



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

BIOPOLTTOAINEET JA NIIDEN LÄMPÖÄRVOT

Joel Unha

Opinnäytetyö
Toukokuu 2017
Biotuote- ja prosessiteknikka
Prosessiteknikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Biotuote- ja prosessiteknikka
Prosessiteknikka

UNHA JOEL
Biopolttoaineet ja niiden lämpöarvot

Opinnäytetyö 56 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Toukokuu 2017

Tämä opinnäytetyö käsittelee biopolttoaineita ja niiden lämpöarvoja. Tässä työssä tutkin kiinteiden- ja nestemäisten biopolttoaineiden lämpöarvoja, sekä selvitin kyseisten polttoaineiden aseman Suomen energian tuotannossa.

Biopolttoaineiden lisäksi perehdyin työssä Suomen energian tuotantoon, sekä Suomen metsävarojen riittävyyteen puuta raaka-aineenaan käyttävän biopolttoaineteollisuuden lisääntyessä.

Suomi on asettanut tavoitteeksi nostaa uusiutuvan energian osuus 38 %:iin, sekä nostaa biopolttoaineiden osuus liikenteessä käytettävistä polttoaineista 20 %:iin vuoteen 2020 mennessä. Vastaavanlaisia tavoitteita on kaikkialla maailmassa, ja jotta kyseisiin tavoitteisiin päästään, on biopolttoaineiden ominaisuuksia tutkittava. Biopolttoaine tutkimuksien avainasemassa on lämpöarvojen määrittäminen, joka tehdään lähes aina pommikalorimetrisesti. Tässä työssä tutkin sahanpurun, turpeen, metsähakkeen, puupelletin, biodieselin, sekä bioetanolin lämpöarvoja. Biopolttoaineiden sisältämät lämpömäärät mitattiin pommikalorimetrillä Tampereen ammattikoulu Tredun Koivistonkylän toimipisteessä.

Pommikalorimetrin toiminta perustuu näytteen poltosta vapautuvan lämpömäärän mittaamiseen. Näytteen poltto tapahtuu täydellisessä hapessa, vettä ympäröivässä suljetussa astiassa. Näytteen polttaminen tapahtuu vakio-tilavuudessa, joten sisäenergian muutos ΔU on sama kuin vapautuva lämpömäärä Q_v .

Opinnäytetyössä saadut lämpöarvot tulokset ovat varsin hyvin linjassa biopolttoaineiden lämpöarvoihin kirjallisuusarvoihin. Mikäli Tampereen ammattikorkeakoulu hankkii tulevaisuudessa pommikalorimetrin opetuskäyttöön, voidaan opinnäytetyötä käyttää esimerkiksi yhtenä pommikalorimetrin toimintaan perehdyttävänä dokumenttina.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in Bio product and Process technology
Option of Process Engineering

UNHA JOEL:
Biofuels and Their Heat Values

Bachelor's thesis 56 pages, appendices 0 pages
May 2017

The purpose of this thesis was to cover biofuels and their heat values. The main purpose was to determine the heat values of solid and liquid biofuels using a bomb calorimeter and to clarify the role of these fuels in the Finnish energy production. This thesis also takes a look to the sufficiency of forest resources of Finland as biofuel production is supposed to increase in the future.

Finland has set a target to increase the share of renewable energy in final energy consumption by 38% by 2020 compared with 1990 levels. Another target is to increase the share of biofuels by 20% by 2020 compared with 1990 levels. Biofuel research is essential to achieve these goals and calorimetry measuring is in the key role in this research.

The heat values of sawdust, peat, forest chips, wood pellets, biodiesel and bioethanol were determined by using bomb calorimeter. The results were then compared with values found in literature. The results were well in line with the literature values. If Tampere University of Applied Sciences wanted to invest in a bomb calorimeter in future, this thesis could be used as one of the introductions to its usage.

Key words: biofuels, heat value, energy production, renewable energy

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	5
2	ENERGIA SUOMESSA	7
2.1	Energian kokonaiskulutus vuonna 2016	7
2.2	Sähköntuotanto vuonna 2016.....	9
2.2.1	Tuotantomuodot	11
3	SUOMEN METSÄVARAT	14
3.1	Puun kysyntä ja tarjonta	14
3.2	Suomen puunkäytön lisääntyminen vuoteen 2030 mennessä	17
4	BIOPOLTTOAINEET	21
4.1	Mitattavat kiinteät biopolttoaineet	22
4.1.1	Metsähake	22
4.1.2	Sahanpuru	23
4.1.3	Puupelletti.....	23
4.1.4	Turve	25
4.2	Mitattavat nestemäiset biopolttoaineet.....	26
4.2.1	Neste my uusiutuva diesel.....	26
4.2.2	St1 RE85 Bioetanolli.....	28
5	LÄMPÖARVO	30
5.1	Kalorimetrinen lämpöarvo	30
5.2	Tehollinen lämpöarvo	32
5.3	Saapumistilassa olevan polttoaineen tehollinen lämpöarvo	34
6	POMMIKALORIMETRI	36
6.1	Kalorimetrisen mittauksen suorittaminen	38
7	MITTAUKSET	42
8	TULOKSET	46
8.1	Kiinteiden biopolttoaineiden tulokset	46
8.2	Nestemäisten biopolttoaineiden tulokset	48
8.3	Tulosten tarkastelu	50
8.4	Virhetarkastelu	52
9	POHDINTA.....	54
	LÄHTEET	55

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua biopolttoaineiden merkitykseen Suomen energian tuotannossa, sekä tutkia kiinteiden- ja nestemäisen biopolttoaineiden lämpöarvoja pommikalorimetrin avulla.

Bioenergialla on merkittävä osuus Suomen energiantuotannosta. Bioenergialla tarkoitetaan energiaa, joka saadaan polttamalla biopolttoaineita. Suurin osa Suomen bioenergiasta tuotetaan puuperäisillä polttoaineilla. Biopolttoaineet voidaan luokitella koostumuksen mukaan kiinteiksi, nestemäisiksi tai kaasumaisiksi polttoaineiksi. Bioenergia on yksi uusiutuvan energian lähteistä yhdessä tuulivoiman, aurinkoenergian, vesivoiman ja geotermisen energian kanssa. (Motiva. 2017)

Biopolttoaineet ovat Suomen biotalouden perusta. Biotalousella tarkoitetaan taloutta, joka käyttää uusiutuvia luonnonvaroja energian, tuotteiden ja palveluiden tuottamiseen. Biotalousen päätavoite on vähentää riippuvuutta fossiilisista luonnonvaroista luomalla samaan aikaan uusia työpaikkoja kestävä kehityksen periaatteiden mukaisesti. Suomen merkittävimmät uusiutuvat luonnonvarat ovat metsien, peltojen ja maaperän biomassassa eli eloperäinen aines, sekä makea vesi. (Biotalous. Biotalous lyhyesti.)

Uusiutuvan energian hyödyntämistä ajavat kansainväliset ilmastopöimukset, joista viimeisimpänä Pariisin ilmastopöimus. Joulukuussa 2015 hyväksytty Pariisin ilmastopöimus täydentää vuonna 1992 solmittua Yhdistyneiden Kansakuntien (YK) ilmastopöimusta. Pariisin ilmastopöimuksen tavoitteena on ilmastomuutoksen pysäyttäminen. Söimukseen tavoitteena on rajata maapallon keskilämpötilan nousu 1,5 °C. (Ympäristöministeriö. 2016.)

Suomi osallistuu kansainväliseen ilmastopöitiikkaan osana Euroopan Unionia (EU). Suomi on allekirjoittanut yhdessä muiden EU:n jäsenmaiden kanssa EU:n ilmastopöitiikkaa ohjaavan ilmasto- ja energiapaketin. EU:n jäsenmaita sitova ilmasto- ja energiapaketti ohjaa yhdessä Pariisin ilmastopöimuksen kanssa EU:n ilmastopöitiikkaa. Kyseisen paketin tavoitteina on vähentää EU:n kasvihuonekaasupäästöjä 20 % vuoteen 2020 mennessä vuoden 1990, kasvattaa uusiutuvan energian osuus 20 % energian loppukulutuksesta, sekä nostaa energiatehokkuutta 20 % vuoteen 2020 mennessä verrattu-

na vuonna 2007 arvioituun kehityspolkuun. Näistä tavoitteista käytetään yleisesti nimitystä 20-20-20-tavoitteet. (Ilmasto-opas. 2015.)

Euroopan Unionin jäsenmaille annetut tavoitteet vaihtelevat maiden lähtötasosta ja uusiutuvan energian potentiaalista. Esimerkiksi Suomen tavoite on kasvattaa uusiutuvan energian osuus 38 % energian loppukulutuksesta vuoteen 2020 mennessä. EU on myös määritellyt, että tieliikenteen biopolttoaineosuus tulee nostaa 10 % jokaisessa jäsenmaassa. Suomi on päättänyt asettaa tämän tavoitteen 20 %. (Ilmasto-opas. 2015.)

Suomen biotalouden kannalta on tärkeää, että biopolttoaineiden raaka-aine saadaan kotimaisilta puumarkkinoilta. Kasvava biopolttoaineiden käyttö lisää puuraaka-aineen käyttöä ja täten kasvattaa metsiemme hakkuumääriä. Tässä opinnäytetyössä käyn läpi Suomen metsävarat ja kerron, kuinka paljon metsähakkuita on varaa kasvattaa.

Tällä hetkellä Suomessa ja ulkomailla tehdään monipuolista tutkimustyötä kiinteiden ja nestemäisten biopolttoaineiden kehittämiseksi. Tähän tutkimustyön avain asemassa on polttoaineiden lämpöarvojen määrittäminen, joka tehdään lähes aina pommikalorimetrisesti. Lämpöarvolla tarkoitetaan täydellisessä palamisessa kehittyvän lämmön määrää polttoaineen massaa kohti. Lämpöarvo kertoo, kuinka tehokkaasti polttoaineesta saadaan lämpöenergiaa. Opinnäytetyöni tavoitteena on esittää yleisimmät Suomessa käytettävät biopolttoaineet, sekä selvittää neljän kiinteän biopolttoaineen ja kahden nestemäisen biopolttoaineen lämpöarvot pommikalorimetrisesti. Biopolttoaineiden lämpöarvot voidaan ilmoittaa useilla eri tavoilla. Kun halutaan verrata eri lämpöarvoja keskenään, on oleellista tuntea eri lämpöarvokäsitteet. Työssä käytettävät biopolttoaineet ovat sahanpuru, metsähake, puupelletti, turve, Neste my uusiutuva diesel sekä ST1 RE85 bioetanolli.

2 ENERGIA SUOMESSA

Suomi saa energiansa puupolttoaineista, öljystä, ydinenergiasta, hiilestä, maakaasusta, vesivoimasta, turpeesta, tuulivoimasta ja muista energialähteistä. Suomen energiantuotantoon vaikuttaa vahvasti Euroopan Unionin ilmastopoliittika, sillä kasvihuonekaasupäästöistä 80 % on peräisin energian tuotannosta ja kulutuksesta. Suomi on pyrkinyt lisäämään uusiutuvien energialähteiden käyttöä jo 1980-luvulta lähtien. Suomen hallituksen marraskuussa 2016 hyväksymä energia- ja ilmastostrategia vuoteen 2030 pyrkii lisäämään uusiutuvan energian käyttöä tavoitteenaan hiilineutraali Suomi. Uusiutuvaksi energiaksi kutsutaan energiatuotantomuotoja, joissa primäärienergian lähdettä voidaan inhimillisillä mittasuhteilla mitattuna pitää loppumattomana. Tällaisia energialähteitä ovat aurinkoenergia, tuulivoima, vesivoima, maaperän geotermiinen lämpö, biopolttoaineet ja biokaasu. Vuonna 2016 uusiutuvan energian osuus energiankokonaiskulutuksesta oli 34 %. (Tilastokeskus. 2017; Ilmasto-opas. 2015.)

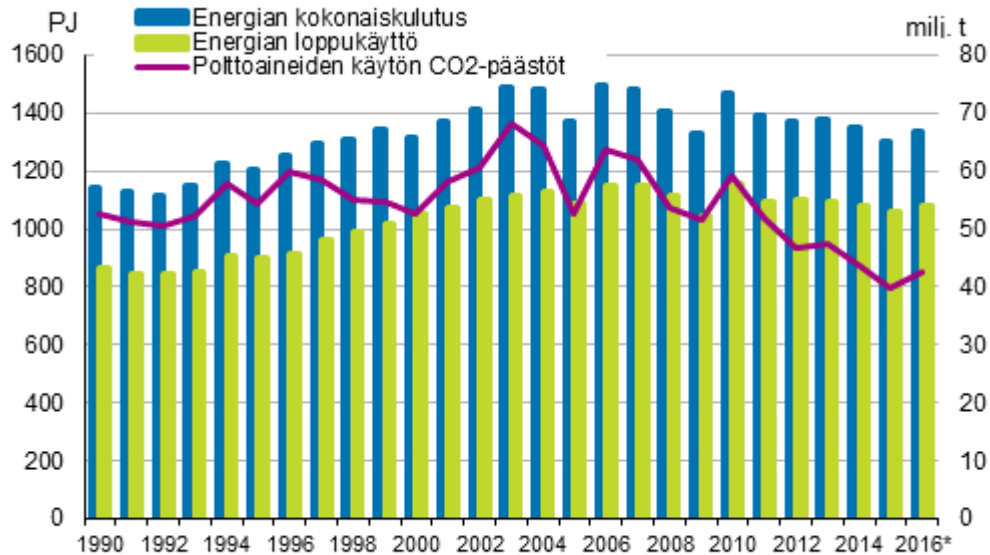
2.1 Energian kokonaiskulutus vuonna 2016

Suomen tärkeimmät energialähteet ovat puupolttoaineet (osuus kokonaiskulutuksesta 26 %), öljy (23 %), ydinenergia (18 %), hiili (9 %), maakaasu (6 %), vesivoima (4 %) ja turve (4 %). Suurin osa Suomessa käytettävistä puupolttoaineista saadaan metsäteollisuuden jäteliemistä. (Tilastokeskus. 2017.)

Suomen energian kokonaiskulutus nousi vuonna 2016 kaksi prosenttia aikaisempaan vuoteen nähden. Vuonna 2016 energian kokonaiskulutus oli tilastokeskuksen mukaan 1 335 petajoulea (PJ), joka on terawattitunneissa 371 TWh. Energian kokonaiskulutuksesta sähkönkulutuksen osuus oli 81,1 TWh. (Tilastokeskus. 2017.)

Energian kokonaiskulutukseen vaikuttaa ensisijaisesti sääolosuhteet ja sähkön markkinahinta. Esimerkiksi viileä talvi vaikuttaa lämmitystehon tarpeeseen kasvavasti. Sähkön markkinahinnalla on myös oma vaikutuksensa energian kokonaiskulutukseen, sillä Suomi on osa pohjoismaisia sähkömarkkinoita, joilla vallitsee vapaa kilpailu. Pohjoismaissa vesivoiman osuus sähköntuotannosta on merkittävä, ja täten veden riittävyys, sekä Ruotsin ja Norjan vesivoiman tuotannon vaihtelut vaikuttavat merkittävästi säh-

kömarkkinoihin ja täten myös Suomen energiankulutukseen. Vuonna 2016 sähkön nettotuomnin osuus oli 22,3 % sähkön hankinnasta Suomessa. (Tilastokeskus. 2017; Kilpailuttaja. Sähkötömarkkinoiden toiminta.)



