

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0202 Energiatekniikan kandidaatintyö

Valtioneuvoston asetuksen 750/2013 vaikutukset pienten  
polttolaitosten päästörajoitukseen

Impact of government degree 750/2013 to discharge limits  
of small power plants

Työn tarkastaja: Tapio Ranta

Työn ohjaaja: Jarno Föhr

Lappeenranta 13.11.2017

Ida Mäkelä

## **TIIVISTELMÄ**

Opiskelijan nimi: Ida Mäkelä

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyön ohjaaja: Jarno Föhr

Kandidaatintyö 2017

Sivuja 37, kuvia 3, taulukoita 4

Hakusanat: pienet polttolaitokset, päästörajoitukset, valtioneuvoston asetus 750/2013

Tässä työssä tutkitaan Valtioneuvoston asetuksen 750/2013 vaikutusta pienen kokoluokan energiantuotantolaitosten päästörajoituksiin. Selvitetään asetuksen keskeinen sisältö ja pohditaan sen aiheuttamia käytännön vaikutuksia energiantuotantoyksiköiden polttoaineiden valintaan ja laitekantoihin. Työssä käytetään esimerkkitapauksena Adven Oy:n Kauttuan voimalaitoksen varakattilana toimivaa poltinkattilaa. Tämä kandidaatin työ on tehty osana HevosWoima -hanketta, jossa tutkitaan hevosenlannan käyttömahdollisuuksia uusiutuvan energian tuotannossa Etelä-Savon alueella.

Työssä lähteinä käytetään pääsääntöisesti vertaisarvioituja tieteellisiä artikkeleita. Muita käytettyjä lähdemateriaaleja ovat diplomityöt sekä lait ja asetukset. Esimerkkitapausta koskevat tiedot on saatu kyseessä olevan energiantuotantolaitoksen ympäristöluvasta ja sähköpostikeskustelusta laitoksen voimalaitospäällikön ja kunnossapitoinsinöörin kanssa. Työ on kirjallisuuskatsaus, jossa lähdekritiikkiä käyttäen tutkitaan aihetta monipuolisesti.

Valtioneuvoston asetuksen 750/2013 kiristyneiden päästörajoitusten vuoksi raskaan polttoöljyn käyttö alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköissä tulee todennäköisesti loppumaan kokonaan. Tämän vuoksi näihin laitoksiin tulee valita korvaava polttoaine. Jokaisella polttoaineella on erilaiset vaatimukset laitekantojen suhteen, joiden avulla voidaan esimerkiksi vähentää polttoaineiden aiheuttamia päästöjä ympäristöön.

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>Tiivistelmä</b>	<b>2</b>
<b>Sisällysluettelo</b>	<b>3</b>
<b>Lyhenneluettelo</b>	<b>4</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>5</b>
<b>2 Yleiskatsaus Valtioneuvoston asetukseen 750/2013</b>	<b>6</b>
2.1 Päästöt ilmaan.....	6
2.2 Jätevesien aiheuttamat päästöt ja niiden ehkäisy .....	11
2.3 Polttoaineiden käsittelyn aiheuttamat päästöt ja niiden ehkäisy .....	12
2.4 Jätteiden aiheuttamat päästöt ja niiden ehkäisy.....	13
2.5 Poikkeus- ja muutostilanteet .....	14
2.6 Päästöjen ja ympäristövaikutusten tarkkailu .....	14
<b>3 Asetuksen vaikutukset pienen polttoainetehon voimalaitoksiin</b>	<b>18</b>
3.1 Polttoaineen valinta päästörajat huomioon ottaen.....	19
3.1.1 Kaasumaiset polttoaineet .....	19
3.1.2 Nestemäiset polttoaineet .....	21
3.1.3 Kiinteät polttoaineet.....	23
3.2 Mahdolliset muutokset energiantuotantoyksiköiden laitekannoissa eri polttoainetyypeillä .....	24
3.2.1 Kaasumaiset polttoaineet .....	24
3.2.2 Nestemäiset polttoaineet .....	25
3.2.3 Kiinteät polttoaineet.....	26
3.3 Hevososen lannan mahdollinen käyttö osapolttoaineena .....	29
3.3.1 Hevososenlannan lämpöarvo .....	30
3.3.2 Kuivikemateriaalit.....	31
3.3.3 Hevososenlannan polton kannattavuus pienen polttoainetehon energiantuotantolaitoksissa .....	31
<b>4 Case Kauttua</b>	<b>33</b>
4.1 Polttoaineen valinta.....	34
4.2 Vaikutus laitekantaan.....	35
<b>5 Yhteenveto</b>	<b>36</b>
<b>Lähdeluettelo</b>	<b>38</b>

## **LYHENNELUETTELO**

### **Lyhenteet**

LNG Nesteytetty maakaasu (liquefied natural gas)

NO<sub>x</sub> typenoksidi

SO<sub>2</sub> rikkidioksidi

SRF Kierrätyspolttoaine (solid recycled fuel)

## 1 JOHDANTO

Valtioneuvoston asetus 750/2013 polttoaineteholtaan alle 50 megawatin energian tuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksista astuu voimaan vuoden 2018 alusta lähtien. Asetuksen myötä päästörajoitukset pienillä polttolaitoksilla kiristyvät ja laitoksille joudutaan tekemään muutoksia niin polttoaineisiin kuin erilaisiin laitteisiinkin liittyen.

Tämän työn tavoitteena on esitellä Valtioneuvoston asetuksessa 750/2013 esitetyt päästöraajat ja luoda yleiskatsaus asetuksen sisältöön. Työssä selvitetään, miten asetuksen mukaisesti voidaan estää erilaisten päästöjen joutuminen maaperään, ilmaan ja vesistöihin. Ympäristöhaitaksi määritelty melu rajataan ulos työssä tehtävän tarkastelun piiristä. Lisäksi käsitellään, miten energiantuotantoyksikössä tulee toimia poikkeus- ja muutostilanteessa sekä miten päästöjä ja ympäristövaikutuksia tarkkaillaan laitoksen käyttöönoton tai muutostilanteen jälkeen.

Työssä tutkitaan asetuksen vaikutusta pienen polttoainetehon voimalaitoksiin. Selvitetään miten asetus voi vaikuttaa polttoainevalintoihin ja millaisia laiteinvestointeja laitoksissa mahdollisesti joudutaan tekemään. Työ on tehty osana HevosWoima – tutkimusta, jossa selvitetään hevostaloudesta syntyvän polttokelpoisen materiaalin hyödyntämistä uusiutuvan energian tuotannossa Etelä-Savon alueella. Työssä selvitetään hevosen lannan mahdollisuutta korvaavana osapolttoaineena laitoksissa, joissa asetuksen vuoksi polttoainetta joudutaan vaihtamaan.

Adven Oy:n Kauttuan voimalaitoksessa Valtioneuvoston asetus 750/2013 vaikuttaa varakattilan toimintaan. Tässä työssä Kauttuan voimalaitos toimii case-tapauksena, jossa tutkitaan asetuksen vaikutusta varakattilan uuden polttoaineen valintaan, koko voimalaitoksen laitekantaan ja muihin mahdollisiin muutoksiin laitoksella.

## **2 YLEISKATSAUS VALTIONEUVOSTON ASETUKSEEN 750/2013**

Valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristösuojeluvaatimuksista tulee voimaan 1.1.2018 ja sen piiriin kuuluvat kaikki polttoyksiköt, joiden polttoainetehto on enemmän kuin 5 MW, mutta vähemmän kuin 50 MW. Jos energiantuotantolaitoksen, jossa on useampi kuin yksi polttoyksikkö eli kattila, yhteistehto on yli 5 MW, voidaan asetusta 750/2013 soveltaa laitokseen, vaikka yksittäisen kattilan polttoainetehto olisikin alle 5 MW. Jos laitoksella on ympäristönsuojelulain 86/2000 mukainen lupa, sovelletaan siihen silloin myös asetusta 750/2013. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 1 §.)

Ympäristölupa edellytetään energiantuotantolaitoksilta, joiden toiminnan johdosta aiheutuu vaaraa ympäristön pilaantumisesta, laitoksella käytetään vaarallisia tai haitallisia aineita tai jos vesistöjen puhtaudelle aiheutuu uhkaa laitoksen toiminnan aikana (YSL 86/2000; 28 §, 65 §). Asetuksen piiriin kuuluvien energiantuotantoyksiköiden polttoaine voi olla, joko kiinteää, nestemäistä tai kaasua (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 1 §).

Energiantuotantoyksiköt, jotka kuuluvat valtioneuvoston asetuksen 151/2013 piiriin, eivät sovelta asetusta 750/2013 (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 1 §). Näihin laitoksiin kuuluvat esimerkiksi pyrolyysi- tai kaasutuslaitokset, joissa kaasu puhdistetaan ennen polttamista niin, että sitä ei enää luokitella jätteeksi, eikä se tuota poltettaessa suurempia päästöjä kuin maakaasu tuottaisi. Myöskään laitokset, jotka käyttävät polttoaineenaan kasviperäisiä jätteitä, jotka eivät ole purku-, tai rakennusjätteitä eivät kuulu käsiteltävän asetuksen 750/2013 piiriin. (YSL 527/2014, 107 §.)

Savukaasujen puhdistamiseen tarkoitettut laitokset, testi-, tutkimus- tai koekäytössä olevat laitokset eivät kuulu asetuksen 750/2013 soveltamisalaan. Myöskään laitokset, joilla poltetaan eläinten ruhoja kuuluvat soveltamisalan ulkopuolelle. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 1 §.)

### **2.1 Päästöt ilmaan**

Valtioneuvoston asetus asettaa sekä olemassa oleville energiantuotantoyksiköille, että uusille valmistuville laitoksille ilmaan johdettavien päästöjen raja-arvot ja näiden raja-

arvojen valvomiseksi määrätty tarkkailumallit. Päästöraja-arvot on määritelty polttoaine-, polttoaineteho- ja laitostyyppikohtaisesti. (Valtioneuvoston asetus 750/2013; 5 §, Liite 1.) Tapauksessa, jossa useamman kuin yhden yksikön savukaasut johdetaan yhteiseen hormiin, yksiköiden yhteenlaskettu polttoaineteho määrittelee päästörajat. Ilmaan johdettaviin päästöihin liittyy olennaisena osana myös energiantuotantoyksikön savupiipun pituus. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 7 §.) Tarpeeksi pitkän hormin avulla voidaan varmistaa, että päästöt eivät aiheuta ympäristövaikutuksia heti laitoksen läheisyydessä, vaan leviävät laajemmalle alueelle, jolloin niiden pitoisuuden laskiessa ne eivät aiheuta enää niin voimakkaita vaikutuksia ihmisiin ja ympäristöön.

Savupiipun korkeus voidaan selvittää kahdella tavalla. Mitoitus voidaan suorittaa joko leviämismallilaskelmalla tai piippumonogrammin avulla. Uusien tuotantolaitosten savuhormien pituus tulee aina määrittää leviämismallilaskelmalla ainakin sellaisessa tapauksessa, että puolen kilometrin säteellä laitoksesta on 30 metrin korkuinen kohoama. Kohoama voi olla joko maanpinnan korkeusvaihtelua tai korkea rakennus. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 7 §.)

Tarkasteltaessa päästöraja-arvoja, uusille ja olemassa oleville pienille alle 50 MW:n laitoksille, polttoainekohtaisesti, voidaan huomata päästöarvojen erot uusien ja vanhojen laitosten välillä. Päästöraja-arvot on määritetty hiukkas-, typpioksiidi- ja rikkidioksidipäästöille. Kaasumaisille polttoaineille on määritetty vain typpioksidipäästöjen raja-arvot. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 1 Taulukot 1 ja 2.) Kaasumaisten polttoaineiden voidaan olettaa palavan puhtaammin kuin kiinteiden ja nestemäisten polttoaineiden. Tämän vuoksi sen aiheuttamien hiukkas- ja rikkidioksidipäästöjen voidaan olettaa olevan merkityksettömän pieniä.

Hiukkaspäästöt kiinteille polttoaineille ovat laitoskoko kohden samat uusissa energiantuotantolaitoksissa. Turpeella sekä puu- ja bioperäisillä polttoaineilla hiukkaspäästöjen raja-arvo alle viiden megawatin laitoksilla on  $200 \text{ mg/m}^3\text{n}$ . Biopohjaisiin polttoaineisiin luetaan muun muassa ruokohelppi, pelletit ja olki. Hiilelle ei ole erikseen määritetty raja-arvoja alle viiden megawatin energiantuotantoyksiköille. Kun polttoaineteho on enemmän kuin 5 MW, mutta alle 10 MW, turpeella sekä puu- ja bioperäisillä polttoaineilla hiukkaspäästöjen raja-arvo on  $50 \text{ mg/m}^3\text{n}$ . Tästä suuremmilla laitoksilla aina polttoainetehtoon 50 MW:iin asti uusilla laitoksilla, jotka käyttävät

polttoaineenaan kiinteitä polttoaineita, hiukkaspäästöjen raja-arvot ovat 40 mg/m<sup>3</sup>n. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 1 Taulukko 1.)

