu energiajätettä, jota voidaan myös käyttää polttoaineena. Suomessa käytetään yleistyvästi kotitalouksista syntyviä kotitalousjätteitä sähkön ja lämmön tuotantoon. Tästä hyvä esimerkki on Tampereelle tuleva Tammervoima, joka on jätteenpolttolaitos.

2.3 Mitä ovat biopolttoaineet?

Biopolttoaineita on aina ollut olemassa ja niiden käyttö ja prosessointi on ollut tuttua jo useita vuosia sitten. Kuitenkin biopolttoaineet ja niiden prosessointi jäi taka-alalle, kun löydettiin halpa öljy. Fossiilisen öljyn käyttö lisääntyi nopeasti ja biopolttoaineiden käyttö vähentyi. Nyt kun uusiutumaton öljy rupeaa olemaan vähissä ja hinta on noussut radikaalisti, niin on ruvettu lisäämään biopolttoaineiden käyttöä. On ruvettu uudelleen ottamaan käyttöön vanhoja raaka-aineita ja menetelmiä. Menetelmiä kehitetään koko ajan ja pyritään jalostamaan. Biopolttoaineiden käyttöä pyritään koko ajan lisäämään, jotta voitaisiin olla omavaraisempia ja näin vähentää öljyn tuontia ja käyttöä. Biopolttoaineiden käytöllä myös vähennetään syntyviä kasvihuonepäästöjä, koska ne ovat ympäristöä vähemmän kuormittavia. Voidaan siis pienentää syntyvää hiilijalanjälkeä ja turvata tuleville sukupolville puhtaampi elinympäristö.

Biopolttoaineiksi kutsutaan eloperäisiä aineksia, kuten puuta, turvetta, hakkuujätettä ja sokeria sekä tärkkelystä sisältäviä kasveja. Näiden lisäksi biopolttoaineisiin kuuluu kotitalousjätteet, eläinten lanta, ruoho, vesikasvit ja oljet. Sähköntuotannosta 18 % tuotetaan biopolttoaineilla. Biopolttoaineet ovat hyviä hiilidioksiditasapainon ylläpitäjiä.

(<http://energiamaailma.fi> luettu 31.3.2014)

Biopolttoaineet ovat biomassasta saatavia polttoaineita. Biopolttoaineilla voidaan tuottaa bioenergiaa, joka on täysin kotimaista ja uusiutuvaa energiaa. Uusiutuvan energian kaikki muodot liittyvät suorasti tai epäsuorasti aurinkoon. Bioenergia saa siis voimansa auringosta. Bioenergia voidaan tuottaa prosessina tai lopputuotteena. Prosessina syntyy biopolttoaineita. Prosessina bioenergiaa saadaan palamisen, mädättämisen ja lahoamisen seurauksena. Lopputuotteena bioenergiaa saadaan tuuli- ja aurinkovoimana, sekä virtavana vesimassana, aaltoliikkeenä ja maalämpönä. Kautta historian ihminen on käyttänyt hyödyksi biopolttoaineita ja bioenergiaa, mutta sen käyttö väheni kun tuli halpa öljy. Nyt kuitenkin, kun fossiilisten polttoaineiden hinta nousee koko ajan ja määrä vähenee, ovat biopolttoaineiden ja bioenergian käyttö nousseet pinnalle. Oikein käytettynä bioenergia takaa tuleville sukupolville puhtaan, omavaraisen, elinvoimaisen ja turvallisen maailman.

(<http://www.bioenergianeuvoja.fi/> luettu 28.11.2014)

EU-direktiivissä on määritetty, että liikennebiopolttoaineita ovat biomassasta valmistetut nestemäiset ja kaasumaiset liikenteessä käytettävät polttoaineet. Bionesteillä tarkoitetaan nestemäisiä biomassasta valmistettuja polttoaineita, joita käytetään muussa energiakäytössä kuin liikenteessä. Liikennebiopolttoaineita ovat mm. bioetanoli, biodiesel, biokaasu, biometanoli, synteettiset biopolttoaineet, biovety ja puhdas kasviöljy. Nestemäiset biopolttoaineet ovat jalostettu eloperäisestä raaka-aineesta eli biomassasta. Yleisimpien biopolttoaineiden eli biodieselin ja etanolin valmistuksessa käytettyjä raaka-aineita ovat muun muassa sokeriruoko, soija, maissi, auringonkukansiemenet, puuhake, selluloosa ja öljypalmu.

(<http://www.oil.fi> luettu 31.3.2014)

EU:ssa nestemäisten biopolttoaineiden käyttö kasvaa vähitellen, koska niiden käyttöä on edistetty EU-säädöksillä. Biopolttoaineiden käyttöä pyritään lisäämään, koska niiden avulla pyritään vähentämään öljyriippuvuutta ja hiilidioksidipäästöjä. EU:n tavoitteena vuoteen 2020 mennessä on, että 10 % liikenteessä käytettävistä polttoaineista on biopolttoaineita. Suomen tavoite vuoteen 2020 mennessä on kunnianhimoisempi eli 20 % liikenteen polttoaineista on biopolttoaineita.

Biopolttoaineet voidaan jaotella nestemäisiin, kiinteisiin ja muihin biopolttoaineisiin. Tässä työssä jaotteluna on käytetty juuri tätä vaihtoehtoa. Tämän jaottelun lisäksi biopolttoaineet voidaan jakaa ensimmäisen sukupolven ja toisen sukupolven biopolttoaineisiin. Ensimmäisen sukupolven polttoaineilla tarkoitetaan tavallisesti polttoaineita, joiden raaka-aineet soveltuvat elintarviketuotantoon tai metsäteollisuuteen. Toisen sukupolven biopolttoaineilla tarkoitetaan yleensä polttoaineita, jonka raaka-aineena käytetään pääasiassa jätettä.

3 ERILAISET BIOPOLTTOAINEET

3.1 Kiinteät biopolttoaineet

Seuraavaksi on otettu esille muutamia kiinteitä biopolttoaineita. Kiinteällä tarkoitetaan tässä yhteydessä tuotetta joka käytetään kiinteänä polttoaineena eli poltetaan kiinteässä olomuodossa. Näistä ei muodosteta nestettä tai kaasua, mutta voidaan tehdä esimerkiksi pellettejä tai brikettejä. Biopolttoaineita, joista seuraavaksi kerrotaan tarkemmin, ovat puu, turve, ruokohelpi, olki, hevosenlanta ja energiajäte.

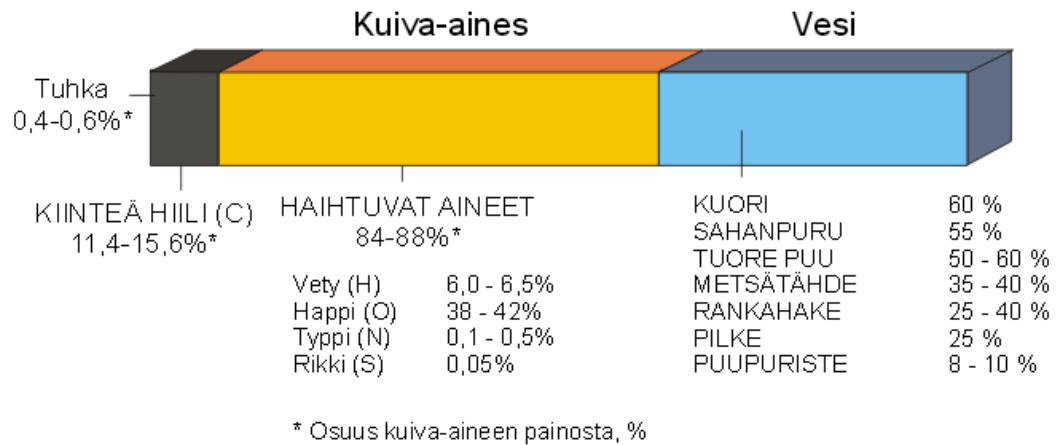
3.1.1 Puu

Puu on varmastikin vanhimpia energian lähteitä sen jälkeen, kun tuli on keksitty. Puuta on hyödynnetty laajalti maissa, joissa on metsäteollisuutta. Myös metsähakkuiden kannot, latvat ja juurakot hyödynnetään energiaksi. Puuperäistä polttoainetta puun lisäksi ovat sivutuotepuut, joita voivat olla mustalipeä, puru, kuori tai pöly.

(<http://www.energiamaailma.fi> luettu 28.11.2014)

Kuvassa 5. on selvitetty mistä aineista puu koostuu. Puusta saatavat tärkeimmät raaka-aineet ovat hemiselluloosa, selluloosa ja lingiini. Lingiini sitoo puun kuidut toisiinsa ja antaa puulle tarvittavaa lujuutta. Lingiini sisältää paljon hiiltä ja vetyä eli siis lämpöä tuottavia aineita. Puussa on haihtuvia aineita paljon eli jopa 80-90 % Tämän takia puu on pitkäliekkinen ja tarvitsee palotilan.

(Alakangas s. 35)



Kuva 5. Puun koostumus. (Lähde: Alakangas)

Tällä hetkellä Suomessa kokonaisenergiasta puun osuus on viides, joka on teollisuusmaiden huippua. EU:n ja Suomen tavoitteena on kuitenkin koko ajan lisätä puuperaisten polttoaineiden käyttöä energianlähteenä. Puun hyviä puolia on se, että se on polttoaineena kasvihuonekaasujen osalta neutraali polttoaine. Puusta ei synny rikkipäästöjä ja hyvin vähän typpipäästöjä. Puun hyvänä puolena on myös sen kotimaisuus ja työllistävä vaikutus. Huonopuoli on poltosta syntyvät hiukkaspäästöt, joita vähennetään suodattimilla.