KUVIO 1. Energian kokonaiskulutus, loppukäyttö ja hiilidioksidipäästöt 1990–2016.

Lähde: Tilastokeskus. 2017

Energialähteistä tuulivoiman, kivihiilen ja puupolttoaineiden käyttö lisääntyi viime vuodesta. Tuulivoiman käyttö lisääntyi peräti 32 %. Puupolttoaineiden käyttö lisääntyi 5 % ja kivihiilen käyttö 16 %. Kivihiilen lisääntyneeseen käyttöön vaikuttivat kivihiilen ylitarjonta ja tämän vuoksi ennätysalhainen markkinahinta. Pitkällä aikavälillä hiilen käytön trendi on ollut kuitenkin laskeva jo useamman vuoden. Energialähteistä maakaasun, vesivoiman ja turpeen käyttö vähenivät vuoden takaisesta. Maakaasun osuus vähentyi 9 %, vesivoiman 6 % ja turpeen osuus 5 %. (Tilastokeskus. 2017.)

TAULUKKO 1. Energian kokonaiskulutus energialähteittäin (TJ) ja CO₂-päästöt (Mt).

Lähde: Tilastokeskus. 2017.

Energialähde	2016*	Vuosi muutos-%*	Osuus % energian kokonaiskulutuksesta*
Öljy	310 408	0	23
Hiili ¹⁾	116 744	16	9
Maakaasu	74 990	-9	6
Ydinenergia ²⁾	243 119	0	18
Sähkön nettotuonti ³⁾	68 235	16	5
Vesivoima ³⁾	56 227	-6	4
Tuulivoima ³⁾	11 047	32	1
Turve	54 836	-5	4
Puupolttoaineet	346 475	5	26
Muut	52 940	0	4
ENERGIAN KOKONAISKULUTUS	1 335 020	2	100
Ulkomaanliikenne	38 861	-1	.
Energiasektorin CO ₂ -päästöt	43	7	.

1) Hiili: sisältää kivihiilen, koksen sekä masuuni- ja koksikaasun.

2) Sähköntuotannon yhteismitallistaminen polttoaineiden kanssa: Ydinvoima: 10,91 TJ/GWh (kokonaishyötysuhde 33 %)

3) Sähköntuotannon yhteismitallistaminen polttoaineiden kanssa: Vesi- ja tuulivoima sekä sähkön nettotuonti: 3,6 TJ/GWh (100%)

4) *Ennakollinen tieto

2.2 Sähköntuotanto vuonna 2016

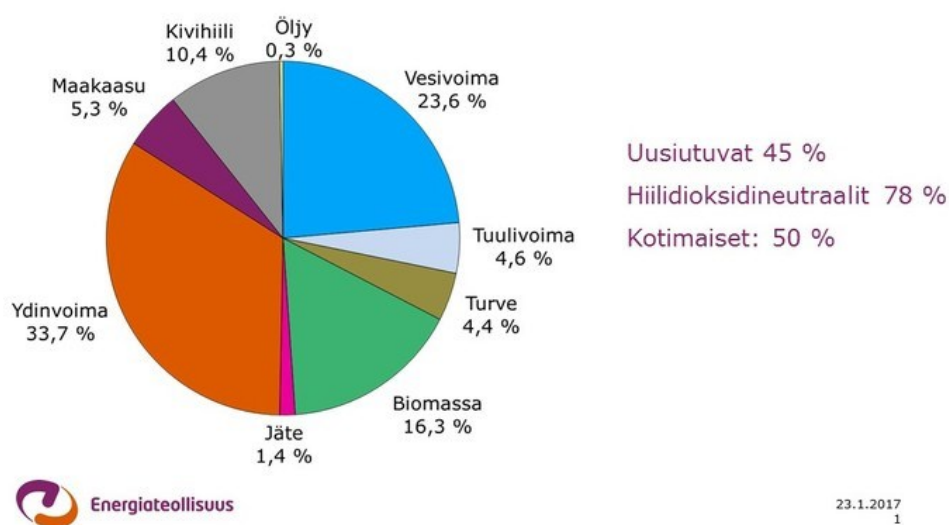
Sähköä tuotetaan Suomessa monipuolisesti useilla eri tuotantomuodoilla ja energialähteillä. Yleisin tuotantomuoto on laudevoima. Lauhdevoimalla tarkoitetaan sähköntuotantoa, joka tuotetaan lämpövoimalaitoksissa ilman varsinaista lämmöntuotantoa. Lauhdevoiman etuna on, että sen tuotanto voidaan ajoittaa tarkasti sähkön kysynnän mukaan. Lauhdevoimalaitoksen toimintaperiaate perustuu veden kuumentamiseen, jonka seurauksena syntynyt höyry pyörittää turbiinia. Pyörivä turbiini puolestaan pyörittää sähkövirtaa synnyttävää generaattoria, joka muuttaa liike-energian sähköksi. (Energiateollisuus. 2017.)

Noin kolmannes sähköstä tuotetaan sähkön ja lämmön yhteistuotannon avulla. Sähkön ja lämmön yhteistuotannossa polttoaineen energia saadaan tuotettua energiatehokkaimmin ja ympäristöystävällisimmän. Sähkön ja lämmön yhteistuotannossa 90 % polttoaineen energiasisällöstä saadaan muutettua sähköksi ja lämmöksi. Yhteistuotannon avulla polttoaineesta saadaan käyttöön lämpönä se osa energiaa, jota ei saada muutettua sähköksi. (Energiateollisuus. 2017.)

Sähköntuotanto on kotimaassamme varsin hajautettua verrattuna moneen muuhun Euroopan maahan. Hajautetun ja monipuolisen sähköntuotannon etuna on se, että se kasvattaa sähkön hankinnan varmuutta. Tärkeimmät sähköntuotannon energialähteet ovat ydinvoima, kivihiili, vesivoima, maakaasu ja puupolttoaineet. Suomessa on tällä hetkellä 120 sähköä tuottavaa energiayritystä ja 400 voimalaitosta. Yli puolet kyseisistä voimalaitoksista on vesivoimalaitoksia. (Energiateollisuus. 2017.)

Vuonna 2016 Suomessa kulutettiin sähköä yhteensä 151,2 terawattituntia (TWh). Suomen omalla sähköntuotannolla (66,1 TWh) saatiin turvattua 43,7 % sähkönkokonaiskulutuksesta. Kuviossa 1. on esitetty Suomen sähköntuotanto energialähteittäin vuonna 2016. (Energiateollisuus. 2017.)

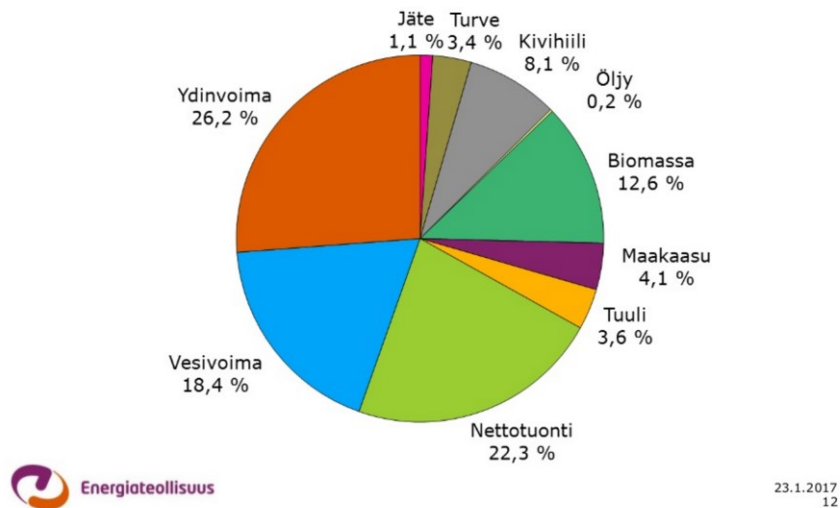
Sähköntuotanto energialähteittäin 2016 (66,1 TWh)



KUVIO 1. Sähköntuotanto energialähteittäin 2016. Lähde: Energiateollisuus. 2017.

Suomessa käytettiin vuonna 2016 151,2 terawatti tuntia (TWh) sähköä. Yli puolet (56,2 %) Suomessa käytetystä sähköstä hankittiin ulkomaita. Kuviossa 2. on esitetty sähkön hankinta energialähteittäin vuonna 2016. (Energiateollisuus. 2017.)

Sähkön hankinta energialähteittäin 2016 (85,1 TWh)



KUVIO 2. Suomen sähkönhankinta energialähteittäin vuonna 2016. Lähde: Energiateollisuus. 2017.

2.2.1 Tuotantomuodot

Vesivoiman toimintaperiaate perustuu kahden eri vesitason väliseen korkeuseroon. Ylemmältä tasolta alemmalle tasolle virtaava vesi johdetaan turbiinin läpi, joka saa aikaan turbiinin pyörimisen. Vesivoiman osuus sähköntuotannosta vaihtelee vuosittain vesitilanteen vuoksi. Vuonna 2016 vesivoiman osuus sähköntuotannosta oli 23,6 %. Vesitilanteen ollessa hyvä, vesivoiman osuus on keskimääräistä korkeampi Suomessa, mutta silloin vesitilanne on hyvä myös muualla Pohjoismaissa. Kolmannes Suomen sähkönkulutuksesta kaupataan pohjoismaisen sähköpörssi Nord Poolin kautta, Suomen ollessa osa pohjoismaisia sähkömarkkinoita. (Energiateollisuus. 2017.)

Ydinvoiman osuus sähköntuotannosta on 33,7 %. Ydinvoimalassa sähköä tuotetaan lauhdevoimalaitoksen toimintaperiaatteen mukaisesti. Ydinvoimalan ero lauhdevoima-

laan on se, että sen energiantuotannossa ei polteta polttoaineita, joten sen käytöstä ei aiheudu kasvihuonekaasupäästöjä. Ydinvoimalassa energia tuotetaan halkaisemalla hallitusti atomiydin. Atomiytimen halkaisun seurauksena syntyy lämpöä, joka lämmittää vettä. Ydinvoiman haittapuolena on syntyvä ydinjäte, sekä mahdolliset voimalaitos- ja kuljetusonnettomuudet. Lisäksi uraanin louhinnasta ja rikastamisesta syntyy ympäristövaikutuksia. (Energiateollisuus. 2017.)

Kivihiilen osuus sähköntuotannosta oli 10,4 % vuonna 2016. Kivihiili on halpa, mutta hyvin saastuttava tapa tuottaa sähköä. Kivihiilen haittoja ovat suuret hiilidioksidi- ja rikkipäästöt. Kivihiilen käytöstä syntyviä päästöjä saadaan rajoitettua tehokkailla suodattimilla, mutta hiilidioksidin vapautumista ilmakehään ne eivät estä. Suomi on vähentänyt kivihiilen käyttöä sähköntuotannossa jo usean vuoden, mutta kivihiilen ylitarjonta, ja siten ennätyshalpa markkinahinta hidastaa sen käytöstä luopumista. Suomi on asettanut energia- ja ilmastostrategian päätavoitteeksi hiilineutraalin yhteiskunnan. (Energiateollisuus. 2017.)

Biomassan, eli biopolttoaineen osuus Suomen sähköntuotannosta oli 16,3 % vuonna 2016. Biomassa muutetaan sähköksi lauhdevoiman avulla. Biopolttoaineeksi luetaan kaikki ne polttoaineet, jotka ovat valmistettu eloperäisestä, fotosynteesin kautta syntyneistä kasvimassoista. Biomassaa käytetään pääasiassa maissa, joissa on vahva metsäteollisuus. Suomen voimalaitoksissa käytettävä biomassa on pääasiassa metsäteollisuuden jäännösmateriaalia, kuten oksia, puulastuja ja sahanpurua. (Energiateollisuus. 2017.)

Tuulivoiman osuus sähköntuotannosta oli 4,7 % vuonna 2016. tuulivoiman toimintaperiaate perustuu tuulen aikaansaamaan liike-energiaan, joka pyörittää tuulivoimalan propellia. Tuulivoimalan propellista liike-energia johdetaan sähkögeneraattoriin. Tuulivoiman etuna on se, että siitä ei synny suoria kasvihuonekaasupäästöjä. Tuulivoiman osuus Suomen sähköntuotannosta on vielä toistaiseksi vähäistä, mutta tuulivoiman potentiaali on suuri. Suomessa tuulivoimalle suotuisia alueita on erityisesti merialueilla, rannikoilla ja Lapin tuntureilla. Myös sisämaassa on potentiaalisia tuulivoimalle suotuisia alueita tuulivoimateknologian kehittyessä. (Energiateollisuus. 2017.)

Maakaasun osuus sähköntuotannosta oli 5,3 % vuonna 2016. Maakaasun energia saadaan muutettua sähköksi kaasuturbiinivoimalassa. Kaasuturbiinivoimalan toimintaperiaate perustuu maakaasun polttoon, jonka seurauksena syntyvät savukaasut muutetaan

liike-energiaksi kaasuturbiinissa. Kaasuturbiinin jälkeen noin 400–500 asteen lämpöiset savukaasut johdetaan jätelämpökattilaan, jossa savukaasujen sisältämä lämpö siirtyy kaukolämpöveeten. Lisäksi on olemassa kombivoimaloita, jossa kaasuturbiinista tulevat savukaasut johdetaan vielä höyrykattilaan. Tämän jälkeen höyrykattilasta tuleva höyry johdetaan höyryturbiiniin. (Energiateollisuus. 2017.)

Turpeen osuus sähköntuotannosta oli 4,4 % vuonna 2016. Turvetta käytetään pääsääntöisesti yhtenä sähkön ja lämmön yhteistuotannon polttoaineena. Suomessa on tällä hetkellä 55 suurta turvevoimalaitosta, joiden teho on 20–550 MWh. Suomessa on myös 120 turvetta käyttävää lämpökeskusta. (VTT. 2010.)

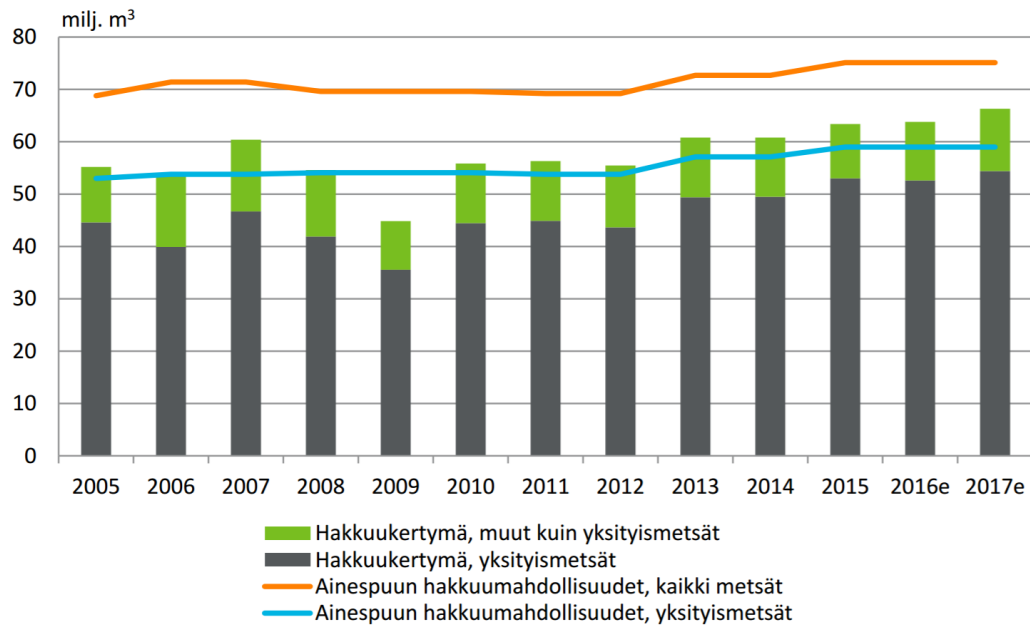
3 SUOMEN METSÄVARAT

75 % Suomen maapinta-alasta on metsien peitossa. Tämän maapinta-alan koko on 22,8 miljoonaa hehtaaria ja puuston määrä kyseisellä alueella 2 400 miljoonaa kuutiometriä. Metsätaloutta voidaan harjoittaa noin 19,5 miljoonan hehtaarin alueella, jossa puuston määrä on 2 100 miljoonaa kuutiometriä. Puuntuotannon ulkopuolella on noin 3,2 miljoonaa hehtaaria metsää. Tämä alue sijaitsee pääasiassa Pohjois-Suomen alueella. (Metsäyhdistys. 2016.)