Uusilla energiantuotantolaitoksilla nestemäisten polttoaineiden aiheuttamat hiukkaspäästöt saavat maksimissaan olla kaikilla laitoksilla aina 50 MW:iin asti 50 mg/m<sup>3</sup>n 1.1.2018 alkaen. Nestemäisillä ja kaasumaisilla polttoaineilla savukaasujen tulisi sisältää happea 3 %. Typpioksidipäästöt nestemäisille polttoaineille on alle 15 megawatin laitoksissa 800 mg/m<sup>3</sup>n. Suuremmilla laitoksilla, joiden polttoaine teho on kuitenkin alle 50 MW, typpioksidien suurin sallittu pitoisuus savukaasuissa on 500 mg/m<sup>3</sup>n. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 1 Taulukko 1.)

Kaasumaisten polttoaineiden, esimerkiksi maakaasun, aiheuttamien typpioksidien suurin sallittu pitoisuus savukaasuissa on alle 15 MW:n laitoksissa 340 mg/m<sup>3</sup>n ja tätä suuremmissa laitoksissa 200 mg/m<sup>3</sup>n. Kiinteillä puu- ja biopohjaisilla polttoaineilla typpioksidipäästöt saavat maksimissaan olla kaiken kokoisissa laitoksissa 375 mg/m<sup>3</sup>n. Turpeen polttaminen aiheuttaa enemmän typpioksidipäästöjä kuin puupohjaiset polttoaineet, joten turpeen aiheuttamien päästöjen maksimiarvo on 500 mg/m<sup>3</sup>n. Hiilen poltosta aiheutuvan typpioksidin suurin sallittu pitoisuus on 270 mg/m<sup>3</sup>n. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 1 Taulukko 1.)

Polttoprosessissa savukaasut sisältävät myös rikkidioksidia. Nestemäisten polttoaineiden aiheuttamien rikkidioksidipäästöjen maksimipitoisuus on 350 mg/m<sup>3</sup>n. Pitoisuus on sama kaikille alle 50 MW:n energiantuotantolaitoksille. Bio- ja puupohjaisille polttoaineille rikkidioksidipitoisuus voi maksimissaan valtioneuvoston asetuksen mukaan olla 200 mg/m<sup>3</sup>n. Turpeen voidaan olettaa sisältävän enemmän rikkiä kuin puupohjaiset polttoaineet, sillä sen polton aiheuttamien rikkidioksidipäästöjen raja-arvo on 500 mg/m<sup>3</sup>n. Hiilelle raja-arvo on kaikkein korkein eli 850 mg/m<sup>3</sup>n. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 1 Taulukko 1.) Uusille energiantuotantoyksiköille säädettyt raja-arvot on nähtävissä taulukossa 1.



**Taulukko 1:** Päästöraja-arvot uusille energiantuotantoyksiköille, joiden polttoaineteho on vähintään yksi, mutta enintään 50 MW:a (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 1 Taulukko 1).

Kattilan polttoaineteho (P)	Hiukkaset [mg/m <sup>3</sup> n]	NO <sub>x</sub> (laskettuna NO <sub>2</sub> ) [mg/m <sup>3</sup> n]	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> n]
<b>Nestemäiset polttoaineet</b>	O <sub>2</sub> = 3 %	O <sub>2</sub> = 3%	O <sub>2</sub> = 3 %
1 ≤ P ≤ 15 MW	50	800	350
15 ≤ P ≤ 50 MW	50	500	350
<b>Kaasumaiset polttoaineet</b>		O <sub>2</sub> = 3%	
1 ≤ P ≤ 15 MW		340	
15 ≤ P ≤ 50 MW		200	
<b>Puu ja muut kiinteät biopolttoaineet</b>	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6 %	
1 ≤ P ≤ 5 MW	200	375	200
5 ≤ P ≤ 10 MW	50	375	200
10 ≤ P ≤ 50 MW	40	375	200
<b>Turve</b>	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6 %
1 ≤ P ≤ 5 MW	200	500	500
5 ≤ P ≤ 10 MW	50	500	500
10 ≤ P ≤ 50 MW	40	500	500
<b>Hiili</b>	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6%
1 ≤ P ≤ 10 MW	50	270	850
10 ≤ P ≤ 50 MW	40	270	850

Päästörajat ovat erilaiset olemassa oleville energiantuotantoyksiköille kuin edellä mainituille uusille laitoksille. Olemassa oleville laitoksille päästörajat ovat osittain samat kuin uusille laitoksille, mutta suurin osa rajoista on löysempiä siinä tilanteessa, kun laitos on vanha. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 1 Taulukot 1 ja 2.) Tämän voidaan olettaa johtuvan siitä, että olemassa olevien laitosten laitekannalla ei ole välttämättä mahdollista päästä savukaasuissa niin pieniin pitoisuuksiin kuin uusilla laitoksilla on mahdollista. Muutokset, jotka vaaditaan laitekantaan, jotta päästöpitoisuuksista saataisiin yhtä pieniä kuin uusilla energiantuotantoyksiköillä, saattaisivat olla niin kalliita, että hinta tekisi niistä kannattamattomia.

Olemassa oleville laitoksille on asetettu myös päästörajoitukset huippu- ja varavoimalle. Voidaan huomata, että näiden päästörajojen arvot ovat suuremmat kuin laitoksen, jota käytetään jatkuvatoimisesti. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 1 Taulukko 2.) Tämän voidaan olettaa johtuvan siitä, että näitä huippu- ja vara voimalaitoksia käytetään

vain ajoittain lyhyitä aikoja, jolloin niiden hetkellisesti aiheuttamat suuremmat päästöt eivät aiheuta ympäristölle niin suurta haittaa kuin, jos suuremmat päästöt olisivat jatkuvia.

Nestemäisien polttoaineiden aiheuttamien hiukkaspäästöjen raja-arvot alle 15 MW:n voimalaitoksille ovat  $140 \text{ mg/m}^3\text{n}$  ja sitä suuremmille  $50 \text{ mg/m}^3\text{n}$ . Kevyttä polttoöljyä käytettäessä hiukkasten suurin sallittu pitoisuus savukaasuissa on laitoksen kokoluokasta riippumatta  $50 \text{ mg/m}^3\text{n}$ . Nestemäisten polttoaineiden aiheuttamat typpioksidipäästöt saavat olla maksimissaan alle 15 MW:n laitoksissa  $900 \text{ mg/m}^3\text{n}$  ja suuremmilla  $600 \text{ mg/m}^3\text{n}$ . Tämä tarkoittaa, että olemassa olevien laitosten päästörajat ovat hieman löyhemmät kuin uusilla laitoksilla. Rikkidioksidipäästöt, joita nestemäisten polttoaineiden käyttö poltossa aiheuttaa, voivat suurimmillaan raja-arvojen mukaan olla  $350 \text{ mg/m}^3\text{n}$  ja vara sekä huippuvoimatilanteessa  $850 \text{ mg/m}^3\text{n}$ . (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 1 Taulukko 2.)

Kaasumaisten polttoaineiden aiheuttamien päästöjen raja-arvot alle 15 MW:n energiantuotantolaitoksille ovat  $400 \text{ mg/m}^3\text{n}$  ja yli 15 MW:n laitoksille  $300 \text{ mg/m}^3\text{n}$ . Kiinteiden polttoaineiden päästörajoitukset olemassa ja käytössä oleville laitoksille ovat suuremmat kuin uusille laitoksille määrätyt raja-arvot ovat. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 1 Taulukko 2.) Kaikki raja-arvot olemassa oleville energiantuotantoyksiköille ja vara- sekä huippuvoimalaitoksille ovat nähtävissä taulukossa 2. Taulukossa suluissa esitetyt raja-arvot ovat vara- ja huippuvoimalaitoksille.

**Taulukko 2:** Päästörajat olemassa oleville energiantuotantoyksiköille, joiden polttoaineteho on vähintään yksi, mutta enintään 50 MW:a. Vara- ja huippukuormakattiloiden päästörajat esitetty suluissa. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 1 Taulukko 2).

Kattilan polttoaineteho (P)	Hiukkaset [mg/m <sup>3</sup> n]	NO <sub>x</sub> (laskettuna NO <sub>2</sub> ) [mg/m <sup>3</sup> n]	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> n]
<b>Nestemäiset polttoaineet</b>	O <sub>2</sub> = 3 %	O <sub>2</sub> = 3%	O <sub>2</sub> = 3 %
1 ≤ P ≤ 15 MW	140 (200)	900	350 (850)
15 ≤ P ≤ 50 MW	50 (140)	600	350 (850)
<b>Kaasumaiset polttoaineet</b>		O <sub>2</sub> = 3%	
1 ≤ P ≤ 15 MW		400	
15 ≤ P ≤ 50 MW		300	
<b>Puu ja muut kiinteät biopolttoaineet</b>	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6 %
1 ≤ P ≤ 5 MW	300 (375)	450 (500)	200
5 ≤ P ≤ 10 MW	150 (250)	450 (500)	200
10 ≤ P ≤ 50 MW	50 (125)	450 (500)	200
<b>Turve</b>	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6 %
1 ≤ P ≤ 5 MW	300 (375)	600 (625)	500
5 ≤ P ≤ 10 MW	150 (250)	600 (625)	500
10 ≤ P ≤ 50 MW	50 (125)	600 (625)	500
<b>Hiili</b>	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6 %	O <sub>2</sub> = 6%
1 ≤ P ≤ 50 MW	50 (140)	420 (550)	1100

## 2.2 Jätevesien aiheuttamat päästöt ja niiden ehkäisy

Puhdistinlaitteiden läpi kulkevien jätevesien määrän ja laadun selvittäminen ja raportointi kuuluu energiantuotantoyksikön toiminnanharjoittajan tehtäviin. Toiminnanharjoittajan on myös varmistettava, että valtioneuvoston asetuksen 1022/2006 liitteessä I lueteltuja vesistöille haitallisia aineita ei pääse viemäristöön, pohjavesiin tai vesistöihin. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 9 §.)

Sekä viemäriin että vesistöön johdettavat lauhde vedet tulee neutraloida, selkeyttää ja suodattaa. Lisäksi ojaan johdettava lauhdevedet tulee kemiallisesti saostaa ennen johtamista. Lauhdevesillä tarkoitetaan savukaasupesuri-prosessissa ja savukaasujen lauhduttamisessa muodostuvia jätevesiä. Toiminnassa, johon tarvitaan ympäristölupa, toiminnanharjoittaja voi suorittaa jätevesien puhdistamisen tavalla, jonka on maininnut

ympäristölupahakemuksessaan. Tämän tavan tulee kuitenkin olla tehokkaampi kuin edellä mainittu tapa on. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 9 §.)

Jos energiantuotantolaitoksessa on käytössä täyssuolanpoisto, sen aiheuttamat jätevedet tulee ennen johtamista neutraloida. Peittauksesta ja nuohouksesta muodostuvat jätevedet tulee neutraloida ennen niiden johtamista viemäriverkoston. Lisäksi nuohousvedet tulee myös selkeyttää ennen johtamista. Toinen vaihtoehto on kerätä vedet talteen ja kuljettaa ne käsiteltäväksi paikkaan, jolla on käsittelyä koskeva asianmukainen lupa. Peittauksesta syntyvät huuhteluvedet voidaan ohjata suoraan maaperään. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 9 §.)

Öljyä sisältävistä vesistä, jotka voivat olla peräisin öljynkäsittelyalueilta, öljysäiliöiden yhteydessä olevista suoja-altaista tai sisältävät muusta syystä öljyä, tulee ennen viemäriin johtamista poistaa öljy öljynerottimen avulla. Kerran vuodessa öljynerottimet tulee testata, jotta voidaan varmistaa, että öljytilan täyttymistä seuraava hälytysjärjestelmä toimii. Öljynerottimien toimintakunto tulee tarkastaa myös vuosittain samalla, kun ne tyhjennetään. Öljynerottimiin ei saa joutua piha-alueiden hulevesiä, joten näiden vesien pääsy öljynerottimelle meneviin viemäriin on estettävä. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 10 §.) Tilanteessa, jossa öljynerottimesta tulevat vedet johdetaan viemäriin, tulee erottimen olla luokan II öljyn erotin, jolloin suurin siitä läpi tuleva hiilivetypitoisuus on 100 mg/l. Jos jätevesiä, joissa on öljyä, ei johdeta jätevesiviemäristöön, tulee erottimen olla I:n luokan öljynerotin. Tässä tapauksessa suurin hiilivetyjen määrä erottimen läpi kulkeneessa vedessä on 5 mg/l. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 10 §.)

Heti öljynerottimen jälkeen viemäristössä tulee olla sulkuventtiili, jonka avulla voidaan välittömästi tarpeen ilmaantuessa estää jätevesien pääsy vesilaitoksen viemärikanavistoon tai laitoksen omalle jätevesien purkupaikalle. Lisäksi sulkuventtiilin kanssa samaan paikkaan tulee sijoittaa näytteenottoventtiili, jonka kautta voidaan tarkkailla viemäriin johdetun veden laatua. Venttiilit tulee sijoittaa kaivoon, johon tulee olla esteetön pääsy. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 10 §.)

### **2.3 Polttoaineiden käsittelyn aiheuttamat päästöt ja niiden ehkäisy**

Polttoaineiden ulkovarastointitiloissa on oltava tiivis pohja, jotta ne eivät aiheuta maaperään päästöjä. Lisäksi on huolehdittava, että niiden hulevesijärjestelmään on liitetty

kiintoaineen erotus. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 11 §.) Kiinteässä olomuodossa olevien polttoaineiden siirroista, käsittelystä tai varastoinnista ei saa aiheutua palovaaraa eikä pöly-, haju-, taikka roskaantumishaittaa ympäristölle. Polttoaineen ollessa hyvin hienojakoista sen purkaus- ja varastointipaikan tulee sijaita suljetussa tilassa. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 12 §.)