(<http://www.energiamaailma.fi> luettu 28.11.2014)

3.1.2 Turve

Turve muodostuu kasvin kuolleista osista maatumalla hyvin kosteissa olosuhteissa. Kasvit eivät pääse hajoamaan kokonaan suuren vedenmäärän ja riittämättömän hapen määrän takia. Tämän seurauksesta syntyy kasvava turvekerros, joka voi olla hyvin erilainen koostumukseltaan riippuen kasvilajikoostumuksesta ja maatumisasteesta. Turpeen uusiutumisaika on 2000–3000 vuotta. Tämän takia turve on määritelty Suomessa hitaasti uusiutuvaksi biomassapolttoaineeksi. Suomessa on turvemaita yhteensä liki 9 miljoonaa hehtaaria, mutta näistä energiaturpeen tuotantoon soveltuu noin 1,4 miljoonaa hehtaaria. Turpeesta energiakäyttöön sopii soiden keski- ja alekerroksissa oleva turve, koska siellä turve on pitkälle maatunutta ja siten runsaasti energiaa sisältävää. Turpeen käyttöä ei rajoita siis turpeen tai turvemaiden riittävyys. Suomi on yksi suurimpia maita maailmalla turpeentuotannossa. Suomen lisäksi turvetta tuotetaan energiakäyttöön vain

muualla Euroopassa. Energiaturpeen käyttö sopii erityisen hyvin lämmön ja sähkön yhteistuotantoon ja se toimii hyvin puuhakkeen kanssa.

(<http://energia.fi> luettu 25.11.2014)

Viime vuosien aikana Suomessa turpeen osuus energiatuotannossa on vaihdellut 5-7 % välillä, joka on vuositasolla noin 20-29 TWh vuodessa. Noin puolessa Suomen maakunnista turve on tärkeimmässä roolissa kaukolämmön tuotannossa. Kaukolämmössä ja siihen liittyvässä sähkön- ja lämmöntuotannossa energian lähteenä on noin 17-20 % viime vuosina ollut turve. Kokonaisuudessa Suomessa tuotetusta sähköstä on noin 5-8 % tuotettu turvetta käyttäen. Turpeen rinnalla polttolaitoksissa käytetään enenevässä määrin puuhaketta, mutta turvetta käytetään myös polttolaitoksissa, joissa pääpolttoaineena käytetään puuta. Näissä polttolaitoksissa turpeella tasoitetaan puuhakkeen epätasalaatuisuutta ja talvella turpeella varmistetaan riittävä lämmöntuotanto.

(<http://energia.fi> luettu 25.11.2014)

Kehitysnäkymät turpeen osalta ovat huononevat. Turve uusiutuu hyvin hitaasti ja määritelläänkin jo EU:ssa fossiilisiin polttoaineisiin tästä syystä. EU:n päästökauppa heikentää turpeen kilpailukykyä moniin muihin polttoaineisiin nähden, koska turpeella on suuret hiilidioksidipäästöt. Tästä syystä turvetta käyttävissä polttolaitoksissa on pyritty lisäämään metsäenergian osuutta. Vaikka turve onkin hitaasti uusiutuva, niin silti 2000-luvulla on panostettu paljon uusiin voimalaitoksiin, jotka käyttävät turvetta ja puuhaketta energian tuotannossa. Turpeen käytön määrän ei uskota kuitenkaan tulevaisuudessa kasvavan, eikä vähenevän, vaan pysyvän ennallaan. Nykyään kehitetään leijukerros-tekniikkaan perustuvia polttolaitoksia, jotka sopivatkin hyvin monen eri polttoaineen yhteiskäyttöön. Tällaisten polttolaitosten pääenergian lähteenä on kuitenkin monesti turve, koska sillä on parempi lämpöarvo ja sen saatavuus on hyvä, sekä laatu on tasaisempi kuin puuhakkeella.

(<http://energia.fi> luettu 25.11.2014)

Turpeen poltosta syntyy hiilidioksidipäästöjen lisäksi pölymäistä tuhkaa, joka sisältää raskasmetalleja, sekä typen oksideja ja rikkioksideja. Kaikkia päästöjä pyritään vähentämään poltto- ja puhdistustekniikoilla. Turpeen päästöt ovat pienemmät kuin kivihiilen, mutta kuitenkin suuremmat kuin puuhakkeen. Myös turpeen tuotannolla on monia ympäristövaikutuksia. Turvetuotantosuoit muuttavat maisemaa ja luontoa, kun ne ojitetaan ja niiden kasvillisuus poistetaan. Turvetuotantoa sovitetaan yhteen soiden suojelun

kanssa sovittamalla uudet turvetuotantoalueet jo valmiiksi ihmisen muokkaamille alueille. Kun energiaturvetta kerätään, syntyy myös pölyä, jota säädellään ympäristöluvala. Pölypäästöjen vähentämiseksi on kehitetty erilaisia menetelmiä.
(<http://energia.fi> luettu 25.11.2014)

3.1.3 Ruokohelpi

Ruokohelpeä käytetään Suomessa eläinten rehuna, mutta sen lisäksi sitä käytetään myös energiantuotannossa. Vain Pohjoismaissa on tutkittu ruokohelpeen käyttöä energiantuotannossa. Muualla maailmalla ruokohelpeä käytetään vain eläinten rehuna. Hehtaarilta ruokohelpipeltoa saadaan energiaa noin 20-30 MWh, joka on ainakin toistaiseksi kalliimpaa kuin metsähakkeella tuotettu energia. Ruokohelven kuljettamiskustannukset ovat kohtuullisen suuret, koska se on niin kevyttä, mutta tilaa vievää. Suomessa on kokeiltu muun muassa Vapon toimesta ruokohelven käyttöä energiantuotannossa, mutta se on lopetettu vuonna 2011.
(<http://www.bioenergianeuvoja.fi> luettu 25.11.2014)

3.1.4 Olki

Oljella tarkoitetaan viljojen varsia eli sitä osaa mikä puimisen jälkeen jää jäljelle. Olkea on käytetty varsinkin aikaisemmin hevosten ja muiden eläinten kuivikkeina. Kuivikkeena käytettävästä oljesta puhutaan pahnana. Nykyään pahnaja pidetään hevosista lähinnä vain varsoilla tammoilla ja tämän lisäksi kanaloissa. Kuivikekäytön lisäksi olki sopii hyvin polttoon sellaisenaan tai pelletiksi ja briketeiksi puristettuna. Olki ei kilpaile viljelyalasta elintarvike viljojen kanssa, koska se on niistä ylijäävä osa. Kun puhutaan biopolttoaineena oljesta, niin monesti puhutaan peltobiomassoista.

3.1.5 Hevoselanta

Hevoselanta raaka-aineena sisältää valtavan paljon energiaa. Yhden hevosen päivän aikana tuottama lanta kuivikkeen kanssa vastaa määrältään noin kolmea litraa polttoöljyä. Hevoselannan voi puristaa pelletiksi tai briketiksi. Hevoselannan hyötykäytössä

on kuitenkin Suomessa haasteensa. Hevosenlannan käyttö biopolttoaineena on tehty Suomessa käytännössä mahdottomaksi. Suomessa tulkitaan EU-direktiiviä jätteenpol-
tosta siten, että hevostilallinen voi tehdä lannasta pellettejä tai brikettejä, mutta niitä ei
voi polttaa. Hevosenlannan polttaminen vaatii erikoislaitoksia, joissa on jatkuvat mitta-
uslaitteet. Huonoimmassa tapauksessa hevostilallinen joutuu maksamaan tämän arvok-
kaan raaka-aineen hävittämisestä. Hevosenlannan polttokäyttö on mahdollista Ruotsis-
sa, Tanskassa, Saksassa ja Hollannissa.

(<http://www.bioenergianeuvoja.fi> luettu 27.11.2014)

Hevosenlannan käyttämättä jättämisellä menetetään suuri määrä energiaa. Laskennalli-
sesti omakotitalon ympärivuotisesti voisi lämmittää 4-5 hevosen tuottamalla lannan
määrällä. Suomessa on arviolta noin 70 000 hevosta. Vuonna 2007 muodostui hevosen-
lantaa arvioiden mukaan 486 000 tonnia. Vuodessa saatava lannan energiamäärä kui-
vikkeineen on 2700 TJ/a, joka vastaa verrannollisesti noin 65 000 tonnia polttoöljyä.
Joidenkin lähteiden mukaan hevosenlannan määrä vuonna 2007 voisi olla jopa 800 000
tonnia.

(<http://www.bioenergianeuvoja.fi> luettu 27.11.2014)

3.1.6 Energiajäte

Energiajätteellä käsitetään puu, pahvi ja muovijäte. Taulukossa 2. on taulukoitu eri
muovilaadut ja niiden symbolimerkinnot. Taulukosta nähdään myös muutamia muovien
käyttökohteita, sekä niiden poltettavuus. Polttoon voidaan muovijätteistä lajitella kaikki
muut paitsi PVC:tä sisältävät muovit. Muoveista PET-muovi ja PS-muovi aiheuttaa
poltossa jonkin verran nokihaittoja. Luokan 7 muoveja ei suositella polttoon.

Taulukko 2. Muovilaadut

Muovilaatu	Symboli	Käyttökohde	Poltettavuus
Polyeteenitereftalaatti PET		Virvoitusjuoma- ym. pullot, tekstiilit	Voi polttaa (nokihaitta)
Polyeteeni high-density PE-HD		Mehupullot, ämpärit, virvoitus- juomakorit	Voi polttaa
Polyvinyylikloridi PVC		Putket, letkut, rakennustarvik- keet	Ei saa polttaa
Polyeteeni low-density PE-LD		Muovikassit, pussit, kalvot	Voi polttaa
Polypropeeni PP		Narut, rasiat, tekniset tuotteet, voirasiat	Voi polttaa
Polystyreeni PS		Rasiat, purkit, styrox, korurasi- at	Voi polttaa (nokihaitta)
Muut		Kaikkien yllä olevien yhdis- telmät	Ei suositella

Muovin lisäksi energiajätteeseen voidaan lajitella likaiset rakennuspahvit, sekä erilaiset puutavarat. Energiajäte lajitellaan erikseen ja sen jälkeen murskataan rouheeksi, joka viedään polttoon. Energiajätteestä voidaan käyttää myös nimitystä ref (recovered fuel). Energiajätteestä tehdään polttoaineita, jota käytetään sähkön ja lämmön tuotannossa.