Suomen metsien puusto koostuu pääasiassa männystä, kuusesta ja koivusta. Männyn osuus puustosta on 50 %, kuusen 30 %, koivun 17 % ja muiden lehtipuiden osuus 3 %. Kasvavan biotalouden myötä Suomen on suunniteltava tarkkaan, miten maamme metsävarat riittävät kestävästi metsäteollisuuden perinteisille tuotteille, kuten tukeille ja kuiduille kasvavan biopoltoainetuotannon lisääntyessä. Lisäksi Suomen on otettava huomioon lisääntyvä ekosysteemipalveluiden, eli luonnonpalvelujen tarve. (Metsäteollisuus. Suomen metsävarat; Luonnonvarakeskus. 2016.)

3.1 Puun kysyntä ja tarjonta

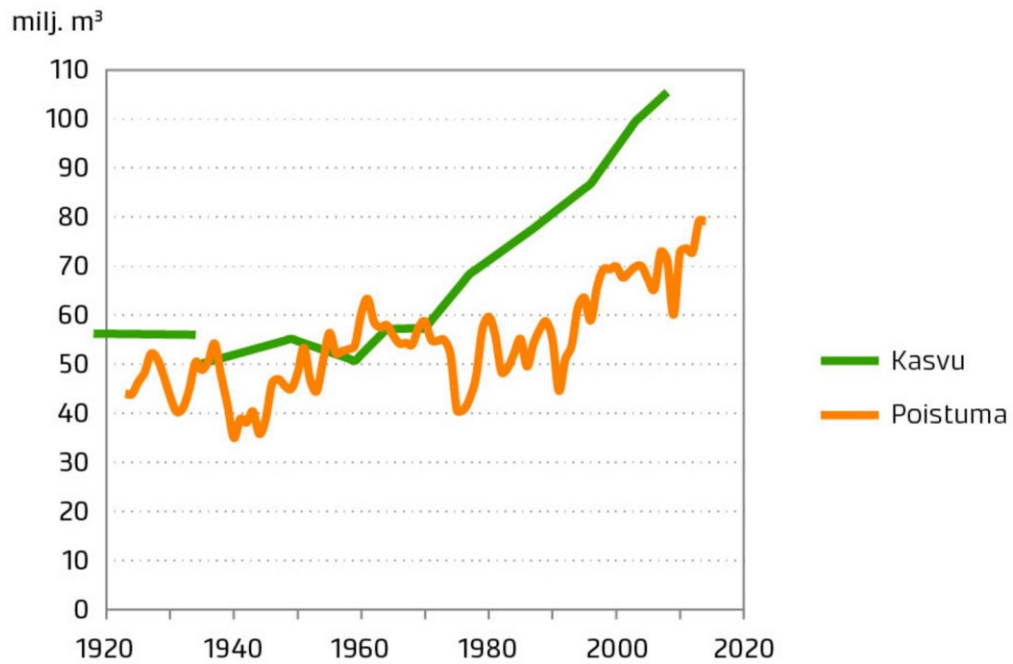
Vuonna 2016 Suomen vuotuinen puustonkasvu oli 105,5 miljoonaa kuutiometriä ja hakkuukertymä eli poistuma 65,3 miljoonaa kuutiometriä. Vähentämällä vuotuisesta puustonkasvusta poistuma, saadaan luku, jonka verran metsien puumäärä kasvaa yhdessä vuodessa. Puuston poistuma on ollut viimeisen kolmen vuoden aikana keskimäärin 77 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Tästä teollisuuspuun mitat täyttävän puupoistuman osuus on ollut keskimäärin 54,6 miljoonaa kuutiometriä. Suomen hakkuukertymät ja kestävät hakkuumahdollisuudet on esitetty kuviossa 3. Vuonna 2016 raakapuuta tuotiin ulkomailta 9,6 miljoonaa kuutiometriä. (Luonnonvarakeskus. 2016.)



KUVIO 3. Suomen hakuukertymät ja kestävät hakkuumahdollisuudet. Lähde: Luonnonvarakeskus. 2016.

Suurin mahdollinen teollisuuspuun mitat täyttävä puun poistuma saa olla hieman yli 75 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, jotta metsävarojen käyttö olisi kestävällä pohjalla. Näin ollen kestävä metsänkäytön rajoissa puuhakkuita voidaan kasvattaa teollisuuskäyttöön vielä 27 prosentilla. Lyhyellä aikavälillä taloudellisesti ja metsänhoidollisesti perusteltavissa oleva suurin ainespuun hakkuumäärä voi olla jopa 103,9 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Lisäksi metsistä voitaisiin korjata kestävästi 20,5 miljoonaa kuutiometriä energiapuuta kuten oksia, lehtiä, kantoja, juuria ja runkopuuta. Tämä energiapuuta on vahvasti sidottuna teollisuuspuun hakkuisiin, sillä 73 prosenttia metsän kokonaisenergiapuusta muodostuu teollisuuspuun hakkuiden yhteydessä. (Luonnonvarakeskus. 2016.)

Viimeisen kolmen vuoden aikana puuvaranto on lisääntynyt keskimäärin 28 miljoonaa kuutiometriä. Suomen vuotuinen puuston kasvu on ollut 1970-luvun alun jälkeen jatkuvasti poistumaa suurempi. Kuviossa 4. on esitetty puuston vuotuinen kasvu ja poistuma 1920-luvulta lähtien.



KUVIO 4. Puuston vuotuinen kasvu ja poistuma. Lähde: Luonnonvarakeskus. 2016.

Vuotuisen poistumaan lasketaan mukaan hakkuut, luonnollisesti kuolevat puut ja kaadetuista puista metsään jäävä osa, kuten oksat ja sahanpuru. (Luonnonvarakeskus. 2016.)

TAULUKKO 2. Teollisuuden puunhankinta 2015–2017. Lähde: Luonnonvarakeskus. 2016.

Teollisuuden puunhankinta 2015-2017e.

Raakapuulaji/ omistajaryhmä	2015 milj. m ³	2016e milj. m ³	Muutos %	2017e milj. m ³	Muutos %
Tukki- ja kuitupuun hakkuut, yht. ¹	58,5	59,5	2	61,8	4
Yksityismetsät ²	48,1	49,4	3	51,4	4
Yhtiöt ja Metsähallitus	10,4	10,1	-3	10,4	3
Tukkipuu	24,6	25,1	2	25,9	3
Kuitupuun	33,9	34,4	1	35,9	4
Raakapuun tuonti	9,1	9,6	5	9,0	-6
Teollisuuspuun hakkuut ja raakapuun tuonti	67,6	69,1	2	70,8	2

¹ Teollisuuspuun hakkuutilaston tiedonkeruu on laajennettu vuodesta 2015 alkaen kaikkeen metsänhoitoyhdistysten kautta korjattuun puuhun. Se on lisännyt tilastoituja teollisuuspuun hakkuuta.

² Sisältää kunnat, seurakunnat ym.

3.2 Suomen puunkäytön lisääntyminen vuoteen 2030 mennessä

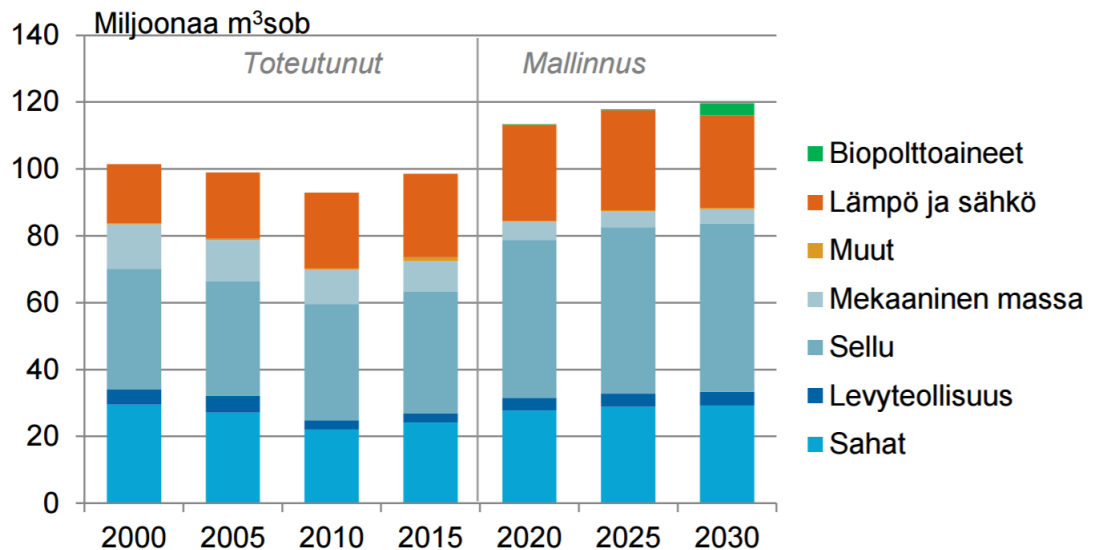
Kasvava biopolttoaineiden käyttö tulee metsäteollisuuden ohessa lisäämään puun kulu-
tusta tulevaisuudessa. Helmikuussa 2017 Pöyry Management Consulting Oyn julkai-
seman tutkimuksen mukaan puunkäyttö saattaa nousta jopa 120 miljoonaan kuutiomet-
riin ja hakkuut jopa 87 miljoonaan kuutiometriin vuoden 2015 tasosta (99 miljoonaa
kuutiometriä) vuoteen 2030 mennessä. Tutkimuksen tilasi valtioneuvoston kanslia ja se
tehtiin osana vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategian valmistelua. Tutkimuksessa
arvioitiin uudet biopolttoainetuotannon skenaariot matalalle ja korkealle tuotannolle.
Tutkimuksessa biopolttoainetuotannolla tarkoitettiin nestemäisten biopolttoaineiden
tuotantoa, sillä kiinteät biopolttoaineet oli katsottu lämmön- ja sähköntuotantoon alai-
suuteen. Pöyryn päätavoitteena oli tutkia biopolttoainetuotannon vaikutuksia puumark-
kinoihin, sekä välillisesti metsäteollisuuden ja energiantuotannon puunkäyttöön ja
puunhintaan (Pöyry Management Consulting Oy. 2017.)

Valtioneuvoston kanslian teettämän tutkimuksen mukaan sellu- ja sahatavaran tuotan-
non ja viennin ennustetaan kasvavan merkittävästi vuoteen 2030 mennessä. Tämän vai-
kutuksen lisääntyvään puunkäyttöön on suurin, mutta lisääntyvällä biopolttoaineiden tuo-
tannolla on myös oma vaikutuksensa puun lisääntyvään käyttöön. (Pöyry Management
Consulting Oy. 2017.)

Nestemäisten biopolttoaineiden vaikutus puupolttaineiden kysyntään on toistaiseksi
vähäistä. Tämä johtuu siitä, että nestemäisiä biopolttaineita valmistetaan tällä hetkellä
pääasiassa metsäteollisuuden sivuvirroista, kuten mäntyöljystä. Suomeen on kuitenkin
suunnitteilla toista kymmentä biojalostamo, joten tulevaisuudessa metsäteollisuuden
sivuvirrat eivät riitä yksinään vastaamaan lisääntyvään raaka-aineen kysyntään. Tule-
vaisuudessa biojalostamot tukeutuvat myös raakapuun käyttöön raaka-aineenaan. (Pöy-
ry Management Consulting Oy. 2017.)

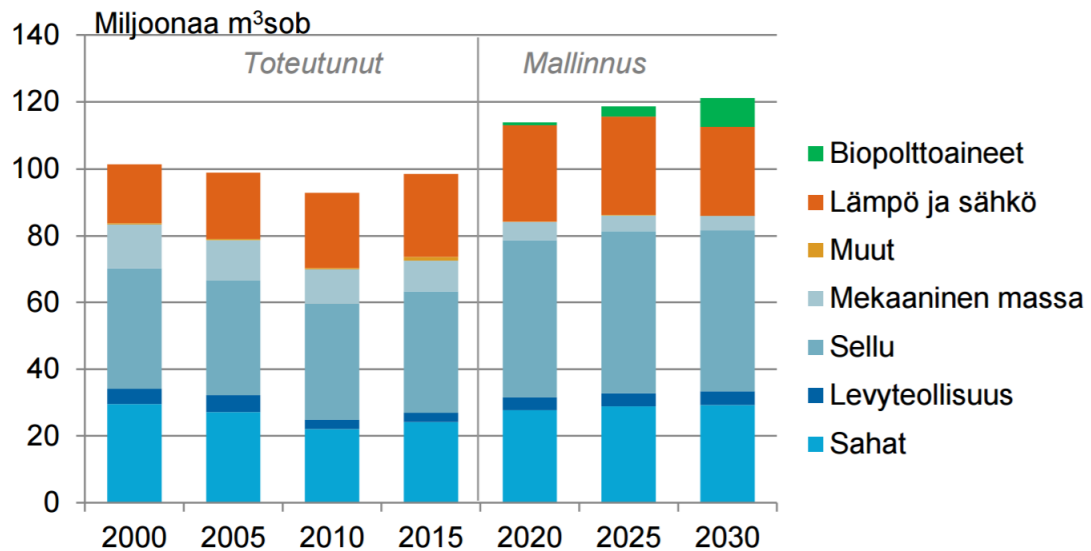
Pöyry Management Consulting Oy on ottanut tutkimuksessaan huomioon matalan ja
korkean biopolttoainetuotannon skenaariot arvioidessaan Suomen puunkäyttöä. Matalan
biopolttoainetuotannon skenaariossa puunkäyttö tulisi kasvamaan 21 miljoonalla kuu-
tiometrillä vuoden 2015 tasosta (99 miljoonaa kuutiometriä) vuoteen 2030 mennessä.
(Pöyry Management Consulting Oy. 2017.)

Kasvun taustalla olisi selluteollisuuden uusien hankkeiden aiheuttama puunkäytön kasvu, jonka osuus kasvusta olisi 14 miljoonaa kuutiometriä. Tutkimuksen mukaan myös sahateollisuuden puunkäyttö kasvaisi 5 miljoonaa kuutiometriä. Kuviossa 5. on esitetty Suomen puunkäyttö matalan biopolttoainetuotannon skenaariossa. (Pöyry Management Consulting Oy. 2017.)



KUVIO 5. Suomen puunkäyttö matalan biopolttoainetuotannon skenaariossa. Lähde: Pöyry Management Consulting Oy. 2017.