Nestemäisten polttoaineiden varastointi tulee tapahtua asianmukaisissa kaksoisvaippasäiliöissä, tai vaihtoehtoisesti säiliöissä, jotka ovat sijoitettuna suoja-altaaseen. Suoja-altaan tilavuuden tulee olla kymmenen prosenttia suurempi kuin säiliön suurin nestetilavuus. Vähintään kymmenen vuoden välein tulee suoja-altaiden kunto tarkistaa. Kaksoisvaippasäiliöihin tulee sijoittaa vuodonilmaisoin sekä ylitäytönestoin, joka pitää sijoittaa myös yksinkertaisiin säiliöihin. Jos vuoto kuitenkin ilmenee, sen varalle tulee varata säiliöiden läheisyyteen imeytysaineita ja polttoaineiden leviämisen torjuntakalustoa. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 13 §.)

## **2.4 Jätteiden aiheuttamat päästöt ja niiden ehkäisy**

Energiantuotantolaitosten jätehuollosta säädetään jätelaissa 646/2011. Jätelain tarkoituksena on suorittaa jätehuolto niin, että se ei aiheuta haittaa eikä vaaraa ympäristölle taikka ihmisille samalla vähentäen jätteen määrää ja sen haitallisuutta. Lain avulla tuetaan luennonvaroja ja vähentää roskaantumista. (Jätelaki 646/2011, 1§.)

Jätelain mukaan vaarallisiksi luokiteltavat jätteet ja uudelleen hyödynnettävät jätteet tulee kerätä talteen ja varastoida erillään muista jätteistä (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 5). Vaarallisiin jätteisiin kuuluvat palo- ja räjähdysvaaralliset sekä tartuntavaaralliset jätteet. Myös muut terveydelle tai ympäristölle vaaraa mahdollisesti aiheuttavat jätteet luokitellaan vaarallisiksi. (Jätelaki 646/2011, 6§.) Vaarallisten jätteiden varastoinnissa tulee ottaa huomioon leviämismahdollisuudet, joten varastointitilan tulee olla katettu, vesitiivis ja tiivispohjainen. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 14 §.) Tällöin vaarallisen jätteen leviäminen ympäristöön voidaan estää. Kerran vuodessa vaaralliseksi luokitellut jätteet tulee toimittaa uudelleen hyödynnettäväksi tai loppukäsittelyyn (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 14 §).

Jätelaissa otetaan kantaan myös tuhkan varastointiin, kuljetukseen ja hyötykäyttöön. Tuhkan varastoinnin tulisi tapahtua siiloissa, jotka ovat siihen tarkoitettut. Kun siiloja

tyhjennetään ja tuhkaa kuljetetaan loppusijoituspaikoille, tulee varmistaa, ettei toiminnasta aiheudu pölyhaittoja ympäristöön. Pohja- ja lentotuhkan kelpoisuutta uudelleen hyödyntämiseen ja kaatopaikalle vietäväksi arvioidaan ja lannoitteeksi päätyvää tuhkaa varastoidaan ja kuljetetaan lannoitevalmistelain 179/2012 mukaan. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 14 §.)

## **2.5 Poikkeus- ja muutostilanteet**

Poikkeuksellisen tilanteen sattuessa energiantuotantolaitoksella tulee olla toimintasuunnitelma etukäteen (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 15 §). Toimintasuunnitelma tulee toimittaa viranomaisille heti toiminnan alettua, jotta se on valmiina poikkeustilanteen sattuessa (Ympäristönsuojelulaki 527/2014, 64§). Poikkeuksellisen tilanteen sattuessa toiminnanharjoittajan tulee ryhtyä toimintasuunnitelman määrittelemiin toimenpiteisiin välittömästi. Toimenpiteiden tarkoituksena on ehkäistä ja minimoida haitallisia ympäristövaikutuksia. Lisäksi poikkeuksellisesta tilanteesta tulee tehdä selonteko, joka tulee toimittaa laitoksesta riippuen joko kunnan ympäristöviranomaiselle tai aluehallintoviraston määrittelemälle viranomaiselle. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 15 §.)

Jos poikkeustilanne tapahtuu energiantuotantolaitoksen savukaasujen puhdistuslaitteistossa, tulee tapauksesta raportoida viranomaisille kahden vuorokauden aikana. Lisäksi poikkeustilanteen sattumisen jälkeen toiminnanharjoittajan tulee varmistaa, ettei kyseinen poikkeustila toistu uudelleen. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 15 §.)

## **2.6 Päästöjen ja ympäristövaikutusten tarkkailu**

Pienten yli 1 MW, mutta alle 5 MW kokoisilla energiantuotantoyksiköillä ja -laitoksilla rakentaminen tulee suorittaa parhaan mahdollisen tekniikan mukaan. Päästöjä tarkkaillaan ja pyritään pitämään mahdollisimman alhaisina hallitsemalla palamista. Päästöjä tulee mitata toiminnan aloittamisen yhteydessä sekä toiminnan muuttuessa. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 3.)

Yli viiden megawatin energiantuotantolaitoksen toiminnantarkkailusuunnitelman tulee sisältää sekä toiminnan, ympäristövaikutusten että päästöjen tarkkailua. Laitoksella ei

vaadita jatkuvia päästömittauksia, jonka vuoksi toiminnantarkkailuun tulee kiinnittää erityistä huomioita. Ympäristövaikutusten ja päästöjen hallintaa toteutetaan henkilökunnan ammattitaitoisella toiminnalla ja laitteistojen oikealla käytöllä. Näin voidaan ehkäistä poikkeustilanteiden tapahtumista. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 3.)

Käyttötarkkailuun kuuluu seurannan kirjaaminen. Kirjattaviin asioihin kuuluvat polttoaineiden laadun seuranta, savukaasupäästöjen tarkkailu sekä palamisolosuhteiden tarkkailu. Polttoaineiden laatua voidaan seurata itse energiantuotantolaitoksella tai vaihtoehtoisesti polttoaineen toimittaja suorittaa seurannan. Toiminnan harjoittajan tulee kuitenkin omata tarvittavat selvitykset polttoaineen laadullisista tekijöistä päästölaskennan ja polttoprosessin toiminnan ja päästöjen hallinnan näkökulmasta. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 3.)

Kaikilla polttoaineilla seurataan polttoaineen alkuperää, kulutusta ja lämpöarvoa. Kosteutta seurataan ja mitataan kiinteillä polttoaineilla samoin kuin palakokoakin. Tuhkapitoisuutta tarkkaillaan vain kivihiilen ja turpeen osalta, kun taas rikkipitoisuutta mitataan kaikilta muilta polttoaineilta paitsi maakaasulta. Nestemäisiä polttoaineita käytettäessä tulee seurata polttoaineen viskositeettia. Raskasmetallien pitoisuutta polttoaineessa seurataan kaikilla muilla kuin maakaasulla. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 3 Taulukko 1.)

Pienen polttoainetehon voimalaitoksilla päästöjen seurannan ei tarvitse olla jatkuvatoimista. Tämän vuoksi on tärkeää, että palamisolosuhteita seurataan, jolloin palamisen laatu on hyvää ja päästöt ovat pieniä. Kun polttoaineteho on yli viisi megawattia ja pääasiallisena polttoaineena käytetään kiinteitä polttoaineita, tulee hiilimonoksidin pitoisuutta savukaasuissa mitata jatkuvatoimisesti. Uusissa laitoksissa ja peruskuorman tuotantoon käytetyissä energiantuotantolaitoksissa tulee seurata happipitoisuutta ja lämpötilaa jatkuvalla mittauksella. Kaikki palamisolosuhteiden tarkkailussa käytetyt mittalaitteet tulee kalibroida vähintään vuosittain, jotta voidaan varmistaa mittauksen oikeellisuus. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 3.)

Energiantuotantolaitoksien huoltotoimet ja laitteistojen seuranta tulee suorittaa tietyin määrätyn väliajoin ja ennakoidusti. Savukaasun puhdistuslaitteiden erottuvan aineen

määrää tulee seurata. Sähkösuodattimissa tulee tarkkailla virran ja jännitteen arvoja, sykloneissa paine-eroa ja laitteistossa olevan massa tiiveyttä. Paine-eroa tulee mitata lisäksi kuitusuodattimessa ja märkäpesurissa. Edellä mainittujen mittauskohteiden seurantaajuus tulee olla esitettyinä tarkkailusuunnitelmassa. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 3.)

Laitteistoja, joihin pienen polttoainetehon energiantuotantolaitoksissa tulee kohdistaa seuranta ovat kattila, erotinlaitteet ja mittalaitteet, polttoaineesta riippumatta. Maakaasua, nestemäistä polttoainetta tai kivihiiltä polttoaineenaan käyttävän energiantuotantolaitoksen tulee lisäksi tarkkailla polttimia. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 3.)

Savukaasupäästöjen tarkkailu suoritetaan kertaluonteisten joko kolmen tai viiden vuoden välein suoritettavien hiukkas- ja typenoksidipäästöjen mittauksien avulla. Lisäksi seuranta suoritetaan käyttötarkkailun ohessa ja rikkidioksidipäästöjä lasketaan polttoaineiden tietojen perusteella. Ensimmäiset savukaasupäästömittaukset tulee suorittaa viimeistään vuoden kuluttua toiminnan aloittamisesta. Kertaluontoisesta savukaasupäästömittauksesta tulee ilmoittaa ja toimittaa mittaussuunnitelma viranomaistaholle kuukautta ennen mittauksen suorittamista. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 3.)

Mittaus tulee suorittaa niin, että se kuvaa mahdollisimman hyvin laitoksen normaalia käyttötilannetta. Tämän vuoksi mittaus suoritetaan energiantuotantolaitoksen suurimmalla ja pienimmällä käyttöteholla. Kaikkien muiden paitsi typpioksidin mittauksessa käytetään lyhytaikaista mittausta, jossa mittaus koostuu kolmesta lyhyestä mittauksesta. Näiden mittausten tulosten keskiarvon tulee olla matalampi kuin päästöjen raja-arvot. Typpioksidia mitataan jatkuvalla mittauksella. Rikkidioksidin päästöarvot voidaan normaalitilanteessa selvittää laskennallisesti, mutta laitoksen omassa savukaasupesurin, kalkinsyötön tai jonkun muun vastaavasti savukaasujen rikkipitoisuuteen vaikuttavan laitteiston, tulee rikkidioksidin päästöarvo mitata kertaluonteisesti kattilan normaalilla polttoaineen syötöllä. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 3.)



Savukaasujen jäähdyttämiseen käytetyt lauhdevedet lasketaan laitoksen jätevesiksi, muiden jätevesien ohella. Vesistöihin johdettavista lauhdevesistä tulee selvittää, kuinka paljon niitä juoksetetaan vesistöön, mikä veden lämpötila ja pH. Näitä suureita tulee mitata jatkuvatoimisesti. Muut, vähintään kerran vuodessa tehtävät mittaukset, tulee ajoittaa kesään, jolloin lauhdutusveden määrä on suurin. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 3.)

Jätevesiin kuuluvat myös elvytys-, nuohous-, ja peittausvedet. Elvytyksen yhteydessä mitataan aina elvytysvesien määrä, lämpötila ja pH. Veden sulfaatti-, kokonaisfosfori-, kokonaistyyppi- ja kiintoainepitoisuudet sekä raskasmetallien määrä ja biologinen hapenkulutus tulee selvittää kerran puolessa vuodessa elvytyksen yhteydessä. Nuohous- ja peittausvesistä edellä mainitut suureet tulee mitata nuohouksen ja peittauksen yhteydessä. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 3.)

Öljynerottimen toiminnan kannalta on tärkeää, että niitä huolletaan säännöllisin väliajoin. Tällöin voidaan varmistaa, että öljynerottimesta tuleva vesi on tarpeeksi puhdasta. Toiminnan aloittamisesta seuraavan vuoden aikana tulee selvittää erottimesta lähtevän veden hiilivetytypitoisuus. Vuoden välein tulee varmistaa, että öljytilan täyttymisestä ilmoittava järjestelmä on toimintakuntoinen. Lisäksi öljynerotin tulee tyhjentää vuosittain. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 3.)

### **3 ASETUKSEN VAIKUTUKSET PIENEN POLTTOAINETEHON VOIMALAITOKSIIN**

Valtioneuvoston asetus 750/2013 tulee voimaan 1.1.2018 ja sitä sovelletaan edellä mainitun päivämäärän jälkeen ympäristöluvan varaisiin tai rekisteröityihin energiantuotantoyksiköihin. Ennen 1.1.2018 energiantuotantoyksiköihin sovelletaan kumottua valtioneuvoston asetusta. Valtioneuvoston asetusta 750/2013 on kuitenkin sovellettava energiantuotantoyksikköön siitä hetkestä alkaen, kun toiminnan olennaiseen muuttamiseen on haettu ympäristölupaa. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 20 §.) Uutta lupaa tulee hakea, jos toiminnan päästöihin tulee muutos tai muutos aiheuttaa päästöjen vaikutusten lisääntymistä. Lisäksi olennaiseen toiminnan muuttamiseen tulee olla uusi ympäristölupa. Lupaa ei ole tarpeen uusaa, jos muutokseen ei liity riskejä ympäristöön kohdistuvien vaikutusten kasvusta eikä syytä luvan tarkastukseen ole muustakaan syystä. (YSL 86/2000, 28§.)