3.2 Nestemäiset biopolttoaineet

Seuraavaksi työssä käsitellään muutamia nestemäisiä biopolttoaineita tarkemmin. Nestemäiset biopolttoaineet ovat muodostettu jostakin biomassasta. Biopolttoaineet, joita käsitellään, ovat kasviöljyt, pyrolyysiöljy ja biodiesel.

3.2.1 Kasviöljyt

Öljypitoisista kasveista saadaan bioöljyä, josta voidaan puhua niin sanottuna ensimmäisen sukupolven biopolttoaineena. Öljypitoisia kasveja ovat muun muassa rypsi, rapsi ja pellavainen. Näistä saadaan bioöljyä puristamalla siemenet. Suomessa eniten viljellään öljykasveista kevätrypsiä, jonka viljelyalue ylettyy Pohjois-Pohjanmaalle asti. Muualla Euroopassa ja ympärivuotisen kasvun alueilla viljellään energiakäyttöön myös muun muassa soija-, palmu- ja auringonkukkaöljyä. Kasviöljyjä voidaan hyödyntää energiantuotannossa myös muun muassa paistoprosessin jälkeen. Bioöljyn lisäksi on mahdollista polttaa rypsin, rapsin ja pellavan varsia kiinteinä polttoaineina. Rypsin ja rapsin olkisato on keskimäärin 1 945 kiloa hehtaarilta. Rypsin, rapsin ja pellavan olkien käyttö energiantuotannossa on toistaiseksi ollut melko vähäistä.

(<http://www.motiva.fi> luettu 25.11.2014)

Bioöljyjen hyvinä puolina pidetään muun muassa niiden helppoa tuotettavuutta. Tämän lisäksi etuihin luetaan myös se, että voidaan hyötykäyttää ne erät, jotka eivät kelpaa elintarviketeollisuuteen. Bioöljyistä voidaan viljellä syysmuotoja, jotka rikastuttavat viljelykiertoa. Syysmuodoilla voidaan tuottaa satoa hyvin vähäisillä energiapanoksilla.

(<http://www.motiva.fi> luettu 25.11.2014)

Huonoina puolina bioöljyissä pidetään raaka-aineiden hintaa ja saatavuutta. Raaka-aine on melko kallista energiatuotantoon ja sen saatavuus on huonoa, koska polttoaineeksi tuottaminen kilpailee kokoajan elintarviketuotannon kanssa.

(<http://www.motiva.fi> luettu 25.11.2014)

3.2.2 Pyrolyysiöljy

Pyrolyysiöljyllä tarkoitetaan biomassasta valmistettavaa öljyä. Biomassalla voidaan tarkoittaa muun muassa metsähakkeita. Pyrolyysiöljyä voidaan käyttää voimalaitoksissa ja lämpövoimalaitoksissa fossiilisen öljyn tilalla. Pyrolyysiöljyn valmistusta pyritään koko ajan kehittämään ja se onkin aktiivisen kehitystyön kohteena. Pyrolyysiöljyä jatkojalostamalla sitä voidaan käyttää liikennepolttoaineena.

(<http://www.motiva.fi> luettu 3.12.2014)

Parhaimmillaan kuivasta biomassasta saadaan 70-75 painoprosenttia nestetuotetta pyrolyysillä. Pyrolyysiöljy valmistetaan kuumentamalla muutamassa sekunnissa biomassaa 500-600 asteen lämpötilaan, jossa se höyrystyy kaasuksi. Tämän jälkeen se jäähdytetään nopeasti ja kaasu tiivistyy pyrolyysiöljyksi. Pyrolyysiöljyn tuottaminen on halvinta verrattuna muihin nestemäisiin biopolttoaineisiin. Pyrolyysiöljy vastaa ominaisuuksiltaan raskasta polttoöljyä fossiilisista polttoaineista. Pyrolyysiöljyn lämpöarvo on noin puolet mineraaliöljyn lämpöarvosta. Tämä johtuu korkeammasta happipitoisuudesta ja suuremmasta kosteudesta.

(<http://www.motiva.fi> luettu 3.12.2014)

3.2.3 Biodiesel

Biodiesel nimeä käytetään polttoaineista, jotka ovat valmistettu uusiutuvista raaka-aineista ja ovat koostumukseltaan sekä ominaisuuksiltaan hiilivetypohjaisen dieselin kaltaisia. Biodieselin laatustandardi SFS-EN 14214 määrittelee biodieselin rasvahappojen metyyliesteriksi. Eniten biodieselin tuotannossa käytetään papu-, soija ja rypsi-/rapsiöljyä.

(Kannisto s.17)

Biodieselillä tarkoitetaan yleensä rasvahappojen metyyli- ja etyyliestereistä koostuvia polttonesteitä. Biodiesel toimii kaikissa dieselmootoreissa fossiiliseen dieseliin sekoitettuna. Jotkut valmistajat kuitenkin sallivat 100 % biodieselin käytön. Joissakin malleissa vaaditaan letkujen ja tiivisteiden vaihtoa, jotta siinä voidaan käyttää biodieseliä. Biodieselin samepiste on melko korkea, joten puhtaan biodieselin kylmäkäynnistysominaisuudet ovat huonommat kuin fossiilisen dieselin. Biopolttoaineen huonompi kylmäkäynnistys ominaisuus johtuu korkeasta same- ja jähmepisteestä. Fossiilinenkaan diesel ei kuitenkaan Suomen kylmissä talvissa toimi sellaisenaan, vaan siihen joudutaan lisäämään erilaisia apuaineita laadun parantamiseksi. Siksi on myös mahdollista, että löydetään ratkaisu jolla voidaan parantaa biodieselin kylmäkäynnistysominaisuuksia. Biodieselin hyviä ominaisuuksia on muun muassa se, että se voitelee moottoria tehokkaasti ja näin ollen vähentää moottorin kulumista. Biodiesel ei myöskään sisällä yhtään rikkiä ja ajoneuvokäytön lisäksi sitä voidaan käyttää diesel-aggregaateissa ja lämmityskattiloissa.

(<http://www.bioste.fi> luettu 26.11.2014)

Biodieselin raaka-aineina käytetään tällä hetkellä auringonkukka-, rypsi-, rapsi-, palmu- ja soijaöljyä, sekä muita syötäväksi kelpaavaa kasviöljyä. Niiden viljely öljytuotantoon vie viljely alaa elintarviketeollisuudelta. Näiden lisäksi raaka-aineena voidaan käyttää paistorasvaa ja –öljyä sekä teurasjätteitä ja muita eläinrasvoja. Näistä raaka-aineista kaikkien jätteen hyötykäyttö on hyväksi ja ne ovat energiataseeltaan edullisia, kunhan kuljetusmatkat pysyvät kohtuullisina. Elintarvikkeeksi kelpaavien kasvien öljyjen käyttöön liittyy monia eettisiä kysymyksiä. Näistäkin voidaan kuitenkin hyödyntää sellaiset erät, jotka eivät laadullisesti kelpaa elintarviketeollisuuteen. Tämän hetken tutkituin biodieselin raaka-aine on jatropha, jolla yleisesti tarkoitetaan jatropha curcasta. Jatropha on trooppinen pensas, joka kasvaa myös karuilla ja kuivilla joutomailla. Jatrophaa käytetään myös muun muassa aavikoitumisen ehkäisemisessä maaperän sitomiseen. Jatrophasta hyödynnetään biodieselin tuotannossa vain hedelmä, joka on myrkyllinen, eikä siis sovi elintarvikkeeksi. Tämän vuoksi se ei tuota eettisiä ongelmia sinänsä. Mutta kun energian hinta on nousussa, se houkuttelee viljelemään jatrophaa ja näin aiheuttaa eettisiä kysymyksiä, koska jatrophan viljely vie viljelymaata ruokatuotannolta.

(<http://www.bioste.fi> luettu 26.11.2014)

Biodieseliä voidaan valmistaa myös mikrolevistä tai syanobakteereista. Syanobakteereilla tarkoitetaan tutummin sinilevää, joka ei siis ollenkaan ole edes levä. Levistä valmistettua biodieseliä voidaan kutsua leväbiodieseliksi. Levät, jotka soveltuvat biodieselin valmistukseen, eivät sovellu syötäviksi. Näin ollen se ei vähennä ruuan peltopinta-alaa. Levää voidaan kasvattaa altaissa esimerkiksi keskellä autiomaata. Levä tarvitsee kasvaakseen typpeä, happea ja fosforia, jotka ovat sen pääravinteita. Öljysato, joka levästä saadaan, on parhaimmillaan satakertainen rypsiöljysatoon verrattuna. Huonoimmillaankin se on ainakin kymmenkertainen. Puristuskakku, mikä syntyy öljyä erotettaessa levästä, voidaan hyödyntää rehuntuotannossa tai lannoituksessa.