Korkean biopolttoainetuotannon skenaariossa puunkäyttö kasvaisi reilulla 22 miljoonalla kuutiometrillä vuoden 2015 tasosta. Tästä kasvusta selluteollisuuden uusien hankkeiden aiheuttama puunkäytön osuus olisi 12 miljoonaa kuutiometriä ja sahateollisuuden puunkäytön osuus yli 5 miljoonaa kuutiometriä. Sahateollisuuden lisääntyvä puunkäyttö sekä matalassa, että korkeassa biopolttoaineiden tuotannon skenaariossa johtuisi osittain selluteollisuuden kuitupuun lisääntyvästä kysynnästä ja täten hakkuumäärän lisääntymisestä. Kuviossa 6. on esitetty Suomen puunkäyttö korkean biopolttoainetuotannon skenaariossa. (Pöyry Management Consulting Oy. 2017.)



KUVIO 6. Suomen puunkäyttö korkean biopolttoainetuotannon skenaariossa. Lähde: Pöyry Management Consulting Oy. 2017.

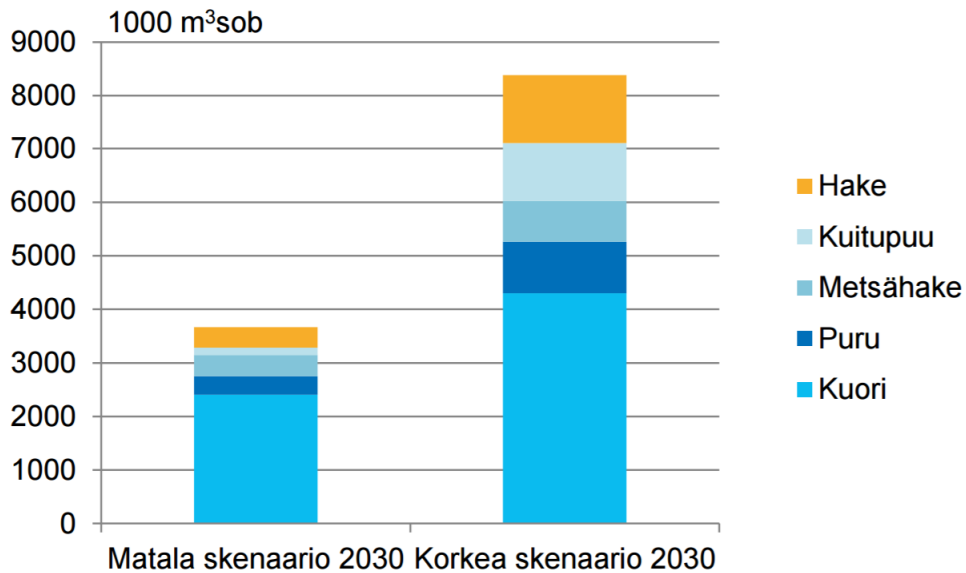
Valtioneuvoston kanslian teettämän tutkimuksen mukaan biopolttoainetuotannon puunkäyttö matalalla tuotantoskenaariolla tulee nousemaan 3,7 miljoonaa kuutiometriin vuodessa vuoteen 2030 mennessä. Biopolttoaineiden korkeassa tuotantoskenaariossa biopolttoaineiden tuotanto tulee nousemaan 8,4 miljoonaan kuutiometriin vuodessa vuoteen 2030 mennessä. (Pöyry Management Consulting Oy. 2017.)

Lämmön- ja sähkön tuotannossa puunkäyttö kasvaa matalan biopolttoainetuotannon skenaariossa 2,6 miljoonaa kuutiometriä vuoden 2015 tasolta vuoteen 2030 mennessä. Biopolttoaineiden korkeassa tuotantoskenaariossa lämmön- ja sähkön tuotannon puunkäyttö tulee laskemaan 1,1 miljoonaa kuutiometriä vuoden 2015 tasolta vuoteen 2030 mennessä. (Pöyry Management Consulting Oy. 2017.)

Mekaanisen massan tuotanto tulee laskemaan tutkimuksen mukaan noin 4,8 miljoonaa kuutiometriä vuoden 2015 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Lasku on sama molemmissa, matalassa ja korkeassa biopolttoainetuotannon skenaariossa. Laskun taustalla on painopaperituotannon heikko tulevaisuuden kysyntänäkymä. (Pöyry Management Consulting Oy. 2017.)

Biopolttoaineiden kasvavalla tuotannolla on vaikutuksia puumarkkinoihin. Verratessa matalaa ja korkeaa biopolttoainetuotannon skenaariota, voidaan havaita miten lisäänty-

vä biopolttoaineiden tuotanto tulisi vaikuttamaan muihin puuta raaka-aineenaan käyttäviin tuotannon aloihin. Nämä vaikutukset näkyvät parhaiten, kun verrataan miten biopolttoaineiden käyttämät puuraaka-aineet jakautuvat eri jakeisiin matalassa ja korkeassa biopolttoainetuotannon skenaariossa. Erot on esitetty kuviossa 7. (Pöyry Management Consulting Oy. 2017.)



KUVIO 7. Puuraaka-aineiden jakautuminen matalassa ja korkeassa biopolttoaineiden tuotantoskenaariossa. Lähde: Pöyry Management Consulting Oy. 2017.

Matalassa biopolttoaineiden tuotantoskenaariossa biopolttoaineiden puunkäyttö perustuisi Pöyryn mallin mukaan kolmeen jakeeseen; kuoreen, jonka osuus kokonaispuunkäytöstä olisi 66 %, puruun (9 %) ja metsähakkeeseen (11 %). Tällöin sahakkeen ja kuitupuun osuus olisi noin 14 %. Korkeassa biopolttoainetuotannon skenaariossa kuoren ja purun osuus kokonaispuunkäytöstä olisi 62 % ja metsähakkeen 9 %. Huomioitavaa korkeassa skenaariossa olisi se, että sahakkeen ja kuitupuun osuus kokonaispuunkäytöstä kasvaisi merkittävästi (28 %). (Pöyry Management Consulting Oy. 2017.)

4 BIOPOLTTOAINEET

Biopolttoaineilla tarkoitetaan biomassasta eli eloperäisestä aineesta valmistettuja polttoaineita. Biopolttoaineet ovat kiinteitä, nestemäisiä tai kaasumaisia polttoaineita, joilla tuotetaan sähköä ja lämpöä tai käytetään liikenteen polttoaineina. (Ilmasto-opas. Bioenergia.)

Biopolttoaineet ovat merkittävä energianlähde Suomessa. Metsäteollisuudesta saatavat sivuvirrat kuten jäteliemet, sahanpuru, kuori ja puutähdehake muodostavat suurimman osan bioenergian käytöstä. (Ilmasto-opas. Bioenergia.)

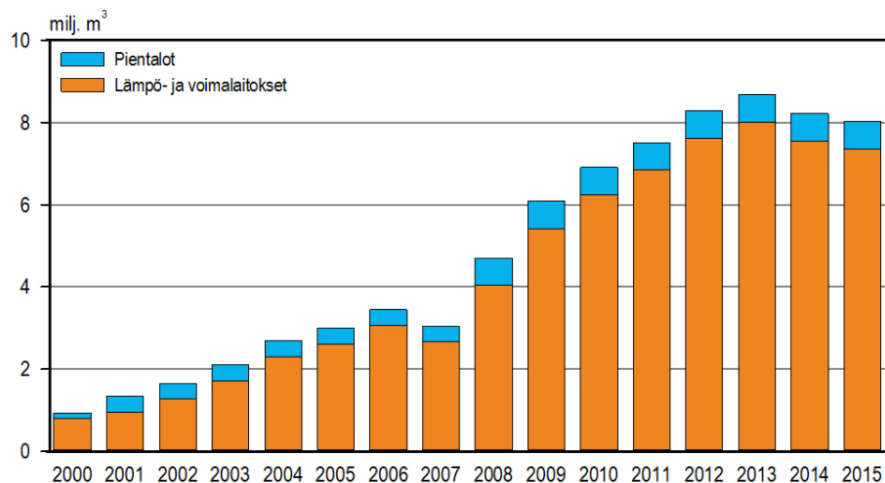
Biopolttoaineet voidaan jakaa koostumuksen perusteella kiinteisiin, nestemäisiin tai kaasumaisiin biopolttoaineisiin. Biopolttoaineita voidaan tuottaa metsäbiomassan lisäksi peltobiomassasta tai biojätteistä. Biojätettä voidaan polttaa sellaisenaan jätevoimalaitoksissa, tai siitä voidaan jalostaa biokaasua ja nestemäisiä liikenteen biopolttoaineita, kuten biodieseliä ja bioetanolia. Nestemäisten biopolttoaineiden osuus bioenergian tuotannosta on vielä toistaiseksi melko vähäistä, mutta trendi on nouseva. Nestemäiset biopolttoaineet voidaan jakaa ensimmäisen- ja toisen sukupolven biopolttoaineisiin. Toisen sukupolven biopolttoaineet valmistetaan 100 % elintarviketeollisuuden jätteistä ja tähteistä, kun taas ensimmäisen sukupolven biopolttoaineet valmistetaan ruuantuotantoon kelpaavista raaka-aineista, kuten sokerista, tärkkelyksestä tai kasviöljystä. (Ilmasto-opas. Bioenergia; Energiateollisuus. 2017.)

Biopolttoaineita käytetään Suomessa ensisijaisesti sähkön- ja lämmön yhteistuotannon polttoaineena, sekä liikenteen polttoaineena. Puusta saadaan lauhdevoiman avulla merkittävä määrä sähköä. Lisäksi tuhannet kotitaloudet käyttävät puuta lämmitykseen. Motivan laskelmien mukaan kotitalouden käyttävät vuodessa 5,5 miljoonaa kiintokuutiometriä polttopuuta. (Ilmasto-opas. Bioenergia; Energiateollisuus. 2017.)

4.1 Mitattavat kiinteät biopolttoaineet

4.1.1 Metsähake

Metsähake on metsäpuubiomassasta valmistettu puuhake. Suomessa metsähakkeella tarkoitetaan ranka-, kokopuu- ja hakkuutähdehaketta tai -mursketta. Metsähake on merkittävin kaupunkien ja teollisuuden lämpö- ja voimalaitoksien käyttämä puupolttoaine. Metsähaketta käytetään myös kiinteistöjen lämmitykseen ja aluelämpölaitoksissa. Sen raaka-aineena käytetään kokopuuta, joka haketetaan hakkurilla. Metsähaketta kertyy eniten nuorten metsien hoidossa, lahovikaisesta runkopuusta, metsän uudistushakkuiden kannoista ja latvusmassasta. Suosituin tapa tuottaa metsähaketta on hakettaa kokopuun tienvarsivarastoilla, jonka jälkeen hake on valmis kuljetettavaksi voimalaitoksille. Kuviossa 8. on esitetty metsähakkeen käyttökohde ja -määrä kuutioina vuosina 2000–2015. (VTT. 2016.)



KUVIO 8. Metsähakkeen käyttö 2000–2015 Lähde: VTT. 2016.

Voimalaitoksissa metsähakkeen poltto voi olla haasteellista, mikäli voimalaitoksen kattila ei ole suunniteltu suurille metsähakeosuuksille tai voimalaitoksen kattilassa poltetaan ainoastaan puupolttoaineita. Riskinä on tällöin tulistimen likaantuminen ja kuumakorrosio. Ongelmat johtuvat puun sisältämästä kloorista ja alkaleista, jotka vahingoittavat voimalaitoksen kattilaa. Metsäpuubiomassa ei sisällä voimalaitoksen kattilaa suojaavia yhdisteitä, toisin kuin kivihili ja turve. Metsähaketta voidaankin polttaa yhdessä

turpeen tai kivihiilen kanssa, jolloin seospolttoaineiden ominaisuudet suojaavat kattilaa. (VTT. 2016; Luonnonvarakeskus. 2016.)

4.1.2 Sahanpuru

Sahanpurua voidaan hyödyntää polttoaineena metsäteollisuuslaitoksissa ja lämpökeskuksissa sellaisenaan tai siitä voidaan valmistaa puristeita, kuten pellettejä ja brikettejä. Sahanpurua saadaan puutavaran sahauksen sivutuotteena. Se on yleensä ominaisuuksiltaan märkää ja ilmavaa. Sahanpurun kosteus voi kuitenkin vaihdella suuresti ilma-kuivasta jopa 70 % kosteutta sisältäväksi. Sahanpurun ominaisuuksia on esitetty taulukossa 3. (VTT. 2016.)

TAULUKKO 3. Sahanpurun keskimääräisiä ominaisuuksia Lähde: VTT. 2016.

Ominaisuus	Sahanpuru
Tyypillinen kosteus, %	50-55
Kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo, MJ/kg	18,9-19,2
Kuiva-tuoretiheys, kg/m ³	380-480
Kostean polttoaineen tiheys, kg/i-m ³	250-300
Energiatiheys, MHH/i-m ³	0,4-0,7
Tuhkapitoisuus, p- % kuiva-aineesta	0,4-1.1

4.1.3 Puupelletti

Puupelletit ovat puupolttoainepuristeita ja ne valmistetaan yleensä mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteista, kuten sahanpurusta, hiontapölystä ja kutterinlastusta. Puupellettejä voidaan valmistaa myös tuoreesta biomassasta, metsähakkeesta ja kuoresta. Puupellettejä käytetään lämpö- ja voimalaitosten, sekä pientalojen, maatilojen ja suurkiinteistöjen polttoaineena. Puupellettien polttamiseen tarvitaan sitä varten suunnitellut laitteet. Suomessa puupellettien suurin tuotantokapasiteetti on noin 630 000 tonnia vuodessa ja puupellettejä valmistetaan noin 300 000 tonnia vuodessa. (VTT. 2016.)

Suomessa valmistettujen puupellettien pituus on yleensä 10–30 mm, halkaisija 8 mm ja kiintotiheys 1100–1500 kg/m³. Lisäksi kosteus on melko alhainen, vain 6–10 % ja tuhkapitoisuus on pieni, vain 0,5 %. Puupellettien ihanne kosteuspitoisuus on 10–15 %. (VTT. 2016.)

Kuoresta, biomassasta tai metsähakkeesta valmistettaessa raaka-aine tulee kuivata ja murskata ennen jauhatusta ja pelletointia. Raaka-aineen kosteus ja ligniinipitoisuus vaikuttavat pellettien ominaisuuksiin ja valmistukseen. Kosteus vaikuttaa valmiiden pellettien lujuteen, sekä laitekapasiteettiin ja tehontarpeeseen. Ligniini on puun kuitujen luonnollinen sideaine ja se toimii täten myös pellettien sideaineena. (VTT. 2016.)

Yhden pellettitonin valmistus vaatii raaka-aineeksi noin 7 i-m³ sahanpurua kosteuden ollessa 50–55 % tai noin 10 i-m³ kutterinlastua kosteuden ollessa 10–15 %. Kun käytetään kosteaa sahanpurua pellettien raaka-aineena, se tulee kuivata ennen jauhatusta. Kuivaa sahanpurua tai kutterinlastua ei puolestaan tarvitse kuivata ennen jauhatusta. Kuivaukseen voidaan käyttää esimerkiksi rumpukuivainta. (VTT. 2016.)

Puupellettien raaka-aineen jauhatukseen käytetään yleensä vasaramyllyä. Jauhatuksessa jauhettava raaka-aine jauhetaan vähintään pelletin halkaisijaa vastaavaan raekokoon. Jauhettu puru ei saa kuitenkaan olla liian hienoa, sillä tällöin pellettien omalta osaltaan kokoon sitovat isommat kuidut puuttuvat ja pelletti ei pysy koossa. Puupellettien jauhatusta voidaan yhdistää myös kuivauksen kanssa, jolloin käytetään jauhinkuivainta. (VTT. 2016.)