Jos 1 – 5 megawatin lämpöä ja/tai sähköä tuottavia energiantuotantoyksiköitä on laitoksella useita, tarvitaan koko laitokselle ympäristölupa. Yksittäiselle 1 – 5 MW:n energiantuotantoyksikölle ympäristölupaa ei tarvita. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 1§.) Ympäristölupapäätöksen tekee aluehallintovirasto ympäristölupahakemuksen pohjalta. Valvonnasta vastaavana viranomaisena toimii elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 19§; Aluehallintovirasto 2016; Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2016.)

Valtioneuvoston asetuksen 750/2013 astuessa voimaan, käsittelyssä oleva kuulutettu ympäristölupahakemus tai rekisteröinti-ilmoitus käsitellään käsittelyn alussa voimassa olleiden säännösten mukaisesti. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 20§.) Rekisteröinti-ilmoituksen tulee sisältää toiminnanharjoittajan tiedot, kaavoitustiedot laitoksen yhteystiedot ja tiedot laitoksen olemassa olevista luvista sekä tiedot eri päästöistä ja jätehuollosta, polttoaineiden varastoinnista ja käytettävistä kemikaaleista. (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 3§.)

Rekisteröinti-ilmoitus on tehtävä laitoksille, joille ei Ympäristönsuojelulain 30§:n 4 momentin nojalla tarvita ympäristölupaa. Rekisteröinti-ilmoitus tehdään kunnan ympäristöviranomaisille. Ilmoitus toiminnasta on tehtävä 90 päivää ennen toiminnan aloittamista. Laitoksille, joita ei ole mainittu Ympäristönsuojelulain 30§:n 4 momentissa,

mutta joille ei tarvita erillistä ympäristölupaa on tehtävä ilmoitus toiminnan aloittamisesta hyvissä ajoin elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukselle. Rekisteröinti-ilmoitus on toimitettava, jos toiminnassa käytetään valtioneuvoston asetuksessa määritettyjä haitallisia aineita, jos toiminnasta voi mahdollisesti aiheuttaa haittaa ja pilaantumisen vaaraa ympäristölle tai jos laitoksen ympäristösuojeluvaatimuksista ja niiden vähimmäisvaatimuksista on säädetty valtioneuvoston asetuksella. (YSL 86/2000, 65§.)

### **3.1 Polttoaineen valinta päästörajat huomioon ottaen**

Valtioneuvoston asetus 750/2013 kiristää pienten polttolaitosten kohdalla sallittuja päästörajoituksia. Valitsemalla mahdollisimman vähäpäästöinen ja hiilineutraali polttoaine, jonka polttoprosessi on mahdollisimman tehokas, on mahdollista vähentää energiantuotantolaitoksen päästöjä ilmakehään. Tässä kappaleessa käsitellään kaasumaisia, nestemäisiä ja kiinteitä polttoaineita. Kaasumaisista polttoaineista käsitellään nestekaasu, maakaasu ja nesteytetty maakaasu eli LNG. Nestemäisistä polttoaineista käsittelyn kohteena ovat kevyt- ja raskaspolttoöljy sekä pyrolyysiöljy. Biomassaa käsitellään kiinteänä polttoaineena.

#### **3.1.1 Kaasumaiset polttoaineet**

Kaasumaisista polttoaineista puhuttaessa tarkoitetaan yleensä joko nestekaasua tai maakaasua (Raiko et al. 2002, 142). Tässä työssä tarkastellaan maakaasua, nestekaasua sekä nesteytettyä maakaasua eli LNG:tä. Kaasumaisien polttoaineiden palamisen savukaasupäästöissä typen oksidien määrä savukaasuissa on määräävä tekijä (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 1 Taulukko 1).

Maakaasu sisältää suurimmaksi osaksi metaania. Lisäksi kaasussa esiintyy pienempinä osuuksina muita hiilivetyjä sekä esimerkiksi rikkikaasua, joka on haitallista. Koska maakaasu on luonnonkaasu, sen koostumus vaihtelee sen mukaan, mistä se on peräisin. Suomeen suuri osa maakaasusta tuodaan Venäjältä ja Siperian maakaasukentältä peräisin oleva kaasu sisältää enemmän metaania, noin 98 %, kuin esimerkiksi Saksan kentiltä peräisin oleva maakaasu. (Raiko et al. 2002, 117.)

Maakaasua kuljetetaan kaasukentiltä käyttäjille putkistoa pitkin. Koska maakaasu on kokoonpuristuvaa ainetta, voidaan putkiston sisällä pidettävän paineen avulla säädellä putkiston halkaisijaa. Koska Suomeen tuotava maakaasu on lähes kokonaan metaania, sen kiehumispiste on hyvin alhainen  $-162\text{ °C}$ . Tämän vuoksi sen nesteyttäminen ja varastointi nestemäisessä muodossa on lähes mahdotonta. (Huhtinen et al. 2000, 37.) Koska maakaasun kuljetus tapahtuu putkiston avulla, tulee sitä käyttävän energiantuotantolaitoksen sijaita maakaasulinjan välittömässä läheisyydessä. Lisäksi hankala varastointi ja nesteyttämättömyys hankaloittavat sen käyttöä muualla kuin maakaasuputkiston varrella.

Nestekaasuja saadaan öljynjalostuksen sivutuotteena. Pienkulutukseen tarkoitettuja nestekaasuja ovat propaani ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) ja butaani ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ). Alle viidentoista bar:n paineessa nestekaasuja on mahdollista varastoida nestemäisessä muodossa. Varastonnin mahdollistaa kaasujen kiehumislämpötilat, jotka ovat propaanilla  $-42,1\text{ °C}$  ja butaanilla  $-0,5\text{ °C}$ . (Huhtinen et al. 2000, 37.) Koska nestekaasua voidaan nesteyttää, sen kuljettaminen on helpompaa kuin maakaasun. Nestekaasua voidaan kuljettaa kaasusäiliöautoilla, jolloin energiantuotantolaitoksen sijainti ei rajoita polttoaineen saatavuutta.

Kaasumaisten polttoaineiden kohdalla Valtioneuvoston asetuksessa 750/2013 rajoittavana päästönä ovat typenoksidit (Valtioneuvoston asetus 750/2013, Liite 1, Taulukko 1). Koska maakaasu ja nestekaasu eivät sisällä typpeä itsessään, syntyvät  $\text{NO}_x$ -päästöt, kun palamisilmassa oleva typpi reagoi tulipesässä hapen kanssa. Typenoksidin määrää savukaasuissa voidaan laskea alentamalla kattilan ja polttimen liekin palamislämpötilaa. Tähän tarkoitukseen voidaan pyrkiä esimerkiksi kierrättämällä savukaasuja takaisin kattilaan, jolloin tulipesän lämpötilaa voidaan alentaa.  $\text{NO}_x$ -päästöjä voidaan pienentää myös lisäämällä tulipesään jäähdyttäviä lämpöpintoja. Vaiheistamalla polttoa ja vähentämällä ilman esilämmitystä, on mahdollista laskea päästöjen typenoksidien määrää. (Huhtinen et al. 2000, 93-94.)

Nesteytetystä maakaasusta käytetään nimitystä LNG (liquefied natural gas). Nesteytettynä maakaasua voidaan kuljettaa laivoilla. Laivakuljetuksilla voidaan ratkaista pitkien putkistojen ongelmat sekä maaperän esteet maakaasuputken rakentamiselle. LNG nesteytetään jäähdyttämällä se alle  $-162\text{ °C}$ :seen. Kuljettava laiva on suunniteltu niin, että

se pystyy pitämään maakaasun nestemäisessä olomuodossa. Laivalla LNG voidaan kuljettaa terminaaliin, jossa se kaasuuntuu uudelleen ja tämän jälkeen se on mahdollista syöttää paikalliseen maakaasuverkostoon. LNG:tä voidaan jatkokuljettaa myös sitä varten suunniteltujen kuorma-autojen ja pienempien laivojen avulla. Nesteytetyn maakaasun käyttö polttoaineena vaatii energiantuotantolaitoksen sijaintia kohtuullisen kuljetusmatkan päässä LNG-terminaalista. Jos kuljetusmatkat kasvavat liian suuriksi nousevat myös kustannukset korkeiksi. (Jokinen et al. 2015, 423-424.)

### 3.1.2 Nestemäiset polttoaineet

Polttoöljyt voidaan jakaa kevyisiin ja raskaisiin polttoöljyihin niiden ominaisuuksien perusteella. Näistä ominaisuuksista tärkein on viskositeetti ja muita ovat esimerkiksi leimahdus- ja jähmepisteet. (Huhtinen et al. 2000, 34-35.)

Kevyet polttoöljyt ovat viskositeetiltaan juoksevia, jolloin niiden pumppaus ja liikkuminen polttoaineen syöttöputkistossa eivät vaadi öljyn lämmitystä. Koska kevyt polttoöljy ei kestä kylmää kovin hyvin, öljyalaatu tulee valita putkistossa vallitsevan alimman käyttölämpötilan mukaan. (Huhtinen et al. 2000, 34.) Kevyen polttoöljyn sisältämät komponentit ovat kaikki hyvin tislautuvia, joten öljyn haihtuminen liekissä on tehokasta. Tämä mahdollistaa öljyn puhtaan ja nopean palamisen sekä pienet savukaasupäästöt. (Jalovaara et al. 2003, 42.) Kevyt polttoöljy sisältää vähemmän rikkiä kuin raskas polttoöljy, jolloin sen aiheuttamat rikkidioksidipäästöt ovat raskasta polttoöljyä pienemmät. (Huhtinen et al. 2000, 45.) Kevyen polttoöljyn pieni rikkipitoisuus johtuu siitä, että raakaöljyn sisältämä rikki sitoutuu raskaisiin hiilivetyihin (Jalovaara et al. 2003, 42).

Raskaan polttoöljyn rikkidioksidipitoisuus aiheuttaa haasteita Valtioneuvoston asetuksen 750/2013 määrittelemien uusien päästörajoitusten suhteen. Valtioneuvoston asetus ei kiellä raskaan polttoöljyn käyttöä, mutta markkinoilla olevilla raskailla polttoöljyillä rikkipäästörajoituksiin ei ole mahdollista päästä. Tämä johtaa käytännössä siihen, että alle 50 MW:n energiantuotantoyksiköissä raskaan polttoöljyn käyttö loppuu kokonaan. (Polte 2015.) Raskaan polttoöljyn käytön loppuminen voi aiheuttaa taloudellisia lisäkustannuksia pienillä energiantuotantolaitoksilla, sillä raskaan polttoöljyn hinta on alhaisempi kuin esimerkiksi kevyen polttoöljyn (Jalovaara et al. 2003, 42).

Pyrolyysiöljy kuuluu bioöljyihin. Sitä valmistetaan kaasuttamalla biomassaa hapettomissa olosuhteissa ja lauhduttamalla syntynyt kaasu nesteeksi. Jos öljyä valmistetaan nopealla pyrolyysillä, biomassaa kuumennetaan noin 500 °C:seen hyvin nopeasti alle viidessä sekunnissa. (Solantausta et al. 2012, 233.) Bioöljyllä voidaan kaukolämpökohteissa korvata raskaan polttoöljyn käyttö (Lehto et al. 2014, 178).

Nykyiset polttimet ovat herkkiä polttoaineen laadulle ja koostumukselle. Laadun vaihtelu voi aiheuttaa ongelmia syttymisessä ja palamisen vakaudessa. Pyrolyysiöljyn laatuparametrien tulisi olla standardisoituja, jotta polttoprosessi voi toimia korkealla hyötysuhteella. (Lehto et al. 2014, 179.)

Pyrolyysiöljy eroaa ominaisuuksiltaan suuresti fossiilisista polttoaineista sekä kemiallisilta että fyysisiltä ominaisuuksiltaan. Siinä on tyypillisesti korkea vesipitoisuus ja joissain tapauksissa voi sisältää huomattavia määriä kiintoaineita. Sen tiheys on myöskin suurempi kuin fossiilisten polttoaineiden. Bioöljyt ovat ominaisuuksiltaan happamia ja niiden lämpöarvo on vain puolet verrattuna kevyen ja raskaan polttoöljyn lämpöarvoon. Öljyn ominaisuuksien vuoksi sen käyttö polttoaineena aiheuttaa erilaisia laitesovellutuksia kuin mineraalisten polttoöljyjen käyttö. (Lehto et al. 2014, 179.)

Pyrolyysiöljyn korkea vesipitoisuus aiheuttaa polttoaineen matalan energiatihedden ja laskee adiabaattista palamislämpötilaa sekä paikallisia palamislämpötiloja. Suuri vesipitoisuus vaikeuttaa lisäksi sytyttämistä. Lisäksi esilämmitys voi saada polttoaineen sisältämän veden haihtumaan ennen aikojaan, jolloin se voi aiheuttaa ongelmia polttoaineen syöttölinjaan. Suuri vesipitoisuus kuitenkin laskee sekä polttoaineen viskositeettia, että typpioksidipäästöjä. Palamattomien päästöt voivat laskea veden johdosta, mutta liian suuri vesipitoisuus vaikuttaa negatiivisesti palamisen vakauteen. (Lehto et al. 2014, 180.)