(<http://www.bioste.fi> luettu 1.12.2014)

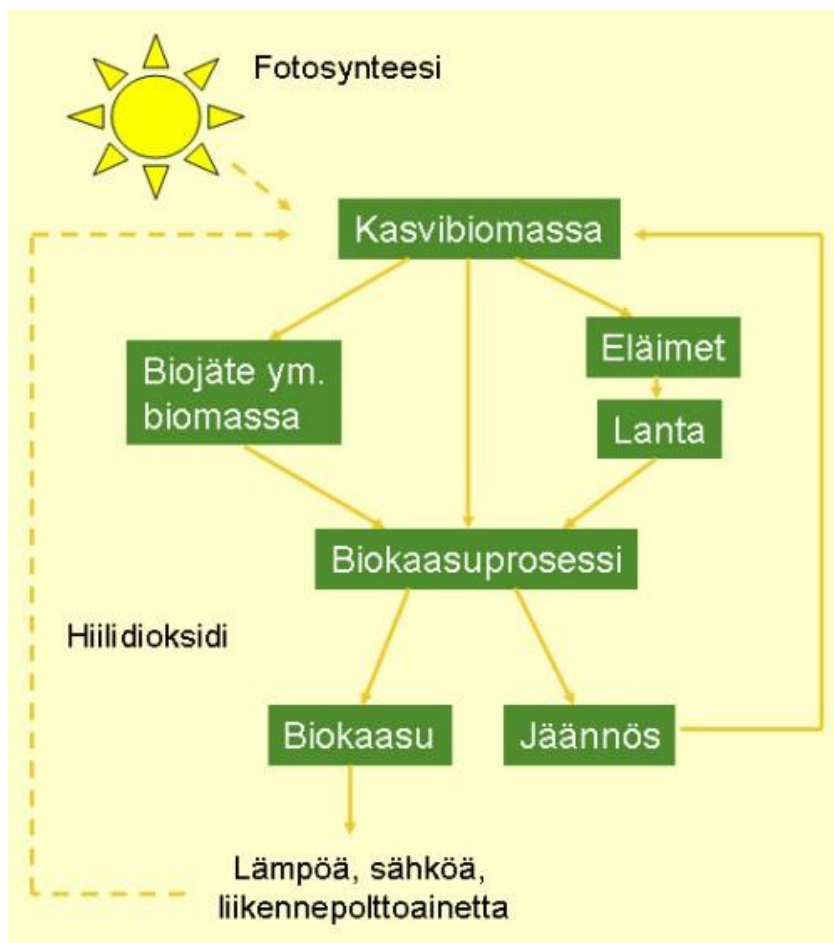
3.3 Muut biopolttoaineet

Muissa biopolttoaineissa on käsitelty muita kuin nestemäisiä ja kiinteitä biopolttoaineita. Tässä työssä esille on otettu kaasuna muodossa oleva biokaasu.

3.3.1 Biokaasu

Biokaasu on uusiutuva energian lähde ja polttoaine. Se on arvokas uusiutuva polttoaine ja energian lähde, jolla on huomattavat ympäristöhyödyt. Biokaasua muodostuu koko ajan muun muassa kosteikoissa, eläinten suolistossa ja vesistöjen pohjakerroksissa. Biokaasua käytetään lämmön- ja sähköntuotannossa energian lähteenä. Tämän lisäksi biokaasua voidaan jatkojalostaa autojen polttoaineeksi. Biokaasu on kaasuyhdiste, joka sisältää 60–70 % metaania ja 30–40 % hiilidioksidia. Tämän lisäksi se saattaa sisältää hyvin pieniä määriä muun muassa rikkiyhdisteitä. Näistä kaasuista metaani on 20–70 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu, kuin hiilidioksidi, joten sen talteenotolla ja hyötykäytöllä voidaan merkittävästi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Biokaasua syntyy, kun anaerobiset mikrobit hajottavat orgaanista aineista anaerobisissa eli hapettomissa olosuhteissa. Tämän hajotuksen tuloksena syntyy metaanipitoista biokaasua ja lannoitukseen soveltuvaa orgaanista mädätysjäännöstä. Tätä prosessia voidaan kutsua mädätykseksi tai kaasutukseksi.

(<http://www.biokaasuyhdistys.net> luettu 26.11.2014)



Kuva 6. Biokaasun tuotantoketju (Lähde: <http://www.biokaasufoorumi.fi>)

Kuvassa 6. on käsitelty biokaasun tuotantoketjua. Siitä huomataan, kuinka kasvibiomassasta, eläinten lannasta ja biojätteestä tuottaa biokaasuprosessissa voidaan tuottaa biokaasua, josta saadaan lämpöä ja sähköä, sekä jatkojalostamalla liikennepolttoainetta. Jäännöstä voidaan käyttää lannoituksessa ja sieltä kautta uudelleen biokaasuprosessissa. Tällä prosessilla vähennetään merkittävästi kasvihuone- ja hiukkaspäästöjä.

Biokaasua syntyy koko ajan muun muassa kosteikoissa, mutta tämän lisäksi sitä voidaan teollisesti ja kontrolloidusti tuottaa erilaisilla menetelmillä. Näitä menetelmiä ovat esimerkiksi kaatopaikoilta metaanin kerääminen pumppaamalla ja tätä varten rakennetut biokaasureaktorit. Biokaasutekniikalla voidaan hyödyntää mikrobien luontaista kykyä tuottaa metaania orgaanisesta aineesta. Tällaisessa biokaasulaitoksessa tämä luonnollinen prosessi tuotetaan hallitusti, jotta metaani saadaan kerättyä talteen uusiutuvana polttoaineena.

(<http://www.biokaasuyhdistys.net> luettu 26.11.2014)

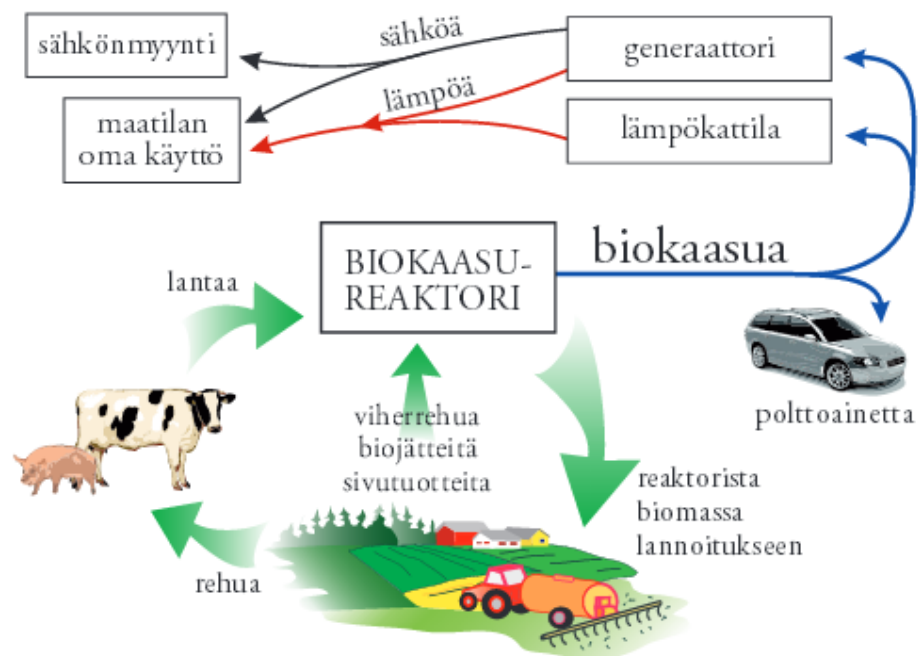
Maailmalla biokaasulaitoksilla on jo pitkä historia. Kiinassa prosessi on tunnettu jo useita satoja vuosia ja siellä onkin kymmeniä miljoonia biokaasureaktoreita, joista suurin osa on kotitalous käytössä. Suomeen prosessi on tullut 1900-luvun alussa. Viime aikoina Suomessa on ollut käynnissä useita erilaisia tutkimus- ja kehittämishankkeita. Näissä hankkeissa on tutkittu liikennebiokaasunkäytön edistämistä ja laajempaa verkostoitumista. Vielä vuonna 2010 Kalmarin tila Laukaalla oli ainoa, jolla oli ajoneuvopolttoainetta jalostava laitos. Tätä voitaisiin kehittää paljon, koska monilla maatiloilla jätetään hyödyntämättä biokaasusta suuri osa. Tämän kaasun käytöllä olisi kannattava tuottaa sähköä ja jatkojalostaa ajoneuvonpolttoaineeksi myyntiin. Tämä olisi monella tapaa hyödyksi, koska voitaisiin korvata kotimaisella polttoaineella fossiilisia polttoaineita ja tämän lisäksi keräämällä talteen biokaasu vähennetään merkittävästi kasvihuone- ja hiukkaspäästöjä.

(<http://www.biokaasuyhdistys.net> luettu 26.11.2014)

4 BIOPOLTTOAINEIDEN VALMISTUS

4.1 Biokaasu

Kuvassa 7., joka on alapuolella, on käsitelty maatilan biokaasureaktoria. Tässä projektossa tuotetaan eläinten lannasta bioreaktorissa biokaasua, joka voidaan käyttää oman maatilan sähkön- ja lämmöntuotantoon. Tämän lisäksi siitä voidaan jatkojalostaa polttoainetta liikennekäyttöön. Reaktorissa syntyvä biomassa käytetään lannoitukseen, joka on siihen todella hyvää.



Kuva 7. Maatilan biokaasureaktori. (Lähde: Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 17, Markku J. Huttunen & Ville Kuittinen)

4.1.1 Erilaiset reaktoriyypit

Biokaasun tuotannossa käytettäviä reaktoriyyppejä voidaan jaotella monella erilaisella tavalla. Näitä erilaisia tapoja jaotella ovat reaktorin lämpötilan perusteella, syötön koostumuksen perusteella sekä panostoimisiin tai jatkuvatoimisiin ja yksi- tai useampi vaiheisiin prosesseihin. Reaktorin lämpötilan perusteella jaoteltuna puhutaan mesofiilisistä

ja termofiilisistä prosesseista. Termofiilinen prosessi tapahtuu noin 55 °C:ssa ja mesofiilinen prosessi tapahtuu noin 37 °C:ssa. Suomessa käytetään yleensä mesofiilistä prosessia, koska sitä ei jouduta niin paljoa lämmittämään eli käyttämään energiaa.