Puupellettien puristus voidaan toteuttaa joko taso- tai rengasmatriisikoneilla. Puupelletin puristettaessa ei yleensä käytetä lisäaineita parantamaan pellettien yhteen sitovaa voimaa, sillä puristettavan puuaineksen sisäpintojen koheesio, partikkelien kuitumaiset osat ja puristuksen aiheuttamassa kuumuudessa pehmenneen ligniinin aiheuttama adheesio aikaansaavat kestävästi sidoksen puupelletteihin. Adheesiossa puuaineksen lämpötila nousee puristimen vaikutuksen vuoksi ja aiheuttaa ligniinin sulamisen, joka jäähtyessään pitää puupelletin koossa. (VTT. 2016.)

Jäähdytys on erittäin tärkeä vaihe puupellettien valmistuksessa, sillä pelletti saavuttaa lujutensa vasta kun se on jäähtynyt. Jäähdytys vakauttaa pelletin, sekä kovettaa sen pintaan sulaneen ligniinin, jonka seurauksena pelletti pysyy koossa. Jäähdytyksen jäl-

keen puupelletit vielä seulotaan, jotta puupellettien joukkoon sekoittunut raaka-ainepuru saadaan erotettua joukosta ja ohjataan takaisin pelletointiprosessiin. Seulontaan käytetään yleensä täryseulaa. (VTT. 2016.)

4.1.4 Turve

Turve on eloperäinen maalaji, joka on muodostunut kuolleista kasvin osista epätäydellisen hajoamisen tuloksena hyvin kosteissa oloissa. Turve on yksi tärkeimmistä biopolttoaineista Suomessa yhdessä puun kanssa. Turve muodostuu, kun kuolleet kasvin osat maatuvat hyvin kosteissa olosuhteissa. Runsaan veden ja hapenpuutteen vuoksi kasvien jäänteet eivät hajoa kunnolla vaan pakkautuvat turvekerrostumiksi. Suomen olosuhteet ovat otolliset turpeen muodostumiselle ja turvetta muodostuu jatkuvasti lisää. (Turveinfo. Turve.)

Suomen maapinta-alasta 29 %, eli 9,08 miljoonaa hehtaaria on soita ja turvemaita. Suomessa on turvetuotantoalueita 68 000 hehtaaria. Suomessa turvetuotanto on kausiluonteista, ja se ajoittuu normaalisti toukokuun puolivälistä syyskuun alkuun. Turvetuotantokäytöstä on viime vuosina poistunut 2000–3000 hehtaaria ja uutta lainvoimaistunutta tuotantoalaa on saatu 1000–2000 hehtaaria. (Turveinfo. Turve; Bio-energia ry. Tietoa turve energiasta.)

Energiäkäyttöön tarkoitettua turvetta kutsutaan energiaturpeeksi. Energiaturpeella tuotetaan noin viidennes kotimaisesta kaukolämmöstä ja noin seitsemän prosenttia sähköstä. Energiaturve voidaan jakaa jyrshinturpeeksi ja palaturpeeksi. Jyrshinturve tuotetaan jyrsimällä turvetta turvesuon pinnalta, jonka jälkeen se kuivataan turvesuolla aurinkoenergian avulla. Palaturve tuotetaan nostamalla turvetta turvesuosta, jonka jälkeen se muokataan mekaanisesti paloiksi. Myös palaturve kuivataan aurinkoenergialla turvesuolla. Jyrshinturveturpeen osuus energiaturpeen tuotannossa on yli 90 %. Jyrshinturvetta käytetään kaukolämpölaitoksissa ja teollisuuden voimalaitoksissa. Energiaturvetta käytetään sellaisenaan, sekä seospolttoaineena yhdessä puun ja kierrätyspolttoaineiden kanssa, sillä se sisältää voimalaitoksen kattilaa suojaavia yhdisteitä. (Turveinfo. Turve; VTT. 2016.)

4.2 Mitattavat nestemäiset biopolttoaineet

4.2.1 Neste my uusiutuva diesel

Neste My uusiutuva diesel on suomalaisen öljynjalostus- ja markkinointiyhtiö Nesteen kehittämä toisen sukupolven biopohjainen liikenteenpolttoaine. Polttoaine valmistetaan 100 % jätteistä ja tähteistä Nesteen kehittämän NEXBTL- teknologian avulla. Suomessa myytävä Neste My uusiutuva diesel valmistetaan jätteistä ja teollisuuden prosesseista syntyvistä tähteistä. Neste käyttää tällä hetkellä kaiken Suomesta saatavilla olevan eläinrasvajätteen raaka-aineenaan polttoaineen valmistuksessa. (Nestemy. Miksi neste my.)

Uusiutuvan dieselin etuna ovat sen vähäiset hiilidioksidipäästöt. Ottaen huomioon koko polttoaineen elinkaarivaikutus, uusiutuva polttoaine vähentää liikenteestä syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä 90 prosentilla. Neste My uusiutuvan dieselin kokonaispäästöt ovat 12 g hiilidioksidia per kilometri. Kaikki päästöt syntyvät keräys- ja jalostusprosessin aikana, sillä uusiutuvien raaka-aineiden sisältämä hiilidioksidi on peräisin jo ilmakehässä olevasta hiilidioksidista. Tästä syystä polttoaineen käyttäminen eli lisää hiilidioksidia ilmakehään. (Nestemy. Miksi neste my.)

Vuonna 2016 Neste tuotti uusiutuvaa dieseliä 2 213 000 tonnia. Neste My uusiutuvaa dieseliä valmistetaan Porvoon jalostamon lisäksi Nesteen Rotterdamin- ja Singaporen jalostamoilla. Vuonna 2016 uusiutuvan dieselin käyttö merkitsi 6 700 000 tonnin kasvihuonekaasuvähennyksiä maailmanlaajuisesti. (Nestemy. Miksi neste my; Neste Oyj. 2017.)

TAULUKKO 4. Neste myyksiä olevan dieselin ominaisuuksia. Lähde: Neste Oyj. 2016.

Property		Neste Renewable Diesel	EN 15940:2016 Class A	EN 590:2013	ASTM D975:15b
Appearance at +25 °C		Clear & Bright			
Cetane number		> 70.0	≥ 70.0	≥ 51.0	≥ 40
Density at +15 °C	kg/m ³	770.0...790.0	765.0...800.0	820.0...845.0 ≥ 800.0 *	
Total aromatics	% (m/m)	< 1.0	≤ 1.1		≤ 35
Polyaromatics	% (m/m)	< 0.1		≤ 8.0	
Sulfur	mg/kg	< 5.0	≤ 5.0	≤ 10.0	≤ 15
FAME-content	% (V/V)	0	≤ 7.0	≤ 7.0	
Flash point	°C	> 61	> 55	> 55	> 52
Carbon residue on 10 % distillation	% (m/m)	< 0.10	≤ 0.30	≤ 0.30	≤ 0.35
Ash	% (m/m)	< 0.001	≤ 0.010	≤ 0.010	≤ 0.01
Water	mg/kg	< 200	≤ 200	≤ 200	
Total contamination	mg/kg	< 10	≤ 24	≤ 24	
Water and sediment	% (V/V)	≤ 0.02			≤ 0.05
Copper corrosion		Class 1	Class 1	Class 1	Class 3
Oxidation stability	g/m ³ h	< 25	≤ 25 ≥ 20 **	≤ 25 ≥ 20 **	
Lubricity HFRR at +60 °C	µm	≤ 460 *** ≈ 650 ****	≤ 460	≤ 460	≤ 520
Viscosity at +40 °C	mm ² /s	2.00 ... 4.00	2.000 ... 4.500	2.000 ... 4.500 ≥ 1.200 *	1.9...4.1
Distillation 95% (V/V)	°C	< 320	≤ 360	≤ 360	
90% (V/V)	°C	282 ... 338			282...338
Final boiling point	°C	< 330			
Cloud point and CFPP *****	°C	As needed -5...-34	As in EN 590	Down to -34	
Antistatic additive		Added			
Conductivity	pS/m	≥ 50			≥ 25

4.2.2 St1 RE85 Bioetanoli

RE85 bioetanoli on ST1 Biofuelsin kehittämä toisen sukupolven biopohjainen liikenteenpolttoaine. RE85 sisältää enintään 85 % etanolia ja se on tuotettu kotimaisesta biojätteestä Etanolix ja Bionolix- teknologioiden avulla. St1 on tuottanut bioetanolia Suomessa vuodesta 2007 lähtien. Bioetanolin raaka-aineena käytetään pääasiassa leipomo- ja panimoteollisuuden biojätteitä ja sivuvirtoja. St1:lla on tällä hetkellä kuusi toimivaa RE85 bioetanolia tuottavaa laitosta. Viisi laitosta tuottaa RE85 bioetanolia Etanolix- teknologian avulla ja uusin, kuudes laitos hyödyntää Bionolix- teknologiaa Bioetanolin valmistuksessa. RE85 bioetanoli vähentää hiilidioksidipäästöjä 90 % verrattuna fossiiliin polttoaineisiin. (ST1. Tiedote 13145; ST1. Tiedote 13190.)

Etanolix- tuotantotapa perustuu hajautetun tuotannon ideaan, jossa etanolin tuotanto ja väkevöinti ovat erotettu toisistaan. Tuotantovaiheessa Etanolix- yksikkö valmistaa biojätteistä ja elintarviketeollisuuden sivujakeista 85-prosenttista bioetanolia. Tämän jälkeen 85-prosenttinen bioetanoli kuljetetaan väkevöitäväksi absolutointilaitokseen, jossa se väkevöivään 99,8-prosenttiseksi bioetanoliksi. (ST1. Tiedote 13145; ST1. Tiedote 13190.)

Bionolix- teknologia mahdollistaa bioetanolin valmistuksen kotitalouksien ja kauppojen erilliskerätyistä biojätteistä. Bionolix- teknologian avulla pystytään hyödyntämään kotitalouksien, teollisuuden ja kaupan pakkauksia, sekä olkea bioetanolin raaka-aineena. Bionolix- teknologian avulla pystytään nostamaan merkittävästi bioetanolituotannon kierrätysastetta, kun pakattu biojäte pystytään jalostamisen suoraan liikenteen nestemäiseksi polttoaineeksi. (ST1. Tiedote 13145; ST1. Tiedote 13190.)

ST1 RE85 bioetanolin ominaisuuksia on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. ST1 RE85 bioetanolin ominaisuuksia. Lähde: ST1. 2014.

Ominaisuus	Yksikkö	Tyypillinen arvo	laaturaja
Oktaaniluku	RON, MON	>104 > 94	min 95,0 min 85,0
Etanoli Kesä Talvi	til-% vol-% % v/v	82 83	min 75, max 85 min 70, max 85
Höyrinpaine	kpa	63 83	35,0–70,0 50,0–90,0
Väri ja ulkonäkö		Kirkas, ei kiinteitä epäpuhtauksia Klar och blank Clear and bright	Kirkas, ei kiinteitä epäpuhtauksia Klar och blank Clear and bright
Tiheys, 15 °C	kg/m ³	778	760,0-800,0
Hapetuskestävyys	min	>360	Min 360
Hartsit	mg/100 ml	< 5	Max 5,0
Kuparikorroosio		1A	Class 1
Happopitoisuus (etikkahappona)	p-% mass-% % m/m	0,002	Max 0,005
Sähkönjohtavuus	µS/cm	0,6	Max 1,5
Metanoli	til-% vol-% % v/v	< 0,3	Max 1,0
C3-C8 alkoholit	til-% vol-% % v/v	0,46	Max 2,0
Eetterit	til-% vol-% % v/v	2,58	Max 5,2
Vesi	mg/kg	1000	Max 5000
Epäorgaaninen kloridipitoisuus	mg/kg	< 1,0	Max 1,2
pHe		8,0	6,5-9,0
Sulfaatti	mg/kg	< 1,3	Max 1,7
Rikki	mg/kg	< 3,0	Max 10,0

5 LÄMPÖARVO

Lämpöarvolla (Q) tarkoitetaan täydellisessä palamisessa kehittyvän lämmön määrää polttoaineen massaa kohti. Kiinteiden nestemäisten polttoaineiden kohdalla lämpöarvo ilmoitetaan yleensä megajouleina polttoainekiloa kohti, MJ/kg. Kaasumaisten polttoaineiden kohdalla lämpöarvo ilmoitetaan tavallisesti megajouleina tilavuusyksikköä eli kuutiometriä kohti, MJ/m³. Lämpömäärä voidaan ilmoittaa kalorimetrisenä lämpöarvona (ylempi lämpöarvo), tehollisena lämpöarvona (alempi lämpöarvo) tai saapumistilassa olevan polttoaineen lämpöarvona (toimituskosteus). (VTT. 2016.)

Lämpöarvo määritetään kalorimetrisesti polttamalla tiedossa oleva polttoainemäärä täydellisessä hapessa ja mittaamalla vapautuva energiamäärä pommikalorimetrillä. Mittauksen tuloksena saatu näytteen kalorimetrinen arvo voidaan muuttaa laskutoimitusten avulla absoluuttisen kuivan aineen lämpöarvoksi, teholliseksi lämpöarvoksi tai saapumistilassa olevan polttoaineen teholliseksi lämpöarvoksi. (VTT. 2016.)

5.1 Kalorimetrinen lämpöarvo

Kalorimetrisessä, eli ylemmässä lämpöarvossa otetaan huomion palamisen aikana höyrystyvän veden höyrystymisenergia. Kalorimetrinen lämpöarvo tarkoittaa sitä lämpömäärää, joka vapautuu, kun massayksikkö polttoainetta palaa täydellisesti ja vedyn palamistuotteena syntyvä vesi on palamisen jälkeen nesteinä peruslämpötilassa (+25 °C). Kalorimetrinen lämpöarvo määritetään pommikalorimetrin avulla. (VTT. 2016.)

Kalorimetrinen lämpöarvo saadaan laskettua kaavan 1. avulla. (VTT. 2016.)

$$\Delta H_m = \frac{(\Delta T_2 - \Delta T_0) \cdot W - e_1 - e_2}{m_2} \quad (1.)$$

jossa H_m = biopolttoaineen kokonaislämpö (cal / g)

W = pommikalorimetrin astiavakio (cal / ° C)

ΔT_2 = loppulämpötila (° C)

ΔT_0 = alkulämpötila (° C)

m_2 = näytteen massa (g)

e_1 = happokorjaus (cal)

e_2 = sytytyslankakorjaus (cal)

Mitattaessa analyysinäytteen ominaispalamislämpöä mitataan myös näytteen kosteus. Näytteen kosteuden avulla ilmakein näytteen lämpöarvo saadaan muunnettua vastaamaan absoluuttisen kuivan näytteen lämpöarvoa. (VTT. 2016.)

Absoluuttinen kuivan näytteen lämpöarvo saadaan laskettua kaavan 2. avulla. (Oulun ammattikorkeakoulu. Nesteiden ja kiinteiden aineiden lämpöarvojen määrittäminen.):

$$Q_{gr,d} = Q_{gr,ad} \cdot \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (2.)$$

jossa $Q_{gr,d}$ = kuiva-aineen kalorimetrinen eli ylempi lämpöarvo (MJ/kg)

$Q_{gr,ad}$ = ilmakein näytteen kalorimetrinen lämpöarvo (MJ/kg)

M_{ad} = ilmakein näytteen analyysikosteus (%)

Opinnäytetyössä mitattavien biopolttoaineiden ilmakeivien näytteiden analyysikosteudet M_{ad} on ilmoitettu taulukossa 6. Näytteiden analyysikosteusmittaukset suoritti Tampereen ammattikoulu. Näytteitä kuivatettiin Memmertin lämpökaapissa 2 tuntia, jonka jälkeen ne olivat 30 minuuttia eksikaattorissa. Puupelletin analyysikosteutena käytettiin valmistajan ilmoittamaa 10 %.