Pyrolyysiöljyn heikkouksiin kuuluu se, että varastoinnin aikana sen sisältämät kiintoaineet laskeutuvat polttoaineen varastointisäiliön pohjalle. Öljy voi aiheuttaa myös eroosiota pumppuihin. Kiintoaineiden vuoksi poltinsuuttimet voivat mahdollisesti tukkeutua. (Lehto et al. 2014, 180.)

### 3.1.3 Kiinteät polttoaineet

Biomassa on alkuperältään orgaanista, joko elävää tai kuollutta orgaanista materiaalia (Spielthoff 2010, 31). Kiinteisiin biopolttoaineisiin kuuluu monia eri polttoaineita (Jones et al. 2014, 9). Näitä ovat esimerkiksi puuperäiset polttoaineet, olki, jättepolttoaineet ja merilevä. Jyrkän katsomuksen mukaan esimerkiksi turvetta ja lantaa ei lasketa kiinteäksi biomassaksi. Biomassan käyttö polttoaineena on alun perin perustunut sen helppoon saatavuuteen. 1900-luvulla sen käyttöä rajoitti fossiilisten polttoaineiden lisääntynyt kulutus. (Williams et al. 2012, 114-115.) Jättepolttoaineiden laskeminen biopolttoaineiksi vaihtelee valtioiden välillä, erinäisten määräysten tiukkuuden mukaan (Spielthoff 2010, 31).

Kiinteiden biopolttoaineiden polton kehittämisen tavoitteena on parantaa palamisen termistä hyötysuhdetta. Tähän pyritään parantamalla polttoaineen ja ilman sekoittumista ja parantamalla sekundääri-ilman kiertoa. Näillä parannuksilla on mahdollista vähentää ilmaan pääseviä päästöjä, sillä palaminen on tällöin täydellisempää ja puhtaampaa. (Jones et al. 2014, 9-24.)

Teollisuudessa käytetään biomassaa polttoaineena eniten maailmassa. Teollisuuden käyttämää biomassaa ovat paperi- ja selluteollisuuden sivutuotteet. Biomassan käytön osapolttoaineena tai sen käyttäminen yksistään energiantuotantolaitosten polttoaineena voidaan olettaa lisääntyvän. Syynä biomassan käyttöön voidaan pitää sen polttamisen aiheuttamia pieniä kasvihuonekaasupäästöjä fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna. Kuitenkin biopolttoaineiden tuotannon ja toimittamisen kasvihuonekaasupäästöt, kuten hiilidioksidi-, typenoksidi- ja metaanipäästöt, tulisi ottaa huomioon ilmastoon aiheutuvia vaikutuksia tutkittaessa. (Jones et al. 2014, 9-24.)

Biomassan kosteuspitoisuutta voidaan pitää korkeana esimerkiksi suhteessa muihin kiinteisiin polttoaineisiin kuten kivihiileen. Oljen ja muiden viljakasvien kosteusprosentti on heti korjuun jälkeen noin 40 %, mutta muutaman päivän kuluessa se voi laskea alle 20 %:iin pellolla. Kosteusprosentin laskeminen riippuu myös esimerkiksi säästä. (Spielthoff 2010, 43.) Jos ilman kosteuspitoisuus on suurempi kuin normaalioloissa, tapahtuu biomassan kuivuminen ilman suojaavaa rakennetta hitaammin kuin normaalin ilmankosteuden vallitessa.

Puupolttoaineiden sisältämä kosteuspitoisuus on tuoreena yleisesti noin 40 – 60 %. Kosteuspitoisuuden laskemiseen voidaan käyttää puunkuivaamista kokonaisena metsässä ennen toimitusta loppukäyttökohteeseen tai palakokoisena kuivattamista varastointialueella loppukäyttökohteessa. Kuivaus voi tapahtua luonnollisesti tai esimerkiksi ilmastoinnilla avustettuna. (Spielthoff 2010, 43.) Puupolttoaineiden ja muun biomassan energiantuotannon kannalta tärkeiden ominaisuuksien parantamiseen voidaan käyttää erästä biomassan jalostusteknologiaa eli torrefiointia. Torrefioinnissa biomassaa lämpökäsitellään olosuhteissa, joissa ei ilmene happea. Tällöin on mahdollista saada aikaan ominaisuuksiltaan kivihiiiltä muistuttava polttoaine, joka on kivihielestä poiketen hiilineutraalia. (Föhr et al. 2015, 3.)

## **3.2 Mahdolliset muutokset energiantuotantoyksiköiden laitekannoissa eri polttoainetyypeillä**

Erilaiset polttoaineet aiheuttavat erilaisia tarpeita energiantuotantolaitosten laitekantoihin. Tarpeet voivat johtua niin turvallisuustekijöistä kuin ideaalisen palamisprosessin saavuttamisesta ja päästöjen vähentämisestä Valtioneuvoston asetuksen 750/2013 sallimalle tasolle. Erilaisilla laitekantaan kohdistuvilla valinnoilla ja parannuksilla voidaan parantaa niin polttoaineen laatua kuin energiantuotantolaitoksen hyötysuhdettakin.

### **3.2.1 Kaasumaiset polttoaineet**

Nestekaasu ja maakaasu ovat verrattavissa toisiinsa polttoaineina. Niitä ei kuitenkaan voida polttaa samanlaisissa polttimissa ilman, että polttimille suoritetaan joitain säätömuutoksia. (Raiko et al. 2002, 449.) Polttimiin tarvittavat muutokset johtuvat kaasujen erilaisista tiheyksistä (Huhtinen et al. 2000, 37). Ainoita päästöjä joita maakaasun polttamisesta syntyy ovat typenoksidien päästöt. Niitä voidaan kuitenkin vähentää kierrättämällä savukaasuja palamisilmaan, käyttämällä polttimia, joista syntyy kaksivaiheinen liekki sekä vaiheistamalla palamista tulipesässä yläilmalla. (Raiko et al. 2002, 452.)

Maakaasun ominaisuuksiin kuuluu se, että se on väritöntä ja hajutonta. Vuodon havaitsemisen helpottamiseksi lisätään kaasun sekaan yleensä jokin hajuste



paineenvähennysaseman yhteydessä. Jos maakaasua ei ole hajustettu, tulee energiantuotantolaitoksella sen käyttölaitteiden yhteyteen asentaa vuodonilmaisimet. (Huhtinen et al. 2000, 37 & 56.)

Koska maakaasun tiheydet ovat erilaiset, kuten edellä on todettu, tulee vuototilanteiden varalta suunniteltava tuuletusjärjestelmäkin rakentaa niin, että tämä seikka on otettu huomioon. Maakaasu on tiheydeltään ilmaa kevyempää, joten vuotaessaan esimerkiksi huonetilaan se nousee katonrajaan. Nestekaasu on puolestaan ilmaa raskaampaa, joten se painuu vuototilanteessa lattianrajaan. (Huhtinen et al. 2000, 37.)

### 3.2.2 Nestemäiset polttoaineet

Raskaan polttoöljyn viskositeetti on hyvin suuri, jonka vuoksi se tulee lämmittää ennen käyttöä. Raskaan polttoöljyn ominaisuuksia ovat korkean viskositeetin lisäksi korkea ominaispaino, suuret hiilijäämät, raskasmetallipitoisuus sekä typpi- ja rikki- pitoisuudet. Rikkistä muodostuu polttoprosessin aikana rikkidioksidia sen reagoidessa hapen kanssa. Näistä tekijöistä johtuen raskas polttoöljy on halvempaa kuin esimerkiksi vähemmän päästöjä aiheuttava kevyt polttoöljy. (Seljeskog et al. 2013, 7232; Jameel et al. 2017, 183.)

Kevyen polttoöljyn varastoinnissa ja pumppauksessa ei tarvita lämmönvaihdinta tekemään polttoaineesta lämpimämpää ja juoksevampaa, koska kevyen polttoöljyn viskositeetti ei huoneenlämmössäkään ole suuri. Raskaan polttoöljyn kanssa tilanne on toinen. Huoneenlämmössä se on liian jähmeää käsiteltäväksi. Tämän vuoksi raskasta polttoöljyä on lämmitettävä ja käytettävä kiertoöljyjärjestelmää, jotta polttoaineen viskositeetti on käsiteltävällä tasolla. (Huhtinen et al. 2000, 35; Raiko et al. 2002, 439-441.) Kiertoöljyjärjestelmässä raskas polttoöljy pidetään jatkuvassa liikkeessä, vaikka poltin ei olisikaan toiminnassa (Huhtinen et al. 2000, 51).

Jotta varastointi ja pumppaus onnistuisi öljysäiliöt lämpöeristetään. Öljyn lämmitykseen on kaksi tapaa. Joko säiliössä olevaa öljyä lämmitetään säiliön pohjalla olevalla putkilämmönvaihtimella. Toisessa vaihtoehdossa putkistoon menevä öljy lämmitetään imukuumentimella, jolloin lämpöhäviöt ovat pienemmät kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa. (Huhtinen et al. 2000, 49.)

Pyrolyysiöljyä ei lämmitetä tankissa pumppauslämpötilaan kuten raskasta polttoöljyä, vaan syöttöputkistossa juuri ennen polttoa. Pyrolyysiöljyä lämmitetään ennen polttamista, jotta sen viskositeetti ja pintajännitys laskisivat. Bioöljyn kohdalla liian pitkäaikainen lämmitys voi johtaa polttimien suutinten tukkeutumiseen ja aiheuttaa ennen aikaista höyrystymistä. (Lehto et al. 2013, 50.)

Pyrolyysiöljy sisältää paljon kiintoaineita, joten sen käsittelyssä on otettava huomioon, etteivät järjestelmät tukkeennu niiden vuoksi. Esimerkiksi pumppaukseen tarvitaan suodatin kiintoaineiden vähentämistä varten. Polttimien suuttimet pitää pyrolyysiöljyn käytön yhteydessä uusia 1000 litran käyttövälein. (Lehto et al. 2013, 64.) Hapan pyrolyysiöljy voi myös aiheuttaa korroosiota (Lehto et al. 2013, 18). Koska pyrolyysiöljys sisältää kiintoaineita voidaan niiden olettaa laskeutuvan varastoinnin aikana säiliön pohjalle. Ratkaisuna tähän voidaan olettaa olevan säiliön pohjalle asennettava sekoitin.

Öljyn tiheys on pienempi kuin veden ja tämän vuoksi öljyn sisältämä vesi kerrostuu varastoinnin aikana säiliön pohjalle. Säiliön pohjan tyhjennysventtiilin kautta säiliön pohjalle kerrostunut vesi tulee poistaa säännöllisin väliajoin. (Huhtinen et al. 2000, 51.)

Raskaan polttoöljyn poltosta syntyy rikkipäästöjä ilmakehään. Jäähdyneistä savukaasuista voidaan rikin määrää kuitenkin vähentää. Rikin määrää savukaasuissa voidaan vähentää märkäpesureilla, puolikuivapesureilla, regeneroivilla menetelmillä ja rikki- ja typpioksidien yhteispoistolla. Savukaasupesurit ovat suuria laitteistoja, jotka vaativat energiantuotantolaitokselta tilaa, huoltoa sekä sähköä toimiakseen. Investointikustannuksen lisäksi niihin liittyy aina nämä edellä mainitut ylläpitokustannukset. (Raiko et al. 2002, 350-351.)

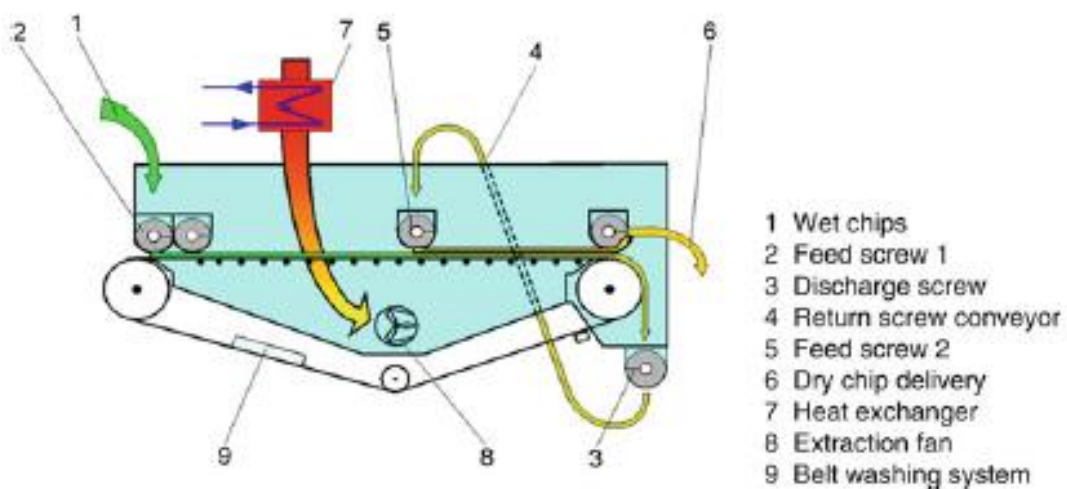
### 3.2.3 Kiinteät polttoaineet

Kiinteinä polttoaineina käsitellään tässä kappaleessa biomassaa ja varsinkin puuperäisiä polttoaineita. Kaikki biopolttoaineet eivät sovellu kosteutensa vuoksi ilman kuivausta suoraan poltettavaksi (Gebreegziabher et al. 2013, 67). Monet biopolttoaineet sisältävät muihin kiinteisiin polttoaineisiin verrattuna runsaasti vettä. Tämän vuoksi niiden lämpöarvo on heikompi ja kuljettaminen veden aiheuttaman massan vuoksi kalliimpaa kuin muilla vastaavilla fossiilisilla kiinteillä polttoaineilla. (Föhr et al. 2015, 3.)