(<http://www.bioste.fi> luettu 27.11.2014)

Jaoteltaessa syötteen koostumuksen perusteella, niin puhutaan märkämädätyksestä ja kuivamädätyksestä. Sana ”kuivamädätys” on kuitenkin harjaan johtava, koska sillä ei kuitenkaan tarkoiteta sitä, että syöte olisi vedetöntä. Tämä johtuu siitä, että mädätyksessä toimivat mikrobit tarvitsevat kosteutta, jotta voivat toimia kunnolla ja tehokkaasti.

(<http://www.bioste.fi> luettu 27.11.2014)

Märkämädätys on tällä hetkellä suosituin biokaasuprosessi. Märkämädätyksessä syöte pumpataan sisään reaktoriin. Syötteen kuiva-ainepitoisuus on alle 15 % ja syntyneen mädätteen kuiva-ainepitoisuus on alle 8 %. Märkämädätys sopii lietemäisille raaka-aineille. Näitä raaka-aineita ovat yleensä elintarviketeollisuuden jätevedet ja lietelanta. Märkämädätyksessä reaktorit ovat yleensä yksinkertaisia ja varmatoimisia. Märkämädätyksellä voidaan hyvin käsitellä myös pieniä määriä. Märkämädätyksessä raaka-aineen hajoaminen on tasaista ja näin ollen myös kaasuntuotanto suhteellisen tasaista. Märkämädätyksen suurin ongelma on kaasuntuoton jälkeen jäljelle jäävä mädäte. Evira eli Elintarviketurvallisuusvirasto ei hyväksy nestemäisen lannoitteen levitystä pellolle, vaikka tuote sisältääkin paljon esimerkiksi typpeä ja näin sopisi lannoitteeksi. Eviran mukaan mädäte on jätevettä, joka pitäisi puhdistaa. Mädätteessä kuitenkin on niin vahvat arvot, jotka ovat monesti vielä puhdistuksenkin jälkeen liian suuria eli jäteveden käsittely on kallista.

(<http://www.bioste.fi> luettu 27.11.2014)

Kuivamädätys yleistyy koko ajan maailmalla. Kuivamädätyksellä ei tarkoiteta sitä, että syöte olisi vedetöntä. Prosessissa toimivat mikrobit tarvitsevat toimiakseen vettä. Kuivamädätyksessä syötteen kuiva-ainepitoisuus on 20-50% ja mädätteen kuiva-ainepitoisuus on 5-20 %. Syöte on siis lapioitavissa projektoriin. Kuivamädättämiä on niin sanotuista autotallimallisista panostoisista suuriin jatkuvatoimisiin. Kuivamädätyksessä jatkuvatoimisten ongelma yleensä on se, että ne eivät toimi kunnolla. Yleensä raaka-aineen sekoituksessa on ongelmia. Tämän seurauksesta hajoaminen ja kaasuntuotto ovat epätasaisia. Kuivamädätyksessä syntyy vähemmän jäljelle jäävää mädätettä. Mädäte voi olla kiinteä tai lietemäistä riippuen anaerobisen hajoamisen tehokkuudesta.

Kiinteä mädäte voidaan käyttää lannoitteena hyödyksi. Lietemäisestä mädätteestä voidaan erottaa nestefaasi ja kiintoainesfaasi. Nestefaasista käytetään nimitystä rejektivesi. Tämä rejektivesi puhdistetaan jätevedenpuhdistamolla.

(<http://www.bioste.fi> luettu 27.11.2014)

Tällä hetkellä ainoa kunnolla toimiva jatkuvatoiminen kuivamädättämö on sveitsiläinen Kompogas-prosessi. Kompogas jatkuvatoiminen kuivamädätysreaktori on vaakatasoon rakennettu suuri teräksinen tai betoninen putki, jonka sisälle on asennettu ruuvi. Tämä ruuvi pyörii ja näin ollen sekoittaa raaka-ainetta tasaisesti. Raaka-aine liikkuu putkessa noin yhden metrin päivässä ruuvin työntämänä. Ruuvin ansiosta mädätettävä raaka-aine sekoittuu tasaisesti ja kaasu pääsee vapautumaan massan sisältä. Reaktorin loppupäästä kuljetetaan rejektivettä reaktorin alkupäähän. Prosessi on termofiilinen, joten hajoaminen on nopeaa ja tilantarve on pieni. Prosessilla on hyvä hygienisoituminen, koska kaikki mädätettävä raaka-aines viipyy reaktorissa yhtä kauan. Kun taas esimerkiksi märkämädättämössä viipymäaika on keskimääräinen eli osa raaka-aineesta saattaa viipyä prosessissa vain muutaman tunnin. Kompogas-prosessin etuja on tasainen hajoaminen ja kaasuntuotto. Muihin etuihin kuuluu muun muassa varmatoimisuus. Vanhin laitos on toiminut 16 vuotta ilman ongelmia. Etuna on myös syntyvän mädäteen korkea kuiva-ainepitoisuus, jolloin rejektivesiongelma loppuu tai ainakin vähenee huomattavasti.

(<http://www.bioste.fi> luettu 27.11.2014)

Seuraavaksi tutkitaan tarkemmin jatkuvatoiminen ja -sekoitteinen reaktorityyppi sekä panosprosessi. Näistä jatkuvatoiminen ja -sekoitteinen reaktorityyppi on yleisemmin käytössä. Tässä prosessissa pumpataan tavaraa reaktoriin yhtä paljon, kun sitä otetaan ulos. Tämä muoto on yleisempi muun muassa sen takia, koska sen etuihin luetaan syötteiden automatisointi. Etuna on myös se, että kaasun tuotto on suhteellisen vakaata. Panosprosessissa taas periaatteena on se, että se täytetään ja tyhjennetään kerta-annoksina. Prosessi täytetään ja tyhjennetään tasaisin väliajoin, joka voi esimerkiksi olla 4-6 viikkoa. Tässä prosessissa on yleensä sekoitettu erilaiset materiaalit keskenään, jotta saadaan tasainen mikrobikanta. Panosprosessin etuna on sen helppohoitoisuus prosessin aikana, koska se työllistää vain täytön ja tyhjennyksen aikaan. Sen kuitenkin haittana on kaasuntuoton hidaskäynnistyminen. Yleensä panosprosessilla tuotetuilla laitoksilla on laitettu useampi panosprosessilla toimiva reaktori rinnakkain, joissa kaikissa on prosessi eri vaiheessa. Näin voidaan taata jatkuva kaasuntuotanto.

(Hyvönen ym.)

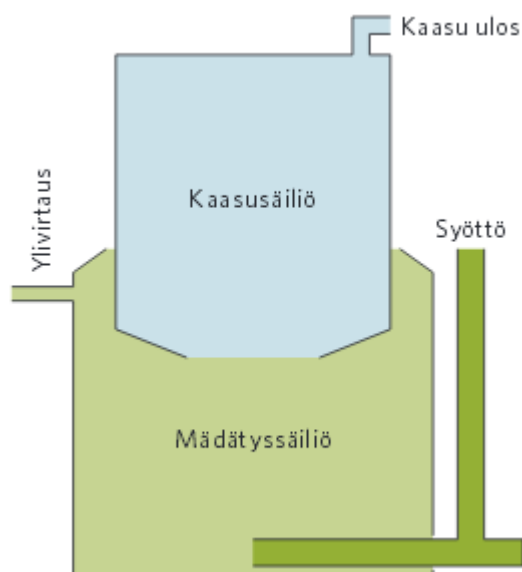
Biokaasuprosessit ovat joko yksi- tai monivaiheisia. Monivaiheinen prosessi on anaerobisissa oloissa eli hapettomissa oloissa tapahtuva hajoaminen. Tällaisessa prosessissa on erilaisia mikrobeita, jotka vaativat omanlaisensa optimiolosuhteet. Monivaiheisen prosessin tarkoituksena on tehostaa tapahtuvaa hajotusta ja näin ollen tehostaa kaasun tuotantoa. Tällainen monivaiheinen prosessi on järjestetty niin, että eri vaiheet on sijoitettu omiin reaktoreihinsa. Näissä jokaisessa reaktorissa on sille vaiheella optimaaliset olosuhteet, jotta hajoaminen oli tehokasta. Monivaiheinen prosessi voidaan tuottaa myös yhdessä reaktorissa, jolloin nostetaan kokonaisviipymääikää. Tällöin tuote viipyy reaktorissa pidemmän aikaa, koska muuten se voisi läpi virrata reaktorin läpi käymättä prosessia.

(Hyvönen ym.)

Kaksivaiheinen prosessi on tuotettu niin, että ensimmäisessä reaktorissa pyritään saamaan ihanteelliset olosuhteet, joissa hydrolyysi ja happokäyminen voivat tapahtua. Toisessa reaktorissa taas on luotu olosuhteet niin, että metaanin tuotto olisi optimaalista edellisen vaiheen mädätystuotteista.

(Hyvönen ym.)