TAULUKKO 6. Ilmakeivien näytteiden analyysikosteudet M_{ad} .

Näyte	Mittaus 1	Mittaus 2	Keskiarvo
Metsähake	4,79 %	4,60 %	4,70 %
Sahanpuru	4,81 %	4,72 %	4,77 %
Turve	4,66 %	4,79 %	4,73 %

5.2 Tehollinen lämpöarvo

Tehollisessa, eli alemmassa lämpöarvossa otetaan huomioon polttoaineen sisältämän vedyn palamisessa syntyvän ja savukaasuissa poistuvan vesihöyryn haihduttamiseen kuluva lämpömäärä. Tehollinen lämpöarvo tarkoittaa sitä lämpömäärää, joka syntyy poltettaessa, kun poltetaan yksi massayksikkö polttoainetta, kun palamisen yhteydessä kehittyvä vesi höyrystyy ja jäähtyy takaisin alkulämpötilaan pysyen höyryn muodossa. Suomessa lämpöarvo ilmoitetaan yleensä tehollisena lämpöarvona. Tehollinen lämpöarvo saadaan laskettua muunnoskaavan avulla kalorimetrisestä lämpöarvosta. (VTT. 2016.)

Tehollisen lämpöarvo saadaan laskettua kaavan 3. avulla. (VTT. 2016.)

$$Q_{net,d} = Q_{gr,d} - 0,02441 \cdot H\% \cdot \left(\frac{18,015}{2,016}\right) \quad (3.)$$

jossa $Q_{net,d}$ = Absoluuttisen kuivan polttoaineen tehollinen lämpöarvo

$Q_{gr,d}$ = Kalorimetrinen lämpöarvo

0,02441 [MJ/kg] = veden höyrystymislämmöstä aiheutuva korjaustekijä vakio tilavuudessa (+25 °C)

$H\%$ = Polttoaineen sisältämä vedyn määrä prosentteina

18,015 = veden (H₂O) molekyylipaino

2.016 = vedyn (H₂) molekyylipaino

Opinnäytetyössä mitattavien biopolttoaineiden vety- ja kosteuspitoisuudet toimituskosteudessa on ilmoitettu taulukossa 7. Künneiden biopolttoaineiden kirjallisuusarvot on saatu VTT:n T258 raportista. Nestemäisten biopolttoaineiden kosteuspitoisuudet saatiin taulukoista 4. ja 5.

TAULUKKO 7. Biopolttoaineiden vetypitoisuudet ja kosteuspitoisuudet toimituskosteudessa.

Polttoaine	Kosteus Mar, p-%	Vety, p-%
Sahanpuru	60	6,4
Puupelletti	9	6,1
Metsähake	55	6
Turve	18	6,5
Neste my	0,0002	13,7
RE85	0,05	-

5.3 Saapumistilassa olevan polttoaineen tehollinen lämpöarvo

Lämpömäärä voidaan ilmoittaa myös saapumistilassa, eli toimituskosteudessa olevan polttoaineen tehollisena lämpöarvona. Kyseinen lämpömäärä on alin, sillä lämpöarvoa laskettaessa vähennetään energiamäärä, joka joudutaan käyttämään polttoaineen luontaisesti sisältämän ja palamisessa syntyvän veden haihduttamiseen. Saapumistilassa olevan polttoaineen tehollinen lämpöarvo ilmoitetaan tavallisesti megajouleina polttoainekiloa kohti (MJ/kg). (VTT. 2016.)

Saapumistilassa olevan polttoaineen tehollinen lämpöarvo saadaan mitattua kaavan 4. avulla. (VTT. 2016.)

$$Q_{net,ar} = Q_{net,d} \cdot \frac{100 - M_{ar}}{100} - 0,02443 \cdot M_{ar} \quad (4.)$$

jossa $Q_{net,ar}$ = Saapumistilassa olevan polttoaineen tehollinen lämpöarvo
 $Q_{net,d}$ = kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo (MJ/kg)
 0,02443 (MJ/kg) = veden höyrystymiseen kuluva lämpömäärä vakiopainneessa (+25 °C)
 M_{ar} = vastaavan polttoaine-erän kokonaiskosteus saapumistilassa painotettuna kostean polttoaineen massalla (%)

Mikäli mitattava polttoaine on kostea biopolttoaine, tehollinen lämpöarvo saapumistilassa lasketaan kuivan ja tuhkattoman polttoaineen tehollisen lämpöarvon perusteella kaavan 5. mukaisesti. (VTT. 2016.)

$$Q_{p,net,ar} = \left[Q_{p,net,daf} \cdot \left(\frac{100 - A_d}{100} \right) \cdot \left(\frac{100 - M_{ar}}{100} \right) \right] - 0,02443 \cdot M_{ar} \quad (5.)$$

jossa $Q_{p,net,ar}$ = Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (MJ/kg)
 $Q_{p,net,daf}$ = Tehollinen lämpöarvo (vakioaineessa kuivassa, tuhkatonta polttoaineessa) MJ/KG
 A_d = tuhkapitoisuus kuiva-aineessa (p- %)
 M_{ar} = kosteus saapumistilassa (p- %)

6 POMMIKALORIMETRI

Pommikalorimetrin avulla määritetään erilaisten polttoaineiden lämpöarvoja. Pommikalorimetrin toiminta perustuu näytteen polttamiseen happi-ilmakehässä veden ympäröivässä suljetussa astiassa. Näytteen polttaminen tapahtuu vakiotilavuudessa, joten sisäenergian muutos ΔU on sama kuin vapautuva lämpömäärä Q_v . Tällöin tapahtuva lämpötilan muutos ΔT_2 on suhteessa lämpömäärään Q_v , joka reaktiossa vapautuu tai sitoutuu. Näytteen poltosta aiheutuva lämpöenergia siirtyy pommista pommia ympäröivään veteen ja tämän seurauksena pommia ympäröivän veden lämpötila kasvaa. Veden lämpötilan nousua mitataan lämpömittarilla. Tulosten luotettavuuden kannalta on oleellista, että pommia ympäröivää vettä sekoitetaan sekoittajalla, jotta lämpö jakautuu tasaisesti. Jotta pommikalorimetrimittauksesta saadut tulokset olisivat mahdollisimmat luotettavia, on kalorimetrille määritettävä lämpökapasiteetti. Lämpökapasiteetti on lämpömäärä, joka tarvitaan nostamaan kalorimetrin lämpötila yhdellä Celsius-asteella. Lämpökapasiteetin määrittäminen onnistuu, kun laite kalibroidaan näytteellä, jonka tarkka lämpöarvo tiedetään. Yleisin käytettävä kalibrointiaine on bentsoehappo. Lämpökapasiteetti saadaan laskettua kaavan 5. avulla. (Oulun ammattikorkeakoulu. Nesteiden ja kiinteiden aineiden lämpöarvojen määrittäminen.)

$$W = \frac{H \cdot m - e_1}{\Delta T_1 - \Delta T_0} \quad (6.)$$

jossa W = kalorimetrivakio (Cal/ ° C)

H = bentsoehapon lämpöarvo (6318,4 cal/g)

m = betsoehapon massa (g)

ΔT_1 = betsoehapon palamisesta johtuva lämpötilan muutos (° C)

ΔT_0 = sytytyksestä ja langan palamisesta johtuva lämpötilan muutos (° C)

Sytytyslangan korjaus e_1 tulee määrittää astiavakion laskemista varten, sillä sytytyslangan palamisesta vapautuva lämpöenergia vääristää hieman lopputulosta. Sytytyslankakorjauksen määrää käytetty sytytyslankatyyppi. Käytetyllä nikkelikromi sytytyslangalla kalorimäärä kasvaa 2,3 cal/cm.

Pommikalorimetrin astiavakio W on avainasemassa tulosten selvittämisessä, sillä kyseistä arvoa tarvitaan jokaisessa kaavassa. Pommikalorimetrin astiavakio W saadaan laskettua kaavan 6. avulla. Alla on esitetty pommikalorimetrin astiavakion W määrittäminen. Laskuissa käytettävänä astiavakiona käytetään kolmen eri bentsoehapponäytteen astiavakion keskiarvoa. Jokaisen mittauksen sytytyslangan korjausarvot on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Sytytyslangan korjaus bentsoehapolle.

	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 3
e_1 (cal)	16,10	21,39	19,09

$$W_1 = \frac{6318,4 \frac{\text{cal}}{\text{g}} \cdot 0,982 \text{ g} - 16,10 \text{ cal}}{23,344^\circ\text{C} - 20,782^\circ\text{C}} = 2415,52 \text{ cal}^\circ\text{C}$$

$$W_2 = \frac{6318,4 \frac{\text{cal}}{\text{g}} \cdot 1,043 \text{ g} - 21,39 \text{ cal}}{23,405^\circ\text{C} - 20,680^\circ\text{C}} = 2410,53 \text{ cal}^\circ\text{C}$$

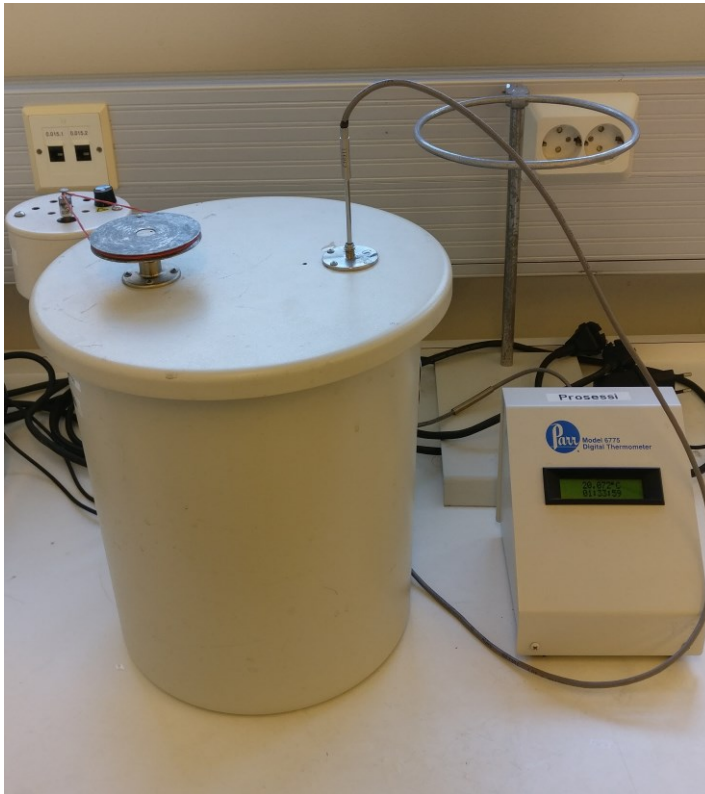
$$W_3 = \frac{6318,4 \frac{\text{cal}}{\text{g}} \cdot 1,026 \text{ g} - 19,09 \text{ cal}}{23,377^\circ\text{C} - 20,712^\circ\text{C}} = 2425,36 \text{ cal}^\circ\text{C}$$

Lopullisena astiavakiona käytetään kolmen suoritettujen mittauksen keskiarvoa:

$$W = \frac{2415,52 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} + 2410,53 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} + 2425,36 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}}{3}$$

$$= 2417,14 \text{ cal}^\circ\text{C}$$

Pommikalorimetri ja lämpömittari ovat esitetty kuvassa 11.



KUVA 2. Parr 1341 Pommikalorimetri ja Parr 6775 lämpömittari. (kuva: Joel Unha 2016)

6.1 Kalorimetrin mittauksen suorittaminen

Mittauksen suoritus aloitetaan punnitsemalla analyysinäyte vaa'alla. Näyte punnitaan asettamalla punnituskuppi vaa'alle, jonka jälkeen vaaka taarataan. Taarauksen jälkeen analyysinäyte asetetaan varovasti punnituskuppiin ja näytteen massa kirjataan ylös. Seuraavaksi täytetään kalorimetrin sisälle asetettava vesiasia. Vesiasia täytetään tarkasti 2000 ml (+/- 0,5 ml) vettä. Veden lämpötilan tulee olla välillä 20 °C – 21 °C. Täytön jälkeen vesiasia asetetaan kalorimetrin sisälle. Tässä vaiheessa tulee olla varovainen, jotta vesiasiaan asetettu vesimäärä ei muutu. (Parr 1995, 1.)

Pommin kokoaminen aloitetaan asettamalla näytekuppi pommin kannessa olevaan elektrodirenkaaseen. Tämän jälkeen asetetaan sytytyslanka. Sytytyslanka kiedotaan molemmista päistä elektrodeihin, jonka jälkeen se taivutetaan siten että, se osuu kunnolla

analyysinäytteeseen. Sytytyslanka ei saa osua näytekupin reunoihin, sillä tämä aiheuttaa sytytysvaiheessa sytytyslangan ennenaikaisen palamisen, jonka seurauksena näyte ei syty palamaan ja mittaus epäonnistuu. Tämän jälkeen pommin pohjalle pipetoidaan noin 1 ml tislattua vettä, ja pommin kansi asetetaan varovasti paikoilleen, jotta näyte pysyy sytytyslangan kanssa kosketusyhteydessä. Seuraavaksi pommi suljetaan asettamalla kiristysrengas paikoilleen ja pommin päällä oleva kaasun ulospääsyruuvi ruuvataan kiinni. Pommi on esitetty kuvassa 11. (Parr 1995, 2.)



KUVA 3. Pommi (KUVA: Joel Unha 2016)

Pommin valmistelun jälkeen aloitetaan pommin sisällä olevan ilman syrjäyttäminen hapella. Luotettavien tulosten kannalta on oleellista, että näyte palaa täydellisessä hapessa. Ilman syrjäyttäminen tapahtuu asettamalla kaasupullon letku pommin kaasunsyöttöventtiiliin. Tämän jälkeen pommiin johdetaan 5 barin happipaine. Kaasuhana suljetaan ja pommissa oleva happipaine päästetään varoen ulos pommista avaamalla kaasun ulospääsyruuvi. Kun pommi on tyhjä hapesta, kaasun ulospääsy ruuvi ruuvataan jälleen kiinni. Seuraavaksi pommi täytetään uudelleen hapella 30 barin paineeseen, jonka jälkeen kaasuletku irrotetaan pommin kaasunsyöttöventtiilistä. Täytetty pommi asetetaan varovasti pihdeillä kalorimetrin sisällä olevaan vesiasiaan, niin että se on ko-

konaan veden alla. Tässä vaiheessa tulee olla jälleen erityisen varovainen, jotta pommin sisällä oleva näyte pysyy kosketuksissa sytytyslankaan. Lopuksi sytytysjohtimet kiinnitetään pommin kannessa oleviin niihin tarkoitettuihin reikiin ja kalorimetri suljetaan. (Parr 1995, 3.)