Biomassan kuivaaminen ennen polttoa nostaa kattilan hyötysuhdetta, parantaa käytettävyyttä ja laskee päästöjen määrää ilmaan. Polttoaineen korkea kosteuspitoisuus laskee palamislämpötilaa polttokammiossa, josta aiheutuu epätäydellistä palamista ja epätoivottuja palamisen reaktiotuotteita. Kuivauksen avulla biomassan kosteusprosentti voidaan saada laskemaan 40 – 60 %:sta alle 15 %:iin. (Gebreegziabher et al. 2013, 67.)

Puupolttoaineita voidaan kuivata metsässä hakkualueen läheisyydessä kasoissa tai varastoinnin yhteydessä luonnollisesti (Spielthoff 2010, 43). Luonnollisessa kuivauksessa ei käytetä apuvälineitä puun kosteuspitoisuuden vähentämiseksi. Tämän vuoksi luonnonkuivauksesta ei myöskään aiheudu kustannuksia.

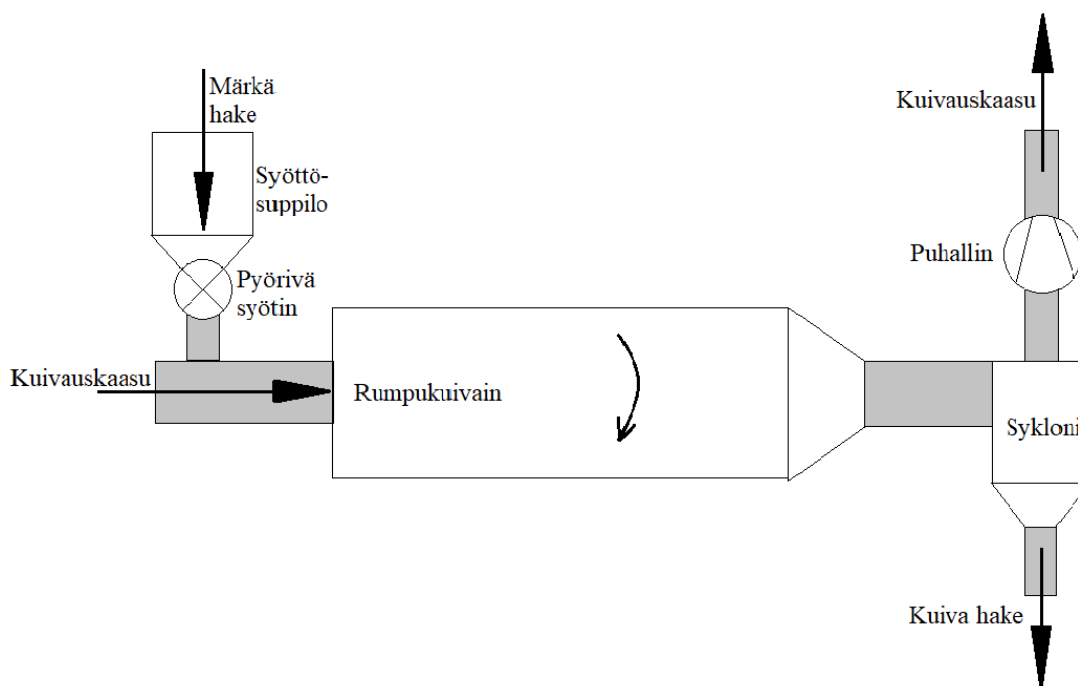
Biomassan kuivattamiseen on monia erilaisia teknologioita, joiden valintaan vaikuttaa se, kuinka alhaiseksi polttoaineen kosteusprosentti halutaan saada. Kaksi yleisesti käytettyä kuivainmallia ovat hihna- ja rumpukuivain. (Döring 2013, 99.) Hihnakuivaimessa 90 - 110 °C ilma johdetaan hihnalla kulkevien paloittelun biomassan ja kuivaushihnan läpi. Ilma lämmitetään lämmönvaihtimessa. Lämpimän ilman kulkiessa paloittelun biomassan läpi sen kosteusprosentti pienenee. (Döring 2013, 102.) Kuvassa 1 on nähtävissä hihnakuivaimen rakenne ja perusperiaate.



**Kuva 1:** Hihnakuivaimen rakenne ja toimintaperiaate (Döring 2013, 104).

Rumpukuivaimet voidaan jakaa suoraan ja epäsuoraan kuivaimiin. Suorassa rumpukuivaimessa sekä kuivaava kaasu että biomassa kulkevat kuivaimen läpi niin, että

niiden suunta ei muutu. Epäsuorassa kuivaava kaasu ja biomassa eivät kosketa toisiaan. Kuivaavien kaasujen lämpötila ennen kuivaimeen syöttämistä on 400 – 450 °C. Kuivaavana kaasuna voidaan käyttää ilmaa tai savukaasuja. (Döring 2013, 105.) Rumpukuivain pyörii, jolloin biomassa nousee hitaasti pyörivän rummun seinämän mukana ylös ja tippuu kuivaavien kaasujen läpi taas rummun pohjalle (Roitto 2014, 48). Kuvassa 2 voidaan nähdä rumpukuivaimen toimintaperiaate.

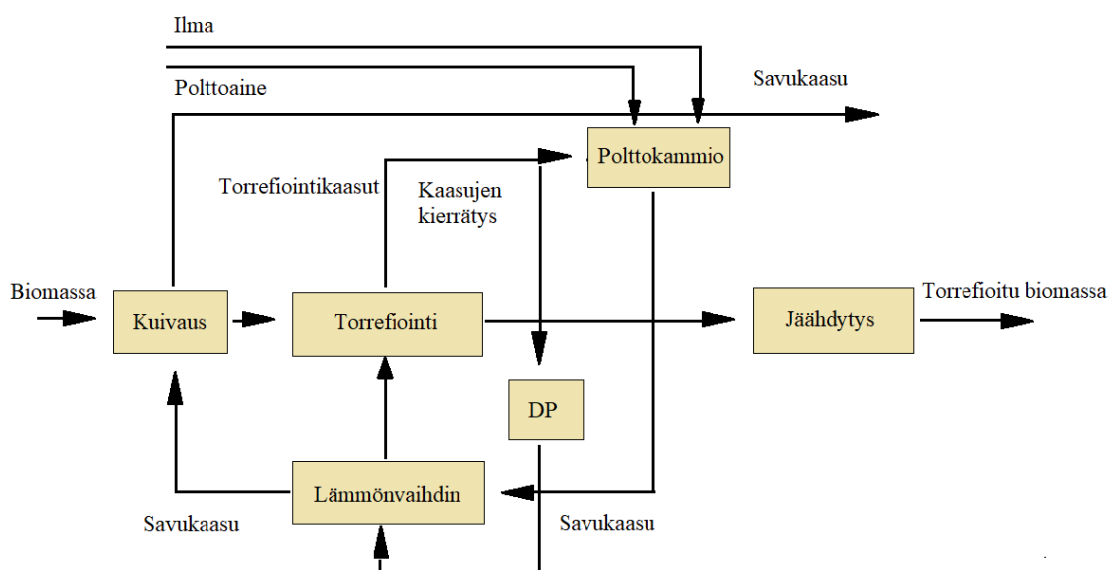


**Kuva 2:** Rumpukuivaimen toimintaperiaate (Roitto 2014, 48).

Kuivauksen lisäksi biomassan ominaisuuksia voidaan parantaa torrefioinnin avulla. Torrefiointi on biomassan lämpökäsittelyä 200 – 300 °C:ssa olosuhteissa, joissa ei ole happea (Acharya et al. 2012, 349). Käsittelyn aikana biomassasta haihtuu vettä ja osa haihtuvista aineista. Koska nämä yhdisteet eivät haihdu enää polttoprosessissa esikäsittelyn ansiosta, saadaan biomassalle parempia ominaisuuksia kuin mitä sillä tuoreena olisi. (Föhr et al. 2015, 3-5.) Torrefioitua biomassaa voidaan pitää tulevaisuudessa hiilineutraalina vaihtoehtona hiilelle (Acharya et al. 2012, 349).

Torrefiointi voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen. Ensin biomassa paloitellaan tasaiseksi palakooltaan. Tämän jälkeen paloiteltu biomassa kuivataan, jolloin sen kosteuspitoisuus saadaan laskemaan ennen esikäsittelyn biomassan ohjaamista torrefiointi reaktoriin. Käsittelyn jälkeen biomassa voidaan pelletöidä, jolloin sen kuljettaminen ja varastointi

sekä osapoltto ovat helpompia toteuttaa. Jos torrefiointireaktori sijaitsee energiantuotantolaitoksen yhteydessä, voidaan torrefiointikaasut ohjata suoraan reaktorista polttokammioon. Myös varsinaisessa palamisessa syntyviä savukaasuja voidaan käyttää biomassan kuivaukseen. (Acharya et al. 2012, 352.) Torrefiointilaitoksen käyttö osana energiantuotantolaitosta on nähtävissä periaatteellisesti kuvassa 3.



**Kuva 3:** Periaatekuva tilanteesta, jossa torrefiointireaktori on sijoitettu energiantuotantolaitoksen yhteyteen (Acharya et al. 2012, 352).

### 3.3 Hevosen lannan mahdollinen käyttö osapolttoaineena

Tämä työ on toteutettu osana HevosWoima -tutkimusta, jossa tutkitaan hevosenlannan käyttöä energiantuotannossa Etelä-Savon alueella. Vuoden 2016 alusta voimaan tulleen lain mukaan biohajoavaa jätettä ei saa toimittaa kaatopaikoille eikä levittää kalteville pelloille. Tämä on aiheuttanut haasteita yrityksille, jotka toimivat hevosalalla. Hevosenlannan ja kuivikkeen sekoituksen polttaminen Suomessa on sallittua vain jätteenpolttolaitoksilla, joissa on käytössä jatkuvatoimiset savukaasupäästöjen mittauslaitteistot. Kuivikkeen ja lannan käyttäminen osana energiantuotantoa, lisää biomateriaalien lisäarvoa kiertotalouden osana. (Tanskanen 2017, 95.)

Hevosenlanta voidaan biopolttoaineena luokitella myöskin uusiutuvaksi polttoaineeksi. Lannan ja kuivikkeen sekoituksen käytön lisääminen energiantuotannossa vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Uusiutuvuuden lisäksi kuivikelanta on myös

hiilineutraalia polttoainetta, sillä kasvimateriaalina siihen on kasvun aikana sitoutunut hiilidioksidia, joka vapautuu polton aikana. Kuivikelannan käytön positiiviset vaikutukset ympäristölle eivät rajoitu vain ilmastonmuutoksen hillintään hiilineutraaliuuden ansiosta, vaan kuivikelannan poltto säästää vesistöjä. Kun hevoselantaa ei levitetä pelloille, joista se voi valua sateiden mukana pintavesiin, pintavesien kuormitus vähenee. (Tanskanen 2017, 99.) Hevoselanta saattaa sisältää lääkejäämien lisäksi rikkaruohojen siemeniä ja loiseläimiä. Energiantuotannossa käytettäessä nämä epätoivotut ainekset eivät pääse maaperään, jolloin maaperän laadun on mahdollista pysyä parempana. (Tanskanen 2017, 63.)

### 3.3.1 Hevoselannan lämpöarvo

Lämpöarvo kertoo täydellisesti palaneesta polttoaineesta vapautuneen lämpöenergian määrän ja on näin ollen tärkein polttoaineen ominaisuus. Kiinteillä polttoaineilla kuten hevoselannalla lämpöarvo ilmaistaan yleensä energiana massayksikköä kohden [MJ/kg]. (Raiko et al. 2002, 122-123.)

Polttoaineena kuivikelanta voi ajoittain olla hyvinkin kosteaa johtuen lannan sisältämästä kosteudesta sekä kuivikkeena käytetyn materiaalin esimerkiksi puun sisältämästä kosteudesta. Lisäksi polttoaineen kosteuteen vaikuttaa se, missä ja miten kuiviketta ja lopulta kuivikelantaa varastoidaan. Ulkotiloissa ilman suojaa varastoitu polttoaine on kosteampaa kuin suojapeitteellä suojattu. Tämän vuoksi ennen polttoprosessiin syöttämistä polttoainetta tulisi prosessissa kuivattaa. (Lundgren, Pettersson 2009, 3122.) Kuivikelannan kosteuspitoisuus on yksi merkittävimmistä ominaisuuksista, sillä se vaikuttaa suoraan polttoaineen alempaan eli teholliseen lämpöarvoon. (Raiko et al. 2002, 122-123.)