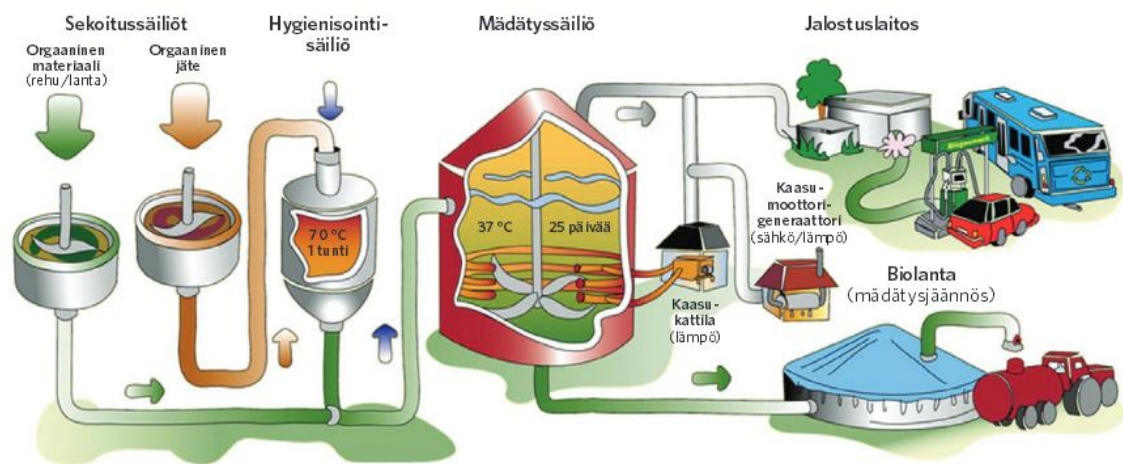
4.1.2 Biokaasulaitokset



Kuva 8. Yksinkertainen biokaasulaitos (Lähde: Biokaasun tuotanto maatilalla – esite(2013))

Kuvassa 8. on yksinkertainen biokaasulaitos, joita maailmalla on useita. Yksinkertainen biokaasulaitos muodostuu kahdesta kaasutiiviistä säiliöstä. Nämä kaksi säiliö ovat osittain sisäkkäin. Alempi säiliö on avoin ylöspäin ja ylempi säiliö on avoin alaspäin. Reaktorissa tapahtuva biokaasu nousee ylös, josta se voidaan kerätä talteen. Suomen oloissa mädätys säiliön yläpäähän tarvitaan lisäeristys.

(Biokaasuntuotanto maatilalla – esite(2013) s.14)



Kuva 9. Kehittyneempi biokaasulaitos. (Lähde: Biokaasun tuotanto maatilalla – esite(2013))

Kuvassa 9. käsitellään kehittyneempää biokaasulaitosta, jossa on alussa sekoitus säiliöt sen jälkeen hygienisointi säiliö ja tämän jälkeen itse mädätys säiliö. Sekoitussäiliöitä on kaksi, joista toiseen syötetään ne syötteet, jotka pitää hygienisoida. Mädätys säiliöstä kerätään tuotettu kaasu, joka menee jatkokäsittelyyn tai sellaisenaan sähkön ja lämmön tuotantoon. Mädätys säiliöstä kerätään myös erikseen syntynyt mädätysjäännös, joka käytetään lannoitukseen. Tällaisessa reaktori on muodoltaan sylinterimäinen teräksestä tai teräsbetonista valmistettu säiliö, joka on yleensä peitetty kahdella tiiviillä kalvolla. Kalvojen väliin jää kaasulle varastointitila ja tällä muodostetaan keskieurooppalaisissa laitoksissa eristys. Suomen oloissa kuitenkin tarvitaan lisäeristystä. Kehittyneemmissä biokaasulaitoksissa mädättämössä on sekoittaja, jota yksinkertaisemmissa ei ole. Mädatyystä tapahtuu vielä mädätysjäännössäiliössä noin 10-25 % biokaasun tuotosta, joten sieltäkin kerätään kaasua talteen. Keski-Euroopassa vaaditaan, että mädätysjäännössäi-

liön on oltava umpinainen, jotta vältetään metaanipäästöjen syntymistä. Tällaisia mää-
räyksiä ei kuitenkaan Suomessa vielä ole, mutta jos säiliö ei ole umpinainen niin mene-
tetään merkittävä määrä biokaasua.

(Biokaasuntuotanto maatilalla –esite(2013) s.15)

Hygienisointi on käsittely, jossa on käsiteltävä kaikki eläimistä saatavat sivutuotteet.
Käsittely kestää vähintään 60 minuuttia ja se tapahtuu 70 °C lämpötilassa. Ruokajätteen
ja lannan hygienisointiin hyväksytään kuitenkin myös termofiilisellä lämpötila-alueella
tapahtuva. Tässä tapauksessa lämpötilan on kuitenkin pysyttävä vähintään kahden vii-
kon ajan 55 °C:ssa.

(<http://www.evira.fi> luettu 27.11.2014)

4.2 Biodiesel

Biodieseliä valmistetaan esteröimällä kasvi- tai eläinrasvoja alkoholin avulla. Kustan-
nussyistä yleensä esteröinnissä käytettävä alkoholi on metanoli, mutta se voi olla myös
etanoli tai jokin muu lyhytketjuinen alkoholi. Biodieselistä, joka on valmistettu me-
tanolin avulla, käytetään yleisesti termejä FAME, joka tulee sanoista fatty acid methyl
ester eli rasvahapon metyyliesteriä ja RME, joka tulee sanoista rapeseed methyl ester eli
rypsimetyyliesteri.

(<http://www.bioste.fi> luettu 26.11.2014)

Esteröinti reaktio tapahtuu emäskatalyytin läsnäollessa. Emäskatalyytteinä toimii NaOH
ja KOH. Lähtöaineena on siis erilaisia rasvahappoja ja tuotteena rasvahappoestereitä ja
sivutuotteena syntyy glyserolia ja puristuskakku. Glyserolin muodostumista reaktiossa
ei voida estää, mutta sille voidaan kehittää hyötykäyttöä. Glyseroli on nestemäistä ja se
voidaan hyödyntää biokaasun valmistuksessa sekoittamalla sitä esimerkiksi lannan tai
biomassan sekaan. Glyseroli ei sovi yksinään biokaasun valmistukseen, koska siinä ei
ole yksinään tarpeeksi ravinteita mikrobeja varten mädätyksessä. Muina hyötykäyttönä
glyseroli voidaan puhdistaa ja hyödyntää kosmetiikka- tai lääketeollisuudessa. Tässä
kuitenkin saattavat puhdistuskustannukset nousta korkeiksi ja tämän lisäksi gly-
serolin markkinat ovat rajalliset.

(<http://www.bioste.fi> luettu 26.11.2014)

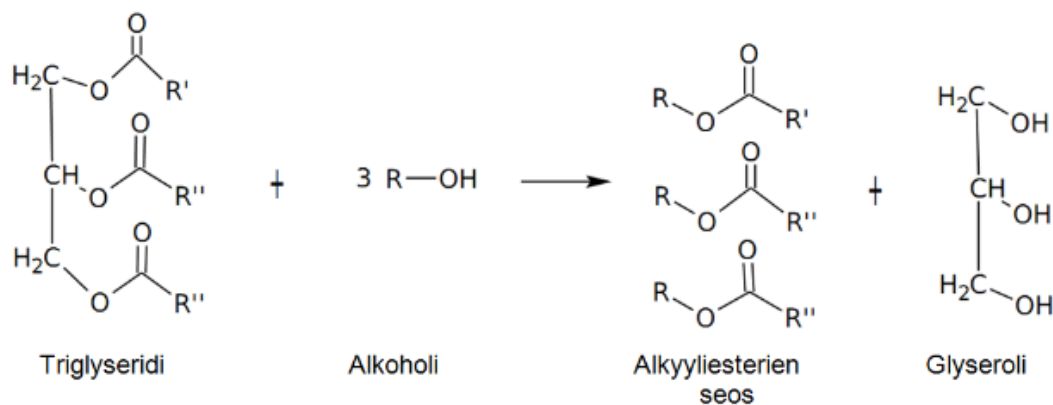
Biodieselin tuotannon sivutuotteista kuitenkin suurin on puristuskakku. Puristuskakku syntyy, kun öljy erotetaan raaka-aineesta puristamalla. Puristuskakun suuruus riippuu raaka-aineen öljypitoisuudesta ja puristimen tehosta. Puristuskakun suuruus on yleensä yhtä suuri, kuin saadun öljyn määrä, mutta se voi jossain tapauksissa olla jopa kaksinkertainen. Puristuskakku on käytetystä raaka-aineesta jäljelle jää muu kuiva-aine, joka on valkuaispitoista ja sopii yleensä hyvin rehu käyttöön. Puristuskakku voidaan myös käyttää hyödyksi biokaasun tuoton mädätyksessä.

(<http://www.bioste.fi> luettu 26.11.2014)

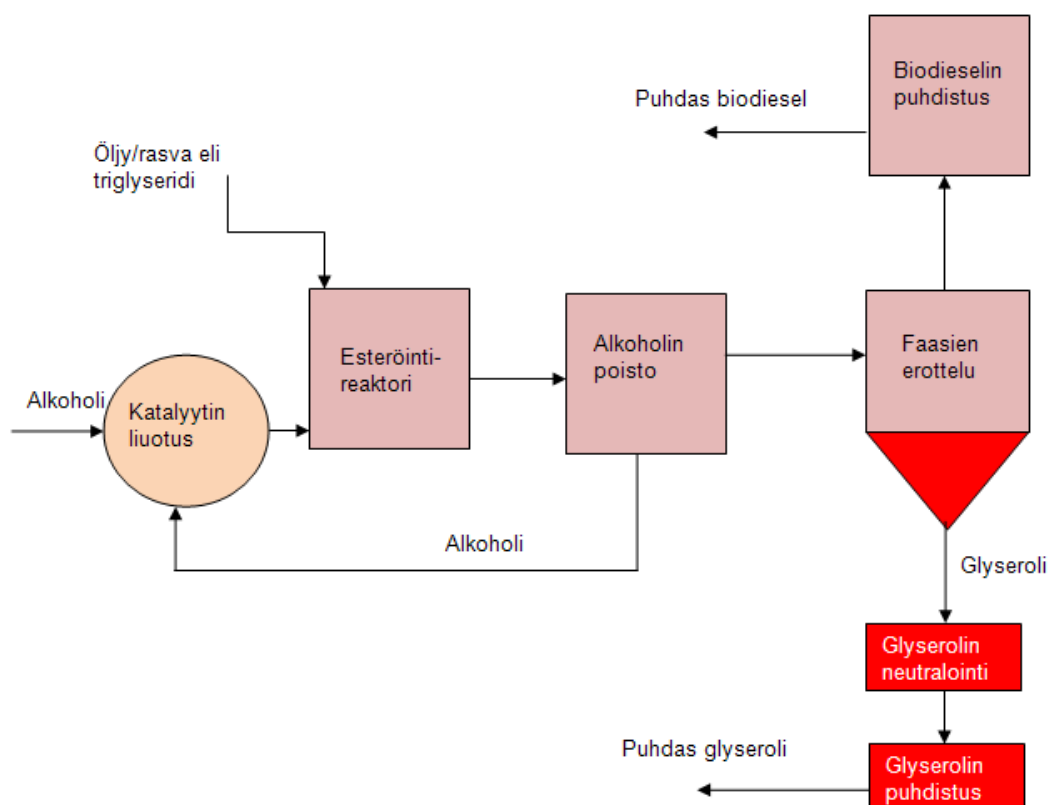
4.2.1 Valmistus vaihtoesteröimällä

Vaihtoesteröinnillä tarkoitetaan reaktiota, jossa esteri muuttuu toiseksi esteriksi. Kasviöljyistä valmistettaessa biodieseliä triglyseridi reagoi primäärisen alkoholin kanssa ja tästä syntyy rasvahappojen metyyliesteri ja glyseroli. Kuvassa 10. on esitetty triglyseridin vaihtoesteröintireaktio. Yksi mooli triglyseridiä tarvitsee kolme moolia alkoholia, jotta reaktio tapahtuu. Käyttämällä moolisuhdetta 1:6 reaktio tapahtuu nopeammin ja silloin päästään jopa 98 %:n saantoon.