Pommin asetettua kalorimetrin sisälle räjäytysyksikön ja kalorimetrin pistokkeet kytkeään pistokerasiaan ja kalorimetrin sekoittaja käynnistetään. Sekoittajan annetaan sekoittaa vesiastian ja pommin välissä olevaa vettä 5 minuuttia, jotta veden lämpötila asettuu tasaisesti. Kun sekoittaja on tasaannuttanut veden lämpötilan, aloitetaan lämpötilan seuraaminen ja kirjaamisen siten, että kuudennella minuutilla sekoittajan käynnistämistä veden lämpötilaa kirjataan ylös minuutin välein. Tasan 10 minuuttia sekoittajan käynnistämistä pommi räjäytetään painamalla räjäytysyksikön sytytyskytkintä. Kytkin on esitetty kuvassa 4. Kytkintä pidetään pohjassa niin kauan, että räjäytysyksikössä sijaitseva punainen merkkivalo sammuu. Kytkimen painaminen tulee kuitenkin lopettaa 5 sekunnin kuluttua, mikäli merkkivalo ei sammuu. Tämän jälkeen veden lämpötilaa seurataan minuutin välein kunnes veden lämpötilassa ei tapahdu enää merkittävää muutosta. Veden lämpötilan seuraaminen lopetetaan, kun saadaan kaksi samaa lämpötilaa peräkkäisinä minuutteina. Räjäytysyksikkö on esitetty kuvassa 12. (Parr 1995, 4.)



KUVA 4. Räjäytysyksikkö (KUVA: Joel Unha 2016)

Mittauksen jälkeen sekoittaja kytketään pois päältä ja kalorimetrin, sekä räjäytysyksikön virrat sammutetaan vetämällä pistoke pois pistokerasiasta. Kalorimetrin kansi avataan, sytytinohtimet irrotetaan pommista, ja pommi otetaan varoen vesiastiasta käyttäen pommin liikuttamiseen tarkoitettuja pihtejä. Seuraavaksi pommissa oleva kaasun ulospääsyrövi ruuvataan auki ja pommi tyhjennetään varoen palokaasuista ja hapesta, jotta pommi voidaan avata. Sytytyslangan jääneet osat irrotetaan elektrodeista ja mitataan, jotta palamatta jäänyt sytytyslanka voidaan ottaa huomioon sytytyslankakorjausta laskehtaessa. Lopuksi näytekuppi ja pommin sisusta huuhdellaan tislattulla vedellä. (Parr 1995, 5.)

7 MITTAUKSET

Tässä kappaleessa on esitetty jokaisen mitatun polttoaineen pommikalorimetriset mittaus- tulokset. Mittaustulokset on esitetty polttoaineittain. Jokaisesta polttoaineesta tehtiin kolme mittausta, lukuun ottamatta St1 bioetanolia, josta tehtiin kaksi mittausta. Mittauk- set aloitettiin bentsoehappo mittauksella, jonka avulla voidaan määrittää kalorimetrin astiavakio. Taulukoissa on esitetty näytteen massa, palaneen sytytyslangan pituus, sekä lämpötilan nousu jokaiselle mittaukselle.

TAULUKKO 9. Lämpötilan nousu polttoaineena bentsoehappo

	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 3
Näytteen massa (g)	0,982	1,043	1,026
Sytytyslangan pituus (cm)	13,7	13,0	12,5
Lämpötila (°C)			
1 min	20,772	20,665	20,698
2 min	20,775	20,670	20,703
3 min	20,778	20,674	20,706
4 min	20,780	20,677	20,709
5 min	20,782	20,680	20,712
Räjätys			
1min	21,194	20,995	20,987
2 min	22,272	22,30	22,237
3 min	22,878	22,952	22,923
4 min	23,145	23,190	23,174
5 min	23,262	23,292	23,278
6 min	23,313	23,362	23,341
7 min	23,331	23,374	23,356
8 min	23,335	23,403	23,370
9 min	23,340	23,405	23,377
10 min	23,344	23,405	23,377
11 min	23,344		
Sytytyslangan pituus (cm)	6,7	3,7	4,2

TAULUKKO 10. Lämpötilan nousu polttoaineena sahanpuru

	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 3
Näytteen massa (g)	0,653	0,845	0,533
Sytytyslangan pituus (cm)	12,5	13,0	12,7
Lämpötila (°C)			
1 min	20,250	20,186	20,474
2 min	20,285	20,190	20,478
3 min	20,295	20,195	20,482
4 min	20,306	20,199	20,485
5 min	20,312	20,203	20,487
Räjätys			
1min	20,997	20,365	20,765
2 min	21,247	21,053	21,221
3 min	21,392	21,361	21,358
4 min	21,498	21,485	21,423
5 min	21,545	21,539	21,458
6 min	21,563	21,567	21,472
7 min	21,572	21,582	21,482
8 min	21,577	21,590	21,487
9 min	21,578	21,595	21,492
10 min	21,578	21,598	21,495
11 min		21,598	21,495
Sytytyslangan pituus (cm)	4,0	3,5	2,8

TAULUKKO 11. Lämpötilan nousu polttoaineena turve

	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 3
Näytteen massa (g)	0,946	1,124	0,763
Sytytyslangan pituus (cm)	12,4	13,0	13,2
Lämpötila (°C)			
1 min	20,391	20,455	20,480
2 min	20,393	20,459	20,483
3 min	20,395	20,462	20,486
4 min	20,397	20,465	20,489
5 min	20,399	20,467	20,491
Räjätys			
1min	20,455	21,214	20,775
2 min	21,555	22,110	21,50
3 min	21,980	22,413	21,789
4 min	22,139	22,565	21,895
5 min	22,199	22,622	21,943
6 min	22,238	22,645	21,965
7 min	22,246	22,662	21,979
8 min	22,259	22,664	21,987
9 min	22,250	22,667	21,990
10 min	22,261	22,667	21,991
11 min	22,261		21,991
Sytytyslangan pituus (cm)	3,0	3,1	4

TAULUKKO 12. Lämpötilan nousu polttoaineena puupelletti

	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 3
Näytteen massa (g)	1,025	1,049	1,149
Sytytyslangan pituus (cm)	12,3	13,0	12,7
Lämpötila (°C)			
1 min	20,344	20,985	20,338
2 min	20,347	20,990	20,343
3 min	20,351	20,991	20,346
4 min	20,354	20,992	20,349
5 min	20,355	20,992	20,350
Räjätys			
1min	20,573	21,216	20,626
2 min	21,528	22,221	21,613
3 min	21,873	22,653	22,179
4 min	22,057	22,819	22,359
5 min	22,194	22,907	22,474
6 min	22,241	22,947	22,503
7 min	22,276	22,956	22,532
8 min	22,289	22,966	22,541
9 min	22,295	22,972	22,542
10 min	22,297	22,972	22,542
11 min	22,297		
Sytytyslangan pituus (cm)	2,8	3,0	4,5

TAULUKKO 13. Lämpötilan nousu polttoaineena metsähake

	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 3
Näytteen massa (g)	0,828	0,798	0,845
Sytytyslangan pituus (cm)	13,2	13,0	12,5
Lämpötila (°C)			
1 min	20,487	20,881	20,453
2 min	20,490	20,885	20,458
3 min	20,492	20,889	20,462
4 min	20,495	20,892	20,465
5 min	20,497	20,894	20,469
Räjätys			
1min	20,597	21,075	20,591
2 min	21,521	21,695	21,303
3 min	21,770	22,019	21,699
4 min	21,941	22,187	21,899
5 min	21,995	22,333	22,007
6 min	22,020	22,369	22,030
7 min	22,040	22,391	22,057
8 min	22,046	22,395	22,064
9 min	22,049	22,397	22,069
10 min	22,052	22,401	22,069
11 min	22,052	22,401	
Sytytyslangan pituus (cm)	4,0	3,2	2,5

TAULUKKO 14. Lämpötilan nousu polttoaineena Neste my uusiutuva diesel

	Mittaus 1	Mittaus 2	Mittaus 3
Näytteen massa (g)	0,515	0,515	0,514
Sytytyslangan pituus (cm)	12,7	12,8	13,2
Lämpötila (°C)			
1 min	20,904	20,439	20,880
2 min	20,908	20,442	20,882
3 min	20,910	20,446	20,884
4 min	20,913	20,449	20,885
5 min	20,916	20,451	20,888
Räjätys			
1min	21,186	21,376	21,304
2 min	22,330	22,282	22,549
3 min	22,837	22,650	23,007
4 min	23,149	22,785	23,192
5 min	23,236	22,826	23,292
6 min	23,277	22,854	23,334
7 min	23,284	22,870	23,354
8 min	23,296	22,873	23,363
9 min	23,300	22,876	23,363
10 min	23,303	22,876	
11 min	23,303		
Sytytyslangan pituus (cm)	2,0	2,5	2,8

TAULUKKO 15. Lämpötilan nousu polttoaineena ST1 RE85 bioetanoli

	Mittaus 1	Mittaus 2
Näytteen massa (ml)	1,000	1,000
Sytytyslangan pituus (cm)	13,1	12,5
Lämpötila (°C)		
1 min	20,615	20,851
2 min	20,618	20,854
3 min	20,621	20,856
4 min	20,623	20,858
5 min	20,626	20,860
Räjätys		
1min	21,586	21,008
2 min	22,582	21,871
3 min	23,001	22,475
4 min	23,161	22,758
5 min	23,212	22,855
6 min	23,243	22,899
7 min	23,261	22,915
8 min	23,265	22,930
9 min	23,267	22,934
10 min	23,267	22,936
11 min		22,936
Sytytyslangan pituus (cm)	3,0	2,0

8 TULOKSET

8.1 Kiinteiden biopolttoaineiden tulokset

Kiinteiden biopolttoaineiden kalorimetriset, teholliset ja saapumistilassa olevat lämpöarvot saadaan laskettua kaavojen 1-4 avulla. Ohessa on laskettu lämpöarvot sahanpurulle. Muiden kiinteiden biopolttoaineiden lämpöarvolaskujen tulokset on ilmoitettu taulukossa 16.

Ensimmäiseksi lasketaan sahanpurun kalorimetrinen lämpöarvo jokaiselle kolmelle mittaukselle kaavan 1. avulla:

Mittaus 1:

$$\Delta H_m = \frac{(21,583 - 20,312) \cdot 2417,14 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} - 19,55 \text{cal}}{0,653 \text{g}} = 4656,28 \text{ cal/g}$$

Mittaus 2:

$$\Delta H_m = \frac{(21,598 - 20,203) \cdot 2417,14 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} - 21,39 \text{cal}}{0,725 \text{g}} = 4621,41 \text{ cal/g}$$

Mittaus 3:

$$\Delta H_m = \frac{(21,495 - 20,487) \cdot 2417,14 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} - 19,09 \text{cal}}{0,533 \text{g}} = 4535,44 \text{ cal/g}$$

Kolmen mittauksen keskiarvo:

$$\begin{aligned} \Delta H_m &= \frac{4656,28 \frac{\text{cal}}{\text{g}} + 4621,41 \frac{\text{cal}}{\text{g}} + 4535,44 \frac{\text{cal}}{\text{g}}}{3} \\ &= 4604,38 \text{ cal/g} \end{aligned}$$

Sahanpurun kalorimetrinen lämpöarvoksi saadaan kolmen mittauksen keskiarvo $\Delta H_m = 4604,38 \text{ cal/g}$. Tulos on MJ/kg muutettuna $19,28 \text{ MJ/kg}$.

Absoluuttisen kuivan näytteen lämpöarvo saadaan laskettua kaavan 3. avulla:

$$Q_{gr,d} = 19,28 \text{ MJ/kg} \cdot \frac{100}{100 - 4,765 \%} = 20,24 \text{ MJ/kg}$$

Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa saadaan laskettua kaavan 4. avulla:

$$Q_{net,d} = 20,2421 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} - 0,02443 \cdot 6,4\% \cdot \left(\frac{18,015}{2,016}\right) = 18,84 \text{ MJ/kg}$$

Lopuksi lasketaan saapumistilassa olevan näytteen tehollinen lämpöarvo kaavan 5. avulla:

$$Q_{net,ar} = 18,90 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot \frac{100 - 60\%}{100} - 0,02443 \cdot 60\% = 6,07 \text{ MJ/kg}$$

8.2 Nestemäisten biopolttoaineiden tulokset

Ohessa on esitetty Neste my uusiutuvan dieselin lämpöarvolaskut. ST1 RE85 bioetanolin lämpöarvot on esitetty taulukossa 16.

Ensimmäiseksi lasketaan Neste my uusiutuvan dieselin kalorimetriset lämpöarvot jokaiselle kolmelle mittaukselle kaavan 2. avulla:

Mittaus 1:

$$\Delta H_m = \frac{(23,303 - 20,916) \cdot 2417,14 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} - 24,61 \text{cal}}{0,515 \text{g}} = 11\,155,5 \text{ cal/g}$$

Mittaus 2:

$$\Delta H_m = \frac{(22,876 - 20,451) \cdot 2417,14 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} - 23,69 \text{cal}}{0,515 \text{g}} = 11\,335,7 \text{ cal/g}$$

Mittaus 3:

$$\Delta H_m = \frac{(23,363 - 20,888) \cdot 2417,14 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} - 23,92 \text{cal}}{0,515 \text{g}} = 11\,585,7 \text{ cal/g}$$

Kolmen mittauksen keskiarvo:

$$\begin{aligned} \Delta H_m &= \frac{11\,155,5 \frac{\text{cal}}{\text{g}} + 11\,335,7 \frac{\text{cal}}{\text{g}} + 11\,585,7 \frac{\text{cal}}{\text{g}}}{3} \\ &= 11\,359 \text{ cal/g} \end{aligned}$$

Neste my uusiutuvan dieselin kalorimetriseksi lämpöarvoksi saadaan kolmen mittauksen keskiarvo $\Delta H_m = 11\,359$ cal/g. Tulos on MJ/kg muutettuna 47,557 MJ/kg. Absoluuttisen kuivan näytteen lämpöarvo saadaan laskettua kaavan 3. avulla:

$$Q_{gr,d} = 19,28 \text{ MJ/kg} \cdot \frac{100}{100 - 0,0002 \%} = 47,56 \text{ MJ/kg}$$

Neste my uusiutuvan dieselin tehollinen lämpöarvo saadaan laskettua kaavan 4. avulla:

$$Q_{net,d} = 47,5578 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} - 0,02443 \cdot 13,7 \% \cdot \left(\frac{18,015}{2,016}\right) = 44,57 \text{ MJ/kg}$$

Lopuksi lasketaan vielä tehollinen lämpöarvo saapumistilassa. Koska kyseessä on kostea biopolttoaine, tehollinen lämpöarvo saapumistilassa lasketaan kuivan ja tuhkattoman polttoaineen tehollisen lämpöarvon perusteella kaavan 5. mukaisesti. Neste my uusiutuvan dieselin tuhkapitoisuus ja veden määrä saadaan taulukosta. 4.

$$\begin{aligned} Q_{p,net,ar} &= \left[44,567 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \cdot \left(\frac{100 - 0,001}{100}\right) \cdot \left(\frac{100 - 0,02}{100}\right) \right] - 0,02443 \cdot 0,02 \\ &= 44,56 \text{ MJ/kg} \end{aligned}$$

8.3 Tulosten tarkastelu

Opinnäytetyössä käytetyt kirjallisuusarvot niin lämpöarvoista, kuin polttoaineen vety- ja kosteuspitoisuuksia ovat vain suuntaa antavia arvoja ja tämä onkin hyvä muistaa tuloksia tarkasteltaessa. Lämpöarvolliset kirjallisuusarvot eivät ole suoraan verrannollisia pommikalorimetrillä tehtyihin lämpöarvojen mittauksiin, sillä ne ovat vain otantoja tietyistä polttoaine-eristä. Lisäksi vain analysoiduille näytteille voidaan laskea tarkat lämpöarvot ja analysoinnin puuttuessa joudutaankin tukeutumaan polttoaineen vety- ja kosteuspitoisuuksien kirjallisuusarvoihin. Koska kyseiset arvot eivät ole näytteen varsinaisia arvoja vaan oletuksia, on saatu tulos vain suuntaa antava.