Ruotsalaisen yliopiston ”The Swedish University of Agricultural Sciences” Uumajassa on tehnyt tutkimusta ja selvittänyt eri eläinten lantojen kemiallisia ominaisuuksia, joilla on merkitystä erityisesti energiantuotannon ja polton kannalta. Kuivikelannan alempi lämpöarvo tämän tutkimuksen mukaan on 18,14 MJ/kg ja ylempi lämpöarvo 19,37 MJ/kg. (Lundgren, Pettersson 2009, 3123-3124.)

### 3.3.2 Kuivikemateriaalit

Kuivikemateriaaleina käytetään yleisimmin sahanpurua, puulastuja, pellettejä tai turvetta sekä joskus paperia. Kuivikeaineen valintaan vaikuttaa materiaalin saatavuus ja sen hinta. Kuivikemateriaalin määrä vuosittain hevosta kohden vaihtelee paljolti. Tähän syynä on omistajien erilaiset tavat ja tottumukset karsinan siivouksen suhteen. (Lundgren, Pettersson 2009, 3121.)

Kuivikemateriaalit voidaan jakaa kasvi- ja puupohjaisiin materiaaleihin. Kasvipohjaisiin kuuluvat esimerkiksi olki ja turve. Puupohjaisiin kuivikemateriaaleihin voidaan lukea kutteri, sahanpuru ja silputtu paperi. Kuivikkeen laadun parametrejä ovat sen sitomiskyky veden ja ammoniakkin suhteen sekä sen hygieenisuus. (Airaksinen 2006, 20.)

Kuivikkeen kustannukset koostuvat useasta eri osatekijästä. Kustannuksiin vaikuttavat itse kuivikkeen hinta, kuljetus- ja varastointikustannukset sekä työkulut, jotka kuivikkeen kanssa työskentelyyn kuluva. Vuosittain kuivikkeen hinnaksi hevosta kohden on arvioitu 100-140 euroa. (Airaksinen 2006, 23.)

### 3.3.3 Hevosenlannan polton kannattavuus pienen polttoainetehon energiantuotantolaitoksissa

Hevosen lantaa voidaan olettaa olevan mahdollista polttaa arinakattiloissa, leijukerroskattiloissa ja pölyksi jauhettuna poltinkattilassa. Suomessa hevosenlantaa on sallittua polttaa vain jätteenpoltoon tarkoitetuissa energiantuotantolaitoksissa, joissa on käytössä jatkuvatoimiset savukaasupäästöjen mittausjärjestelmät (Tanskanen 2017, 42). Termiseltä teholtaan alle 5 megawatin energiantuotantolaitoksissa arinapoltto on Suomessa kiinteille polttoaineille yleisin polttotapa. Viimeisen neljän vuosikymmenen aikana termiseltä teholtaan yli 5 MW:n energiantuotantolaitoksilla leijukerrospolton käyttö on yleistynyt. (Raiko et al 2002, 466.) Kiinteän polttoaineen polttamiselle poltinkattilassa on annettu taloudellinen minimikoko, joka on 50 – 100 MW<sub>p</sub> (Raiko et al. 2002, 455). Tässä työssä käsiteltyjen energiantuotantolaitosten koko on polttoaineteholtaan maksimissa 50 MW, joten poltinkattilan käyttöä kuivikelannan poltossa ei käsitellä tässä työssä.

Hevosenlannan kosteus on noin 45 – 65 % riippuen siitä varastoidaanko kuivikelanta ulkona ilman peitettä vai peitteen alla (Lundgren, Pettersson 2009, 3122). Arinakattilan

mitoituksessa polttoaineen kosteutta voidaan pitää yhtenä merkittävimmistä tekijöistä. Tällöin suuri osuus arinan pinnasta kuluu polttoaineen kuivumiseen ennen varsinaista palamista. Pitkä kuivumiseen kulunut aika aiheuttaa sen, että tulipesän lämpötila laskee. Tämän vuoksi olisi otollista, että polttoaine saapuisi kattilaan mahdollisimman kuivana. (Raiko et al. 2002, 467.)

Turpeen kosteus on kolmenkymmenen ja kuudenkymmenen prosentin välillä (Raiko et al. 2002, 467). Koska turve on kosteudeltaan suurilta osin verrattavissa kuivikelannan kosteuteen, voidaan kustannukset olettaa pienimmiksi, jos turvetta arinakattilaitoksella osapolttoaineena käytävä laitos ottaisi hevosen kuivikelannan osapolttoaineeksi. Tällöin arina olisi valmiiksi mitoitettu tarpeeksi kostealle polttoaineelle eikä rakenteellisia muutoksia tarvitse tehdä. Laitoksen täytyy kuitenkin olla luokiteltu jätteenpolttolaitokseksi. Jos laitos ei ole jätteenpolttolaitos ja haluaa ottaa kuivikelannan osapolttoaineeksi, savukaasujen puhdistusjärjestelmien mahdollinen päivitys ja jatkuvatoimisen mittausjärjestelmän lisääminen voivat aiheuttaa mittavia investointikustannuksia.

Leijukerroskattiloissa voidaan polttaa energiatehokkaasti hyvinkin kosteita polttoaineita, jotka ovat laadultaan vaihtelevia (Energia Suomessa 2004, 239). Leijukerrospoltoissa laadultaan huonotkaan polttoaineet eivät vaadi esikäsittelyä. Polttotavassa myös palamattomien päästöjen sekä typenoksidien määrät saadaan pidettyä vähäisinä savukaasuissa. Rikinpoisto on myös edullista. (Raiko et al. 2002, 490.) Leijukerroskattilat ovat oivallisia yli 5 MW:n kiinteää polttoainetta käyttäville energiantuotantolaitoksille. Jos tällainen polttolaitos on valmiiksi jätteenpolttolaitokseksi luokiteltu, voidaan olettaa, että kuivikelannan ottaminen laitoksen osapolttoaineeksi on helppoa ja mahdollisesti myös edullista, sillä suuria investointeja ei ole tarpeen tehdä.



## 4 CASE KAUTTUA

Tarkastelun kohteena toimiva Kauttuan voimalaitos on otettu käyttöön 1950-luvulla. Sen tarkoituksena on tuottaa läheisten teollisuusyritysten tarpeisiin prosessihöyryä ja lisäksi laitos tuottaa kaukolämpöä Euran kunnan alueelle. Voimalaitos tuottaa myös sähköä valtakunnanverkkoon. Kaukolämmön ja prosessihöyryn tuottaa pääasiassa polttoaineteholtaan 65 megawatin Pyroflow kiertoleijupetikattila. Tässä pääkattilassa rinnakkaispolttoaineina käytetään kierrätyspolttoaineita (SRF), biopolttoaineita, turvetta ja kivihiiltä. (Aluehallintovirasto 2015, 10.)

Laitoksen varakattila, joka toimii tässä työssä esimerkkikohteena, on raskasta polttoöljyä polttoaineenaan käyttävä 49 MW:n poltinkattila. Käynnistystilanteissa ja varapolttoaineena käytetään myös kevyttä polttoainetta. Varakattilaa käytetään vika- ja häiriötilanteissa sekä seisakkien aikana lämmön ja prosessihöyryn tuotantoon. Sähköntuotantoon sitä ei käytetä ollenkaan. (Aluehallintovirasto 2015, 10, 12 & 15.) Taulukossa 3 on nähtävissä vuosina 2008 – 2013 Thermoflow-öljykattilan lämmöntuotanto gigawattitunteina vuodessa (GWh/a) ja sähkön tuotantoon käytetyn höyryn tuotanto.

**Taulukko 3:** Kauttuan voimalaitoksen varakattilan lämmön- ja sähköntuotanto vuosittain (Aluehallintovirasto 2015, 11).

### Termoflow -öljykattila

Vuosi	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Lämmöntuotanto	57,8	16,9	20,0	21,2	24,1	27,0
Höyry sähköntuotantoon	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Taulukosta 4.1 voidaan nähdä, että vuonna 2008 varakattilalla on tuotettu lämpöä huomattavasti enemmän lämpöä loppuasiakkaalle prosessihöyrynä kuin vuosina sen jälkeen. Vuonna 2009 lämmöntuotanto varakattilalla on minimissä ja silloin sitä on tuotettu 16,9 GWh/a. Tämän jälkeen tuotetun lämmön määrä on kasvanut jälleen, mutta maltillisesti. Sähköä varakattilalla ei koko tänä aikana ole tuotettu. Varakattilalla tuotetun lämmön määrä korreloi siihen kuinka paljon huoltokatkoja pääkattilalla on kunakin vuonna ollut ja onko ollut tarvetta huippuvoimalle. Taulukossa 4 esitetään Adven Oy:n Kauttuan voimalaitoksen kattiloiden perustiedot.

**Taulukko 4:** Adven Oy:n Kauttuan voimalaitoksen kiertoileijukattilan ja öljykattilan perustiedot (Aluehallintovirasto 2015, 12).

<b>Kattila</b>	<b>Polttoaineteho</b>	<b>Tuorehöyry</b>	<b>Valmistaja</b>	<b>Käyttöönottovuosi</b>
Pyroflow-kiertoileijukattila	65 MW, peruskuorma	23 kg/s, 80 bar, 470 °C	A. Ahlström, Varkaus	1981
Termoflow-öljykattila	49 MW, varakattila	18 kg/s, 49 bar, 315 °C	A. Ahlström, Varkaus	1992

Öljykattilaa käytetään vuodessa noin 1000 tuntia, joka koostuu suurimmaksi osaksi Pyroflow-kattilan vuotuisesta 3-4 viikon huoltoseisakista. Ajopäiviä varakattilalle kertyy siis vuosittain noin 40-50 kappaletta. (Aluehallintovirasto 2015, 11.)

Poltinkattilassa on käytössä vesiputkirakenne. Kattilan kaksi öljypoltinta ovat täysautomaattiset ja pyörivähajoitteiset. Sekä pää- että varakattilan savukaasut johdetaan samaan savupiippuun. (Aluehallintovirasto 2015, 13.)

#### 4.1 Polttoaineen valinta

Adven Oy:n Kauttuan voimalaitoksella Valtioneuvoston asetus 750/2013 pakotti vaihtamaan varakattilana toimivan poltinkattilan polttoaineen raskaasta polttoaineesta vähärikkisempään vaihtoehtoon. Korvaavan polttoaineen tuli aiheuttaa laitoksella mahdollisimman pieniä muutoksia nykyisiin laitteisiin. Polttoaineen vaihdossa pyrittiin kustannustehokkaaseen ratkaisuun. (Heikkilä & Kauppi 2017.)

Raskaan polttoöljyn korvaavalta polttoaineelta toivottiin alle 0,5 % rikkipitoisuutta ja sen haluttiin olevan mahdollisimman paljon entisen käytössä olleen öljyn kaltainen. Suuria muutoksia polttoaineen koostumukseen ja ominaisuuksiin ei haluttu. Vaihtoehtona ei esimerkiksi ollut siirtyminen pyrolyysiöljyyn tai pellettiin. Näitä suuria muutoksia ei haluttu tehdä, sillä ne vaatisivat savukaasujen puhdistusjärjestelmän hankintaa, jota varakattilalla ei parhaillaan ole. (Heikkilä & Kauppi 2017.) Varakattila on toiminnassa vuosittain noin 1000 tuntia, joten suurten rahallisten investointien tekeminen pienen vuosittaisen käyttöajan energiantuotantojärjestelmään ei pidetty järkevänä.

Vaihtoehtoja korvaavaksi polttoaineeksi oli useampia. Raskaan polttoöljyn korvaajaksi oli vaihtoehtona kevyt polttoöljy, kevyen ja raskaan polttoöljyn seos, rikitön raskas

polttoöljy sekä nestekaasu. Nestekaasua ei valittu koska sen varastointi olisi kallista ja kaasuputkistot laitosalueella pitkiä. (Heikkilä & Kauppi 2017.)

Uudeksi polttoaineeksi Thermoflow-varakattilassa Adven Oy päätyi raskaaseen rikittömään polttoöljyyn, Nesteen valmistamaan Tempera 11 -öljyyn. Valintaan päädyttiin, koska uuden polttoaineen toiminta nykyisissä laitteissa oli hyvä, suuria muutoksia ei tarvittu ja sen hinta on kohtuullinen. Tempera 11 on viskositeetiltaan juoksevampaa kuin raskas polttoöljy, joten se tarvitsee lämmittää ennen kattilaan syöttämistä vain 40 °C:seen. (Heikkilä & Kauppi 2017.) Tällöin kattilassa tuotettua höyryä ja sen myötä lämpöenergiaa kuluu vähemmän öljyn lämmitykseen ja enemmän saadaan loppuasiakkaalle prosessihöyryä. Uuden polttoaineen käyttöönotolla voidaan olettaa päästävän Valtioneuvoston asetuksen 750/2013 päästöraja-arvoihin.

#### **4.2 Vaikutus laitekantaan**

Tempera 11 valinta raskaan polttoöljyn korvaajaksi ja Valtioneuvoston asetus 750/2013 aiheuttavat laitoksella muutamia muutoksia. Koska NO<sub>x</sub> -päästöjä tulee myös valtioneuvoston asetuksen mukaan alentaa, öljykattilan polttimet modernisoidaan. Lisäksi asetuksessa 750/2013 esitettyjen suoja-altaan kokovaatimusten vuoksi, laitosalueella sijaitsevaa öljysäiliötä pienennetään, jotta sen suoja-allastus on jatkossakin riittävä. (Heikkilä & Kauppi 2017.) Valtioneuvoston asetuksen mukaan öljysäiliön suoja-altaan tulee olla kymmenen prosenttia suurempi kuin säiliön tilavuus (Valtioneuvoston asetus 750/2013, 13§). Tällä pyritään siihen, että vuototilanteessa öljyä ei joudu ympäristöön, vaikka suoja-altaassa olisi jonkinlaista materiaa ennen vuotoakin.