(Kannisto)



Kuva 10. Vaihtoesteröinti (Lähde: Kannisto)



Kuva 11. Biodiesel valmistus.

Kuvassa 11. on kuvattu biodieselin valmistusprosessia vaihtoesteröinnillä. Prosessissa alussa katalyytti liuotetaan alkoholiin. Tämän jälkeen syötetään reaktoriin sekä alkoholi-katalyyttiliuos sekä kasviöljyt. Reaktio tapahtuu kun syötetään moolisuhteessa 1:6. Reaktiota kuumennetaan lähelle alkoholin kiehumispistettä, jolla voidaan nopeuttaa reaktiota. Reaktiossa kuluu aikaa tunnista kahdeksaan tuntiin. Prosessissa poistetaan seuraavaksi alkoholi. Alkoholi voidaan myös poistaa vasta faasien erottelun jälkeen kummas-takin erikseen. Reaktiotuotteisiin sitoutunut alkoholi voidaan poistaa yksinkertaisella tisluslaitteella, eikä lämpötilojen tarvitse olla suhteettoman korkeita. Alkoholin poiston jälkeen tapahtuu faasien erottelu. Tuotteet, jotka erotellaan, ovat glyseroli ja metyyliesteri. Tuotteet voidaan helposti erottaa toisistaan, koska tiheyserosta johtuen painavampi glyseroli laskeutuu astian pohjalle. Eroteltu glyseroli neutralisoidaan, koska se sisältää reagoimatonta katalyyttiä ja saippuaa. Neutralointi tapahtuu hapolla. Sen jälkeen poistetaan vielä vesi ja saadaan tuotteena 80-88 % raakaglyserolia.

(Takala ym.)

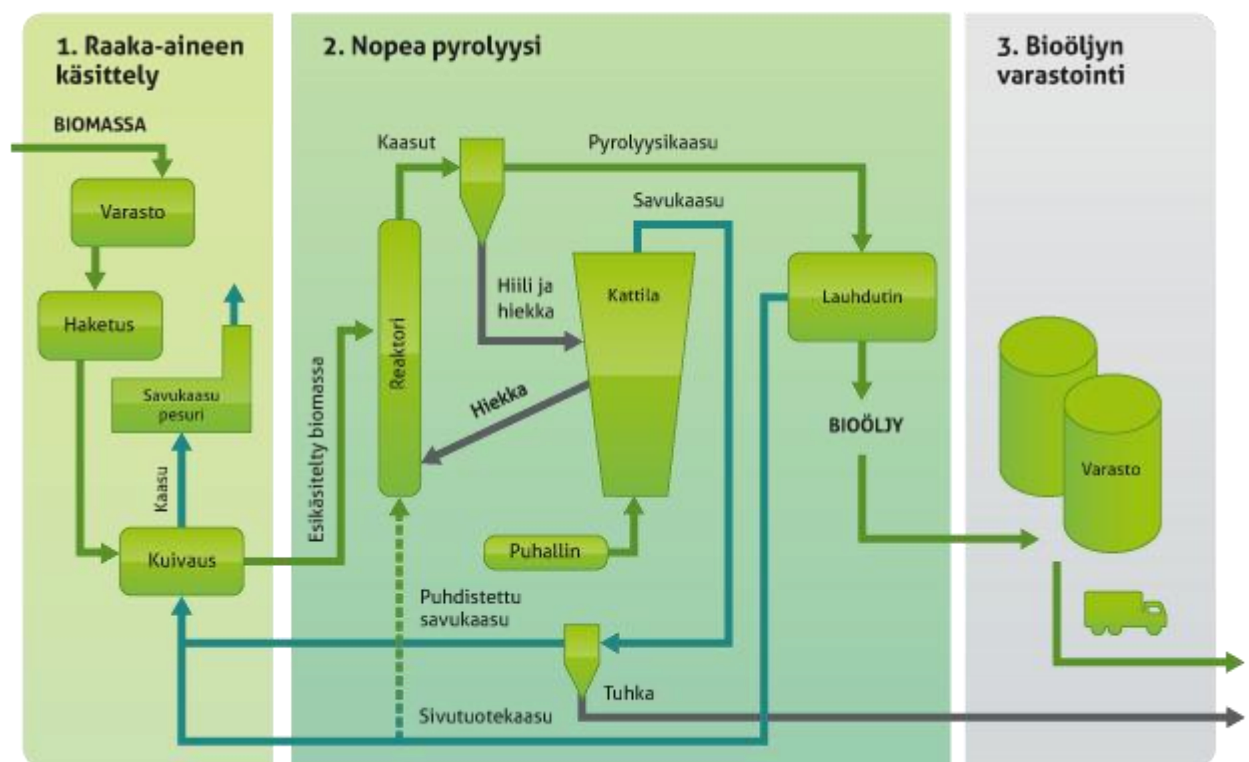
Faasien erotuksesta saatu metyyliesteri puhdistetaan. Alkoholin poiston jälkeen puhdistettava biodiesel sisältää vielä reagoimatonta katalyyttiä ja mahdollisesti saippuaa, jotka puhdistuksessa poistetaan. Biodieselin pesu tapahtuu lämpimällä vedellä. Tällöin saa-

daan poistumaan reagoimaton katalyytti ja saippua. Pesun jälkeen biodiesel kuivataan, jonka jälkeen on saatu kellertävän väristä biodieseliä, joka vastaa viskositeetiltään tavallista dieseliä. Tislaamalla voidaan poistaa biodieselistä värin aiheuttamat ainesosat, mutta se ei usein ole tarpeellista. Tämän jälkeen biodiesel on valmista käytettäväksi tai varastoitavaksi. Biodiesel kestää korkeintaan vuoden varastoinnin.

(Takala ym.)

4.3 Pyrolyysiöljy

Pyrolyysiöljy on tislattua puuta. Pyrolyysiöljyä valmistetaan biomassoista eli esimerkiksi metsähakkeesta nopealla pyrolyysillä. Pyrolyysiöljy on yksinkertaisin puupolttoneste ja se on tuotantokustannuksiltaan halvin nestemäinen biopolttoaine.



Kuva 12. Pyrolyysiöljyn valmistus. (Lähde: Green Fuel Nordic Oyj)

Kuvassa 12. on selvitetty pyrolyysiöljyn valmistus prosessia. Prosessi alkaa raaka-aineen käsittelyllä. Raaka-aine pilkotaan ensin sopivaan palakokoon ja kuivataan. Kuivaus tapahtuu kuivausrummussa. Kuivauksessa käytetään hyödyksi prosessissa syntyviä savukaasuja ja sivutuotekaasuja. Valmistusprosessin merkittävimmät tapahtumat tapah-

tuvat nopeassa pyrolyysissä. Reaktoriin ajetaan esikäsitelty biomassa, jossa se kuumennetaan nopeasti 500-600 asteen lämpötilaan. Kuumennuksessa käytetään kuumaa hiekkaa reaktorin kiertopetimateriaalina. Kaasuuntuminen tapahtuu lähes hapottomissa olosuhteissa, joten palamista ei pääse syntymään. Tämän jälkeen kaasu ohjataan sykloniin, jossa petimateriaali ja hiiltojäännös erotellaan kaasuvirrasta. Kaasu ohjataan syklonista kondensaattoriin eli lauhduttimeen, jossa kaasu muutetaan nesteeksi eli pyrolyysiöljyksi. Pyrolyysiöljy puhdistetaan ja analysoidaan vielä ennen kuin se lähtee varastoitavaksi. (<http://www.greenfuelnordic.fi/tuotantoteknologia> luettu 5.12.2014)

Biohiili eli syklonista sivutuotteena syntyvä hiiltojäännös ohjataan takaisin kattilaan, jossa petimateriaalina toimiva hiekka kuumennetaan. Kattilassa biohiili palaa ja tuottaa prosessin tarvitsemaa lämpöenergiaa. Kattilassa syntyvät savukaasut puhdistetaan ja puhdasta savukaasusta syntyvä lämpöenergia käytetään prosessin alussa raaka-aineen kuivattamisessa hyödyksi. Tästä läpi kulkeva kaasu ohjataan vielä savukaasu pesuriin, jossa kaasu puhdistetaan ympäristölle haitallisista aineista. (<http://www.greenfuelnordic.fi/tuotantoteknologia> luettu 5.12.2014)

5 BIOPOLTTOAINEIDEN LÄMPÖARVOJA

5.1 Lämpöarvoja

Lämpöarvo kertoo, kuinka paljon täydellisessä palamisessa syntyy lämpöä polttoaineen massayksikköä kohti. Tavallisesti lämpöarvo ilmoitetaan kiinteiden ja nestemäisten biopolttoaineiden kohdalla megajouleina polttoaine kiloa kohti, MJ/kg. Lämpöarvo voidaan ilmoittaa myös kilowattitunteina kuutiota kohti, kWh/m³. 1 kWh on 3,6 MJ. Lämpöarvo voidaan ilmoittaa kalorimetrisenä lämpöarvona tai tehollisena lämpöarvona. Kalorimetrisessä lämpöarvossa on otettu huomioon palamisen yhteydessä höyrystyvän veden höyrystymisenergia. Tehollista lämpöarvoa käytetään Suomessa yleisemmin. Se on niin sanotusti alempi lämpöarvo, joka saadaan kalorimetrisestä lämpöarvosta, kun otetaan huomioon vedyn palamisessa syntyvän ja savukaasuissa poistuvan vesimäärän haihduttamiseen kuluva lämpömäärä. Näiden lisäksi voidaan ilmoittaa tehollinen lämpöarvo toimituskosteudessa eli saapumistilassa. Tämä on alin lämpöarvo, koska siinä otetaan huomioon energiamäärä, joka kuluu aineen luonnollisesti sisältämän ja palamisen seurauksesta syntyneen kosteuden haihduttamiseen.