Taulukossa 16. on esitetty mitattujen biopolttoaineiden lasketut kalorimetrinen lämpöarvot $Q_{gr,d}$, teholliset lämpöarvot $Q_{net,d}$, saapumistilassa olevan polttoaineen tehollisen lämpöarvot $Q_{net,ar}$, sekä kirjallisuusarvot teholliselle lämpöarvolle ja saapumistilassa olevan polttoaineen teholliselle lämpöarvolle.

Lasketut lämpöarvot ovat lähellä vastaavia kirjallisuusarvoja. Sahanpurun tehollinen lämpöarvo jäi - 0,16 MJ/kg kirjallisuusarvon alapuolelle, mutta puolestaan tehollinen lämpöarvo saapumistilassa vastasi kirjallisuusarvoa. Puupelletin tehollinen lämpöarvo oli + 0,41 MJ/kg kirjallisuusarvon yläpuolella, mutta tehollinen lämpöarvo saapumistilassa vastasi kirjallisuusarvoa. Metsähakkeen tehollinen lämpöarvo ja tehollinen lämpöarvo saapumistilassa vastasivat molemmat kirjallisuusarvoja. Turpeen tehollinen lämpöarvo ja tehollinen lämpöarvo saapumistilassa jäivät molemmat kirjallisuusarvojen alapuolelle. Tehollinen lämpöarvo jäi - 1,25 MJ/kg ja tehollinen lämpöarvo saapumistilassa - 0,68 MJ/kg kirjallisuusarvojen alapuolelle. Neste my uusiutuvan dieselin laskettu tehollinen lämpöarvo oli + 0,57 MJ/kg kirjallisuusarvon yläpuolella. Bioetanolin kalorimetriseksi lämpöarvoksi mitattiin 30,55 MJ/kg, mutta kyseistä arvoa ei pystytty vertaamaan vastaavan polttoaineen kirjallisuusarvoon tiedon puutteen vuoksi.

ST1 RE85 bioetanolin tuloksista on kirjattu Taulukkoon 16. vain mittausten perusteella laskettu kalorimetrinen lämpöarvo, sillä bioetanolin tehollista lämpöarvoa ja saapumistilassa olevien polttoaineen tehollista lämpöarvoa ei voitu määrittää puutteellisten kosteus- ja vetyarvojen vuoksi. Lisäksi kyseisen polttoaineen kirjallisuusarvoa ei pystytty selvittämään. Neste my uusiutuvan dieselin tehollisen lämpöarvon kirjallisuusarvo $Q_{net,d}$, sekä kosteus p- % on saatu Neste Renewable Diesel käsikirjasta. Kyseisen polt-

toaineen vetypitoisuutena käytettiin kevyen polttoöljyn vetypitoisuutta, joka saatiin VTT:n T258 raportista.

TAULUKKO 16. Biopolttoaineiden lasketut lämpöarvot ja kirjallisuusarvot.

Lämpöarvo (MJ/kg)	Sahanpuru	Metsähake	Puupelletti	Turve	Neste my uusiutuva diesel	ST1 RE85 bioetanol
Kalorimetrinen lämpöarvo	20,24	19,92	21,24	20,76	47,56	30,55
Tehollinen läm- pöarvo	18,84	18,61	19,91	19,35	44,57	-
Tehollinen läm- pöarvo, kirjalli- suusarvo	19–19,2	18,5–20,0	18,9–19,5	20,6	44	-
Ero kirjallisuusar- voon (MJ/kg)	- 0,16		+ 0,41	- 1,25	+ 0,57	
Tehollinen läm- pöarvo saapumis- tilassa	6,07	7,03	17,89	9,11	44,56	-
Tehollinen läm- pöarvo saapumis- tilassa, kirjalli- suusarvo	2,2–10,0	7,0–10,0	7,0–18,2	9,8	-	-
Ero kirjallisuusar- voon (MJ/kg)				- 0,69		

8.4 Virhetarkastelu

Taulukon 16. tuloksia tarkastelemalla voidaan todeta mittausten onnistuneen hyvin lukuun ottamatta ST1 RE85 bioetanolin mittauksia. Saadut tulokset ovat hyvin lähellä kirjallisuusarvoja. Pommikalorimetrisesti suoritetuissa lämpöarvon mittauksissa inhimillisen virheen vaikutukset ovat hyvin minimaaliset. Mittauksen aikana syntyvää virhettä voi aiheuttaa vain mittaajan virhe punnittaessa tarvittavaa vesimäärää vesiastian, polttoaineen punnitseminen vaa'alla, sekä virheet tuloksia laskettaessa. Mittauksissa käytettiin Mettlerin AT460 vaakaa ja Brandin 1000:10 ml mittalasia.

Kaikki mitattavat näytteet otettiin samasta toimituserästä, joten tämä saattaa aiheuttaa virhettä saaduissa tuloksissa. Tulosten luotettavuuden kannalta olisi ollut kannattavaa ottaa näytteitä useista eri toimituseristä, mutta ajanpuutteen vuoksi tämä ei ollut mahdollista.

Näytteiden vetypitoisuus, ilmakuivan näytteen kosteuspitoisuus ja kokonaiskosteus saapumistilassa ovat oleellisessa asemassa lämpöarvotuloksia laskettaessa. Sahanpurun, metsähakkeen ja turpeen ilmakuivien näytteiden kosteuspitoisuudet saatiin Tampereen ammattikoululta. Annetut ilmakuivien näytteiden kosteuspitoisuudet saattavat sisältää jonkin verran virhettä. Virheen minimoimiseksi kosteuspitoisuutena käytettiin kahden mittauksen keskiarvoa. Koska näytteiden vetypitoisuutta ja kokonaiskosteutta saapumistilassa ei tässä opinnäytetyössä määritetty, turvauduttiin polttoaineiden kirjallisuusarvoihin. Koska näytteiden vetypitoisuudelle ja kokonaiskosteudelle saapumistilassa ei ole absoluuttista kirjallisuusarvoa jokaisen näytteen ominaisuuksien hieman vaihdellessa, on kirjallisuusarvoiksi ilmoitettu alin ja ylin kirjallisuusarvo. Laskutoimituksissa käytettiin alimpia annettuja kirjallisuusarvoja. Koska arvot eivät ole näytteen mitattuja arvoja, aiheutuu tästä jonkin verran virhettä tuloksiin.

Bioetanolin oli mittauksissa erittäin herkkä massan muutoksiin ja sen punnitseminen vaa'alla oli mahdotonta. Bioetanolin massan muutokset johtuivat sen herkästä haihtumiskyvystä ollessaan kosketuksissa huoneilman kanssa. Ongelman ratkaisuna bioetanolin pipetoitiin näytekuppiin ja näytekuppi asetettiin pommin sisään mahdollisimman nopeasti. Näyte jatkoi haihtumistaan myös pommissa ainakin siihen asti, että ilma saatiin syrjäytettyä hapella. Paineistetusta happisäiliöstä hapen johtaminen pommiin tuli tehdä

tarkasti, jotta tekeminen on turvallista. Tämä vaihe työstä vaati rauhallisuutta, joten nopea työnsuoritus ei ollut mahdollista.

Lisäksi on nostettava esille, että turpeen massa saattaa muuttua huoneilmassa, sillä se sitoo itseensä herkästi kosteutta. Kosteuden lisääntyminen näytteen punnitsemisen jälkeen aiheuttaa näytteen massan lisääntymistä ja täten aiheuttaa lämpöarvolaskuissa hieman virhettä. Tämän vuoksi onkin tärkeää, että näytteitä ei seisotettu huoneilmassa pitkään, vaan ne asetettiin välittömästi pommiin punnitsemisen jälkeen ja pommin kansi suljettiin. Nopeasta toiminnasta huolimatta, pieni massanmuutos saattoi olla mahdollinen.

Lopuksi on vielä hyvä mainita, että kaavan 1. Happokorjausta e_1 ei otettu huomioon kalorimetristä lämpöarvoa laskettaessa ajan puutteen vuoksi. Happokorjaus on suhteessa saatuun tulokseen sen verran pieni, että sillä ei ole merkittävää vaikutusta saatuihin tuloksiin.

9 POHDINTA

Valitsin opinnäytetyöni tarkastelun kohteeksi neljä kiinteää ja kaksi nestemäistä biopolttoainetta. Biopolttoaineiden valinta opinnäytetyöhön oli kaikin puolin onnistunut, lukuun ottamatta kahta seikkaa. Biopolttoaineista eniten haastavuutta tuotti sahanpurun ja ST1 RE85 bioetanolin pommikalorimetrimitaukset. Sahanpurusta jouduttiin ottamaan useita mittauksia, ennen kuin saatiin kolme onnistunutta mittausta. Ongelmaksi muodostui se, että sahanpuru ei palanut täydellisesti pommissa, vaan osa näytteestä jäi palamatta pommin pohjalle. Todennäköinen syy tälle on se, että pelletiksi puristettu sahanpuru ei ollut tarpeeksi tiivis, ja tämän seurauksena se hajosi räjäytyksen yhteydessä.

Toinen ongelma oli ST1 RE85 bioetanolin korkea haihtuvuus. ST1 RE85 bioetanolin pommikalorimetrimitaukset eivät onnistuneet odotetulla tavalla näytteen korkean haihtuvuuden vuoksi ja täten saatuja tuloksia voidaan pitää epäluotettavina.

Biopolttoaineiden osuus energialähteistä tulee kasvamaan tulevaisuudessa. Kiinteiden biopolttoaineiden käyttö sähkön- ja lämmöntuotannon polttoaineena, sekä nestemäisten biopolttoaineiden käyttö liikenteenpolttoaineena on erinomainen tapa lisätä uusiutuvan energian käyttöä kotimaassamme. Biopolttoaineiden tuotannon lisääntyessä on kuitenkin otettava huomioon raaka-aineen kestävä käyttö. Tämä tarkoittaa sitä, että biopolttoaineiden valmistukseen käytettäviä raaka-aineita, kuten puuainesta, tulee käyttää siten, että sen määrä metsissä ei käänny laskuun. Tämä tarkoittaa sitä, että teollisuuspuuhakkuut tulee suorittaa siten, ettei hakkuumäärä ylitä suurinta mahdollista teollisuuspuun mitat täyttävää puun poistumaa. Kun pysytään tämän rajan alapuolella, Suomen metsävarojen käyttö on kestävällä pohjalla.

Nestemäisten biopolttoaineiden valmistus elintarviketeollisuuden tähteistä ja jätteistä on erinomainen tapa hyödyntää muuten hyödyntämätön energianlähde. Kestävän nestemäisten biopolttoaineiden tuotannon avainasemassa on se, että raaka-aineena ei käytetä ruoantuotantoon sopivia raaka-aineita, kuten tärkkelystä, sokeria tai kasviöljyjä.

LÄHTEET

Biotalous. Biotalous lyhyesti. Luettu 9.4.2017.

<http://www.biotalous.fi/suomi-kehittaa/biotalous-lyhyesti/>

Bio-energia ry. Tietoa turve-energiasta. Luettu 27.4.2017.

http://www.bioenergia.fi/Tietoa_turve-energiasta

Energiateollisuus. 2017. Sähköntuotanto. Luettu 13.4.2017.

http://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto

Ilmasto-opas. Bioenergia. Luettu 20.4.2017.

<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/c14a79cd-d384-41f4-a422-32338ecb35ca/bioenergia.html>

Ilmasto-opas. 2015. Euroopan Unionin ilmastopolitiikka. Luettu 10.4.2017.

<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/b82589fa-efc6-41c0-b7fd-0f1233b76c86/euroopan-unionin-ilmastopolitiikka-ohjaa-jasenmaita.html>

Kilpailuttaja. Sähkömarkkinoiden toiminta. Luettu 14.4.2017.

https://www.kilpailuttaja.fi/palvelut/tuki_ja_ohjeet/Sahkon_hinta_ja_kilpailuttaminen_kilpailuttajafi_palvelussa/sahkomarkkinoiden_toiminta/

Luonnonvarakeskus. 2016. Metsähakkeen käyttö supistui 2015. Luettu 25.4.2017.

<https://www.luke.fi/uutiset/metsahakkeen-kaytto-supistui-2015/>

Luonnonvarakeskus. 2016. Metsäsektorin suhdannekatsaus 2016–2017. Luettu 20.4.2017.

https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/537306/luke-luobio_49_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Metsäteollisuus. Suomen metsävarat. Luettu 17.4.2017.

<https://www.metsateollisuus.fi/tilastot/metsavarat/>

Metsäyhdistys. 2016. Suomen metsävarat. Luettu 17.4.2017.

<http://www.smy.fi/forest-fi/metsatietopaketti/suomen-metsavarat/>

Motiva. 2017. Bioenergia. Luettu 9.4.2017.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia

Neste Oyj. 2016. Neste my renewable diesel handbook. Luettu 20.5.2017.

https://www.neste.com/sites/default/files/attachments/neste_renewable_diesel_handbook.pdf

Neste Oyj. 2017. Nesteen vuosikertomus 2016. Luettu 4.5.2017.

<https://www.neste.com/fi/fi/konserni/uutiset-media/materiaalit/vuosikertomukset>

Nestemy.fi. Miksi neste my. Luettu 4.5.2017.

<https://nestemy.fi/tietoja>

Oulun ammattikorkeakoulu. Nesteiden ja kiinteiden aineiden lämpöarvojen määrittäminen. Luettu 15.5.2017.
http://www.oamk.fi/hankkeet/ekopelletti/docs/ekopelletti_info_220611.pdf

Parr 1995. Parr Instrument Company. 1995. Operating Instructions for the 1341 Oxygen Bomb Calorimeter. USA.

Pöyry Management Consulting Oy. 2017. Metsäbiomassan kustannustehokas käyttö. Luettu 20.4.2017.
http://tietokayttoon.fi/documents/10616/3866814/23_Mets%C3%A4biomassan+kustannustehokas+k%C3%A4ytt%C3%B6/6ce5cca0-78a5-4502-8af4-ffe42d5557c9?version=1.0

ST1. RE85 tuotetiedote. 2014. Luettu 20.5.2017.
<http://www.st1.fi/tuotteet/kayttoturva-ja-tuotetiedotteet>

ST1. Tiedote 13145. Luettu 5.5.2017.
<http://www.st1.fi/uutiset/tiedotteet/13145>

ST1. Tiedote 13190. Luettu 5.5.2017.
<http://www.st1.fi/uutiset/tiedotteet/13190>

Tilastokeskus. 2017. Energian hankinta ja kulutus. Luettu 13.4.2017.
http://www.stat.fi/til/ehk/2016/04/ehk_2016_04_2017-03-23_fi.pdf

Turveinfo. Turve. Luettu 27.4.2017.
<http://turveinfo.fi/>

VTT. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Luettu 20.4.2017.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T258.pdf>

VTT. 2010. Turpeen tuotanto ja käyttö. Luettu 15.4.2017.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2550.pdf>

Ympäristöministeriö. 2016. Pariisin ilmastopöytäkirja. Luettu 10.4.2017.
http://www.ymparisto.fi/FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastomuutoksen_hillitseminen/Kansainvaliset_ilmastoneuvottelut/Pariisin_ilmastopöytäkirja