## 5 YHTEENVETO

Tässä työssä tutkittiin valtioneuvoston asetuksen 750/2013 vaikutuksia pienen kokoluokan polttolaitosten päästörajoituksiin. Valtioneuvoston asetuksen sisältö selostettiin ja siinä tehtyjen määräysten syitä pohdittiin. Työssä huomattiin, että ilmaan joutuvien päästöjen raja-arvojen kiristymisen vuoksi nestemäisten polttoaineiden kohdalla, raskaan polttoöljyn käyttö pienen kokoluokan energiantuotantoyksiköissä tulee todennäköisesti loppumaan lähes kokonaan. Suurimpana syynä tähän on raskaan polttoöljyn suuri rikkipitoisuus johtuen rikin taipumuksesta sitoutua raakaöljyn raskaisiin hiilivetyihin.

Valtioneuvoston asetuksen tarkastelun jälkeen työssä tutkittiin asetuksen vaikutuksia pienen kokoluokan energiantuotantolaitoksille käytännössä. Työssä pohdittiin asetuksen vaikutusta polttoaineen valintaan ja sen vaikutusta laitosten laitekantoihin. Polttoaineen valinnassa tärkeimpiä parametreja ovat polttoaineen soveltuvuus laitokselle, laitoksen sijainti ja päästörajoitusten sisällä pysyminen. Polttoaineiden valinnassa pohdittiin erityisesti uusien teknologioiden ja biopolttoaineiden mahdolliseen soveltuvuuteen esimerkiksi polttoöljyn korvaajana.

Jokaisella polttoaineella on tietty vaikutus energiantuotantolaitoksen laitekantaan. Kaasuilla vaikutukset perustuvat esimerkiksi lähinnä niiden yhteen ominaisuuteen, tiheyteen. Laittevalinnoilla ja uudistuksilla on mahdollista vähentää laitoksen ympäristövaikutuksia, joita se tuottaisi päästöjen muodossa. Esimerkiksi investoimalla kiinteän biomassan kuivaamiseen ennen polttoprosessia on mahdollista parantaa niin polttoaineen ominaisuuksia kuin energiantuotantoyksikön hyötysuhdetta sekä pienentää savukaasupäästöjä ilmaan.

Tämä työ tehtiin osana HevosVoima-hanketta, jossa Lappeenrannan teknillinen yliopisto ja XAMK tutkivat hevoslannan käyttömahdollisuuksia uusiutuvana energiana Etelä-Savon alueella. Tässä työssä selvitettiin hevoslannan ominaisuuksia polttoon liittyen sekä tutkitaan millaisissa laitoksissa sen käyttö osapolttoaineena olisi kannattavaa. Hevoslanta voidaan polttaa vain jätteenpolttolaitoksissa, joissa on savukaasujen puhdistusjärjestelmä ja jatkuvatoiminen mittaus savukaasujen epäpuhtauspitoisuuksille.

Työssä käytiin läpi esimerkkitapauksena Adven Oy:n Kauttuan voimalaitoksen varakattilan polttoaineen vaihtaminen. Varakattilana toimivan poltinkattilan pääpolttoaineena toiminut raskas polttoöljy tulee Valtioneuvoston asetuksen 750/2013 nojalla vaihtaa vähärikkisempään vaihtoehtoon. Muutokset tahdottiin suorittaa niin, että suurilta laitteistoinvestoinneilta vältyttäisiin, uusi polttoaine olisi mahdollisimman samanlainen ominaisuuksiltaan kuin raskas polttoöljy, mutta vähärikkisempi ja mahdollisimman kustannustehokkaasti. Uudeksi polttoaineeksi valittiin Nesteen valmistama Tempera 11, joka on vähärikkinen polttoöljy. Polttoaineen vaihdolla päästiin Valtioneuvoston asetuksen 750/2013 asettamiin päästöraja-arvoihin.

## LÄHDELUETTELO

Acharya, Bimal; Sule, Idris; Dutta, Animesh. 2012. A review on advances of torrefication technologies for biomass processing. School of Engineering, University of Guelph, Guelph, Canada. [verkkodokumentti]. [viitattu 25.10.2017]. Saatavissa Springer Link

Airaksinen, Sanna. 2006. Bedding and Manure Management in Horse Stables. Its Effect on Stable Air Quality, Paddock Hygiene and the Compostability and Utilization of Manure. Kuopion yliopisto, Kuopio 2006. ISBN 951-27-0443-9 (PDF). [verkkodokumentti]. [viitattu 3.10.2017]. Saatavissa: <http://www.oppi.uef.fi/uku/vaitokset/vaitokset/2006/isbn951-27-0348-3.pdf>

Aluehallintovirasto. 2015. Kauttuan voimalaitoksen ympäristölupapäätöksen lupamääräysten tarkistus. [verkkojulkaisu]. [viitattu 10.10.2017]. Saatavissa: Aluehallintavirasto

Döring, Stefan. 2013. Power from Pellets: Technology and Applications. Plant Engineering GmbH, Neuwied, Germany. [verkkodokumentti]. [viitattu 25.10.2017]. ISBN 978-3-642-19962-2. Saatavissa Springer Link

Energia Suomessa. 2004. Energia Suomessa – Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset. Helsinki: Edita Prima Oy. 396 s. ISBN 951-37-4256-3.

Föhr, Jarno; Seppänen, Tarja; Suikki, Jemina; Soininen, Hanne; Ranta, Tapio. 2015. Torrefioidun biohiilipelletin kirjallisuustutkimus ja koeajot pilottilaitoksessa. [verkkodokumentti]. [viitattu 25.10.2017]. ISBN 978-952-265-881-4 (PDF)

Gebreegziabher, Tesfaldet; Olajire Oyedun, Adetoyese; Wai Hui, Chi. 2013. Optimum biomass drying for combustion – A modeling approach. The Hong Kong University of Science and Technology, Clear Water Bay, Kowloon, Hong Kong. [verkkodokumentti]. [viitattu 25.10.2017]. Saatavissa Elsevier

Heikkilä, Jari & Kauppi, Mikael. 2017. Voimalaitospäällikkö Jari Heikkilän ja kunnossapitopäällikkö Mikael Kaupin haastattelu sähköpostitse. 11.10.2017. Adven Oy, Eura.

Huhtinen, Markku; Kettunen, Arto; Nurminen, Pasi; Pakkanen, Heikki. 2000. Höyrykattilatekniikka. Helsinki, Oy Edita Ab. 379 s. ISBN 951-37-3360-2

Jalovaara, Jukka; Aho, Juha; Hietämäki, Eljas; Hyytiä, Hille. 2003. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) 5-50 MW polttolaitoksissa Suomessa. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. [verkkodokumentti]. [viitattu 19.10.2017]. 126 s. ISBN 952-11-1489-4 (PDF)

Jameel, Abdul Gani Abdul; Han, Yunqing; Brignoli, Omar; Telalovic, Selvedin; Elbaz, Ayman M.; Im, Hong G.; Roberts, William L.; Sarathy, S. Mani. 2017. Heavy fuel oil pyrolysis and combustion: Kinetics and evolved gases investigated by TGA-FTIR. King Abdullah University of Science and Technology, Thuwal, Saudi Arabia; Politecnico di Milano, Milan, Italy; Helwan University, Cairo, Egypt. [verkkójulkaisu]. [viitattu 28.10.2017]. Saatavissa Elsevier

Jokinen, Raine; Pettersson, Frank; Saxén, Henrik. 2015. An MILP model for optimization of a small-scale LNG supply chain along a coastline. Thermal and Flow Engineering Laboratory, Åbo Akademi University, Turku, Finland. [verkkodokumentti]. [viitattu 16.10.2017]. Saatavissa Elsevier

Jones, Jenny M; Lea-Langton, Amanda R; Ma, Lin; Pourkashanian, Mohamed; Williams, Alan. 2014. Pollutants Generated by the Combustion of Solid Biomass Fuels. Energy Research Institute, University of Leeds/Energy Technology and Innovation Initiative, Leeds, United Kingdom. [verkkodokumentti]. [viitattu 19.10.2017]. Saatavissa Springer Link

Jäteläki 646/2011. Ympäristöministeriö, Helsinki

Lehto, Jani; Oasmaa, Anja; Solantausta, Yrjö; Kytö, Matti; Chiaramonti, David. 2013. Fuel oil quality and combustion of fast pyrolysis bio-oils. VTT Technology 87.

VTT, Espoo, Finland. [verkkojulkaisu]. [viitattu 29.10.2017]. 79 s. ISBN 978-951-38-7930-3

Lehto, Jani; Oasmaa, Anja; Solantausta, Yrjö; Kytö, Matti; Chiaramonti, David. 2014. Review of fuel oil quality and combustion of fast pyrolysis bio-oils from lignocellulosis biomass. VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland. Metso Power, Tampere, Finland. University of Florence, CREAR and RE-CORD, Florence, Italy. [verkkodokumentti]. [viitattu 10.10.2017]. Saatavissa: Elsevier

Lundgren, Joakim; Pettersson, Esbjörn. 2009. Combustion of horse manure for heat production. Luleå University of Technology, Luleå, Sweden. Energy Technology Centre, Piteå, Sweden 2009. [verkkojulkaisu]. [viitattu 3.10.2017]. Saatavissa: [https://ac-els-cdn-com.ezproxy.cc.lut.fi/S0960852409000698/1-s2.0-S0960852409000698-main.pdf?\\_tid=efe4e81a-a77e-11e7-b2d9-00000aab0f26&acdnat=1506955109\\_a72ed33d488014be6b83d4155aebb1d1](https://ac-els-cdn-com.ezproxy.cc.lut.fi/S0960852409000698/1-s2.0-S0960852409000698-main.pdf?_tid=efe4e81a-a77e-11e7-b2d9-00000aab0f26&acdnat=1506955109_a72ed33d488014be6b83d4155aebb1d1)

Polte. 2015. Sytyke: Öljykattilat uusiksi. [verkkojulkaisu]. [viitattu 10.10.2017]. Saatavissa: [poltelehti.fi/2015/09/sytyke-oljykattilat-uusiksi/](http://poltelehti.fi/2015/09/sytyke-oljykattilat-uusiksi/)

Raiko, Risto; Saastamoinen, Jaakko; Hupa, Mikko; Kurki-Suonio, Ilmari. 2002. Poltto ja palaminen. Helsinki: Teknillistieteelliset akatemioiden – De tekniskvetenskapliga akademierna r.y. 750 s. ISBN 951-666-604-3.

Roitto, Jani. 2014. Puuhakkeen käsittely- ja poltto-ominaisuuksien parantaminen. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Lappeenranta. [diplomityö]. [viitattu 25.10.2017]. Saatavissa [www.doria.fi/bitstream/handle/10024/98737/Diplomityo%F6\\_Jani\\_Roitto\\_18082014.pdf?sequence=2](http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/98737/Diplomityo%F6_Jani_Roitto_18082014.pdf?sequence=2)

Seljeskog, Morten; Sevault, Alexis; Ditaranto, Mario. 2013. Pursuing the Oxy-fuel Light-heavy Oil Retrofit Route Oil Refineries – A Small Scale Retrofit Study. SINTEF Energy



Research, N-7465; Trondheim, Norway. [verkkodokumentti]. [viitattu 28.10.2017]. Saatavissa Elsevier

Solantausta, Y., Oasmaa, A., Sipilä, K., Lehto, J., Autio, J., Jokela, P., Alin, J., Heiskanen, J. 2012. Bio-oil Production from Biomass: Steps toward Demonstration. Energy & Fuels [verkkolehti]. [viitattu 10.10.2017]. Saatavissa ACS Publications

Spielthoff, Hartmut. 2010. Power Generation from Solid Fuels. Lehrstuhl für Energiesysteme, TU München, Garching/München, Germany. [verkkodokumentti]. [viitattu 25.10.2017]. ISBN 978-3-642-02856-4. Saatavissa Springer Link

Tanskanen, Riikka. 2017. Esiselvitys Etelä-Savon hevostalouden materiaalivirtojen hyödyntämisestä uusiutuvana energiana. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Mikkeli. [verkkojulkaisu]. [viitattu 3.10.2017]. ISBN 978-952-344-005-0 (PDF)

Valtioneuvoston asetus 750/2013 polttoaineteholtaan alle 50 megawatin energiantuotantoyksiköiden ympäristönsuojeluvaatimuksista. 2013. Helsinki: Oikeusministeriö. 21 s. ISSN 1455-8904

Williams, A.; Jones, J.M.; Ma, L. Pourkashanian, M. 2012. Pollutants from combustion of solid biomass fuels. Energy and Resources Research Institute/CFD Centre, University of Leeds, Leeds, UK. [verkkodokumentti]. [viitattu 19.10.2017]. Saatavissa Elsevier

YSL 86/2000. Ympäristönsuojelulaki. Oikeusministeriö, Helsinki

YSL 527/2014. Ympäristönsuojelulaki. Ympäristöministeriö, Naantali