(Alakangas)

Taulukossa 3. on taulukoitu eri puulajien lämpöarvoja ja niistä saatavia lämpömääriä. Arvoista voidaan huomata, että polttoon parhaiten soveltuvia lajikkeita ovat koivu ja mänty. Saatava lämpömäärä ei ole merkittävästi pienempi muillakaan puulajeilla. Paras lämpöarvo on koivulla.

Taulukko 3. Puulajien lämpöarvoja. (Lähde: Alakangas)

Puulaji	Lämpömäärä kWh/kg	Lämpöarvo kWh/p-m ³
koivu	4,15	1 700
mänty	4,15	1 360
kuusi	4,10	1 320
leppä	4,05	1 230
haapa	4,00	1 330

Taulukko 4. Biopolttoaineiden lämpöarvoja. (Lähteet: Motiva, Kannisto, Sedu Aikuis-koulutus)

Biopolttoaine	Lämpöarvo MJ/kg
Hake	18,5-20
Havupuun kuori	18,5-20
Koivunpuun kuori	21-23
Pilke	18,5-19
Sahanpuru	19-19,2
Puupelletti	19,2
Turve	20,9-21,3
Metaani	50
Biokaasu	20-32
Biodiesel	39,6
Syyskorjattu olki	17,4
Syyskorjattu ruokohelpi	16,7-17,7
Kevätkorjattu ruokohelpi	17,1-17,5
Pyrolyysiöljy	15-19
Hevoselanta	14,4-17,3
Energiajäte	13-35

Taulukossa 4. on taulukoitu biopolttoaineiden lämpöarvoja. Biopolttoaineen lämpöarvoon vaikuttaa suoraan tuotteen sisältämä kosteus. Mitä enemmän kostetutta, sitä matalampi lämpöarvo on. Turpeen lämpöarvo vaihtelee hieman riippuen onko se pala- vai jysinturvetta. Eri turvesoilta tuoduilla turpeilla voi olla hieman eri lämpöarvot, mutta tätä polttolaitoksilla pyritään tasoittamaan raaka-aineen tehokkaalla sekoittamisella. Biokaasun lämpöarvon vaihteluun vaikuttaa käytetty raaka-aine, josta biokaasua tuotetaan.

Puussa huomataan olevan, jonkin verran vaihtelua. Koivulla on paras lämpöarvo. Oljen ja ruokohelpen lämpöarvoissa ei ole suurta eroa, eivätkä ne paljoa eroa puun lämpöar-

vosta. Biopolttoaineista biodieselillä on korkein lämpöarvo. Puhdasta metaania noin kuutio vastaa lämpöarvoltaan noin yhtä litraa mineraaliöljyä.

Pyrolyysiöljy on tuotettavuudeltaan halvin nestemäisistä biopolttoaineista. Sen lämpöarvo on matalampi, koska sillä on korkea happipitoisuus ja se sisältää reilusti vettä. Sen lämpöarvoa onkin noin puolet mineraaliöljystä. Joidenkin lähteiden mukaan kuivan pyrolyysiöljyn lämpöarvo voi olla jopa kaksinkertainen puuhun verrattuna. Yleisesti kuitenkin lämpöarvo prosessoinnin jälkeen jää 15-19 MJ/kg. Kuumahöyrysuodatuksella voitaisiin jonkin verran parantaa lämpöarvoa.

Energiajätteen lämpöarvossa on suurta vaihtelua, koska energiajäte koostuu monista eriasioista. Energiajätteessä on puuta, muovia ja pakkausmateriaaleja. Toisessa erässä voi olla lämpöarvoa nostavia materiaaleja ja toisessa niitä taas vähemmän. Tämän takia energiajäte on epätasalaatuista energian lähteenä. Tämän vuoksi sitä käytetään polttolaitoksissa monesti lämmön ja sähköntuotannossa, jonkin toisen tasalaatuisemman polttoaineen rinnalla.

Taulukko 5. Fossiilisten polttoaineiden lämpöarvoja. (Lähde: Motiva)

Polttoaine	Lämpöarvo MJ/kg
Dieselöljy	44,8
Raskas polttoöljy	41-41,3
Maakaasu	35,6
Kivihiili	27,9 (keskiarvo)
Kevyt polttoöljy	42,5-42,9

Taulukkoon 5. on taulukoitu vertailunvuoksi muutamien fossiilisten polttoaineiden lämpöarvoja. Fossiilisten polttoaineiden lämpöarvojen huomataan olevan suurempi, kuin biopolttoaineilla olevat lämpöarvot. Biopolttoaineista biodieselin ja biokaasun lämpöarvot ovat lähimpänä fossiilisten polttoaineiden lämpöarvoja.

6 POHDINTA

Alkuperäinen tarkoitus biopolttoaineiden lämpöarvojen mittaaminen pommikalorimetrillä ei toteutunut laitteen vahingoittumisen takia, joten opinnäytetyö on kokonaan kirjallisuustyö. Kirjallisuustyön tarkoituksena oli tarkastella tarkemmin joitakin erilaisia biopolttoaineita, niiden valmistusta ja lämpöarvoja kirjallisuudesta.

Biopolttoaineet ovat tällä hetkellä kovasti keskustelua herättävä aihe, koska uusiutumattomien polttoaineiden hinta on kovassa nousussa ja määrä vähentynyt hurjasti. Erilaisia biopolttoaineita tuotetaan paljon erilaisista raaka-aineista, joista monet sopivat myös elintarviketeollisuuden käyttöön. Tämä onkin herättänyt paljon eettisiä kysymyksiä. Voidaanko niin sanotusti rikkaissa maissa polttaa raaka-aineita, kun toisaalla kärsitään nälänhätää.

Eettisiin kysymyksiin on lähdetty hakemaan ratkaisua jätteiden hyödyntämisestä. Pyritään käyttämään sellaisia eriä, jotka eivät sovellu elintarviketeollisuuteen tai jotka ovat sivutuotetta. Toinen pinnalle noussut aihe on biopolttoaineiden vaikutus ruuan hinnan nousuun. Väitetään, että kun biopolttoaineeksi kelpaavien raaka-aineiden viljely on lisääntynyt, niin se vie viljelykelpoista maata elintarvikeviljelyltä. Voidaan kuitenkin todeta, että ruuan hinnan nousuun vaikuttaa selkeästi myös nousevat energiakustannukset, jos muita menetelmiä uusiutumattomien polttoaineiden rinnalle ei kehitetä.

LÄHTEET

Alakangas Eija 2000, Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia, VTT. s. 15-17, s. 35-40.

Bioenergian pikkujättiläinen. Luettu 25.11.-28.11.2014
<http://www.bioenergianeuvoja.fi>

Biokaasun tuotanto maatilalla –esite (2013) s. 15-17

Bioste Oy – Bioenergian ammattilainen. Luettu 26.11.2014
<http://www.bioste.fi>

Elintarvikevirasto Evira. Luettu 27.11.2014
<http://www.evira.fi>

Energiamailma. Luettu 31.3.2014
<http://energiamailma.fi>

Energiateollisuus. Luettu 25.11.2014.
<http://energia.fi>

Green Fuel Nordic – Tuotantoteknologia. Luettu 5.12.2014
<http://www.greenfuelnordic.fi/tuotantoteknologia>

Hyvönen T. & Rönkkö T. 2011. Pienimuotoisen biokaasureaktorin valmistaminen ja sen hyödyntäminen, Opinnäytetyö.

Kannisto Roope. 2012. Biodieselin valmistus –prosessin seuranta ja tuotteen laadunvarmistus. Opinnäytetyö.

Motiva, Uusiutuva energia ja biopolttoaineet. Luettu 25.11.-28.11.2014
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/energiaa_pelloilta/kasvioljyt

Sedu Aikuiskoulutus. Luettu 2.12.2014

<http://www.sedu aikuiskoulutus.fi/>

Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 17, Markku J. Huttunen & Ville Kuittinen. Luettu 25.11.2014

<http://www.biokaasuyhdistys.net/media/Biokaasulaitosrekisteri2013.pdf>

Suomen biokaasuyhdistys. Luettu 26.11.2014

<http://www.biokaasuyhdistys.net>

Takala Simo & Valkama Kari. 2006. Biodieselin valmistus kasviöljyistä vaihtoesteröintimenetelmällä.

Tilastokeskus. Luettu 1.12.2014

<http://www.tilastokeskus.fi>

Teknologia ilmastonmuutoksen torjunnassa. Luettu 26.11.2014

https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/elinkeinopolitiikka_kestava_kehitys_julkaisut_teknologia_ilmastonmuutoksen_torjunnassa.pdf

Öljyalan keskusliitto. Luettu 31.3.2014

<http://www.oil.fi>