

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
School of Energy Systems
Energiatekniikan koulutusohjelma
BH10A0202 Energiatekniikan kandidaatintyö

Puupelletti polttoaineena

Työn tarkastaja: Kari Myöhänen
Työn ohjaaja: Kari Myöhänen
Lappeenranta 24.4.2019
Paavo Tiitta

TIIVISTELMÄ

Opiskelijan nimi: Paavo Tiitta

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyön ohjaaja: Kari Myöhänen

Kandidaatintyö 2019

27 sivua, 14 kuvaa, 2 taulukkoa

Hakusanat: puupelletti, biopolttoaine, wood pellet, wood fuels, combustion

Tämän työn tarkoituksena on tuottaa tiivis tietopaketti puupelletistä polttoaineena. Työn alussa tarkastellaan puupelletin merkittävimpiä ominaisuuksia. Tämän jälkeen tarkastellaan puupellettien tuotantoa, valmistuslaitteistoa, merkittävimpiä tuotantokustannuksia, jakelua sekä varastointia. Puupelletin polttotekniikkaa tarkastellaan eri kokoluokkien mukaan. Tarkastelu koostuu polttolaitteistojen, palamiseen vaikuttavien tekijöiden sekä eri käyttökohteiden käsittelystä. Työn lopussa käydään vielä läpi puupelletin merkitystä Suomen energiantuotannossa sekä puupelletin kohtaamia haasteita polttoaineena.

Puupelletit ovat yleisesti kuivasta sahanpurusta, kutterinlastusta ja hiontapölystä valmistettuja sylinterin muotoisia polttoainepuristeita. Ominaisuuksiltaan puupelletti on korkealaatuinen puupolttoaine. Alhainen kosteus, suhteessa korkea lämpöarvo, mekaaninen kestävyys sekä alhainen tuhkapitoisuus ovat korkealaatuisen pelletin merkittävimpiä ominaisuuksia. Pelletin tasainen laatu ja ominaisuudet mahdollistavat automatisoidun polttamisen.

Puupellettien tuotantomäärät ovat olleet viime vuosina kasvussa. Suomessa melko uutena polttoaineena puupelletit ovat kasvattaneet merkitystään tasaisesti. Pelletit puristetaan rengas- tai tasomatriisikoneella. Ennen puristamista käytettävä raaka-aine tulee kuivattaa kosteudeltaan sopivaksi sekä jauhaa sopivaan raekokoon. Pelletin puristaminen sulattaa puun oman sideaineen ligniinin, joka puristamisen jälkeisen jäädyttämisen johdosta kovettaa pelletin. Pelletin jakelu asiakkaille tapahtuu pienissä ja isoissa säkeissä sekä irtotavarana rekkakuljetuksella. Varastoinnissa tulee ottaa huomioon kosteuden pääsyn

estäminen varastoon. Kosteus aiheuttaa pellettien turpoamisen ja rakenteen tuhoutumisen sekä voi aiheuttaa pellettien homehtumisen. Pienessä kokoluokassa varasto sijoitetaan lähelle polttokattilaa. Suuren kokoluokan varastoinnissa käytetään usein siloja.

Pellettien ominaisuudet mahdollistavat polttamisen automatisoinnin. Pellettikamiinoita ja pieniä pellettipolttimia käytetään pienen kokoluokan järjestelmissä. Omakotitalot ja pienkiinteistöt ovat hyviä esimerkkejä käyttökohteista. Alueelliset lämpölaitokset ja suurempien kiinteistöjen lämpölaitteistot koostuvat suuremmista pellettikattiloista, joissa voidaan hyödyntää stokeripoltinta ja arinalaitteistoa. Voimalaitoskokoluokan järjestelmissä käytetään suurempia arinalaitteistoja sekä leijukerrospolttoa.

Puupelletin merkitys Suomessa energiantuotannolle on vielä melko pieni. Se on kasvanut tasaisesti 1990-luvulta lähtien, jolloin puupellettiä alettiin tutkimaan Suomessa. Puupelletillä on hyvä potentiaali korvata fossiilisia polttoaineita käyttäviä laitteistoja. Öljylämmitteisiä kiinteistöjä on Suomessa vielä runsaasti ja pelletti on potentiaalinen korvaaja tälle. Yhä kiristyvät säädökset pakottavan fossiilisten polttoaineiden käytön vaihtamista myös voimalaitoksissa. Puupelletti on kilpailukykyinen vaihtoehto korvaamaan esimerkiksi hiilivoimalaitoksia.

Haasteita puupelletille on sen heikompi kilpailukyky hinnan suhteen verrattuna muihin kiinteisiin biopolttoaineisiin, kuten metsähakkeeseen. Jatkuva kehitys puhtaampaan energiaan vaatii uusien polttoaineiden merkityksen kasvua, jonka vuoksi puupelletillä on hyvä mahdollisuus osuuden kasvattamiseen energiantuotannossa. Myös poliittiset päätökset ja säädökset luo haasteita puupelletille. Suurempien tukien puute kuluttajille pellettilämmityksestä ei ole saanut kuluttajia vaihtamaan öljylämmitystä pellettilämmitykseen. Myös muiden lämmitysmuotojen suurempi houkuttelevuus on saanut kuluttajat valitsemaan muita lämmitysmuotoja asuntoihinsa.

SISÄLLYSLUETTELO

Tiivistelmä	2
Sisällysluettelo	4
Symboli- ja lyhenneluettelo	5
1 Johdanto	6
2 Puupelletin ominaisuuksia	7
2.1 Standardit.....	7
2.2 Kemiallinen koostumus	8
2.3 Tiheys ja palakoko.....	9
2.4 Lämpöarvo.....	10
2.5 Kosteus	11
2.6 Mekaaninen kestävyys	11
3 Tuotanto	13
3.1 Varat	14
3.2 Valmistaminen.....	14
3.3 Tuotantokustannukset.....	18
3.4 Jakelu.....	19
3.5 Varastointi	20
4 Polttotekniikat	23
4.1 Pienet lämmitysjärjestelmät	23
4.2 Keskikokoiset lämmitysjärjestelmät.....	26
4.3 Suuret lämmitysjärjestelmät	27
5 Merkitys energiantuotannossa	29
6 Haasteita puupelletille	30
7 Yhteenveto	32
Lähdeluettelo	33

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Roomalaiset aakkoset

<i>DU</i>	mekaaninen kestävyys	%
<i>m</i>	massa	g
<i>M</i>	kosteus	g
<i>Q</i>	lämpöarvo	MJ/kg
<i>V</i>	tilavuus	kg/m

Lyhenteet

ad	ilmakuiva
ar	saapumistilassa
bulk	irto
CHP	Combined Heat and Power
d	kuiva
e	esiseulottu
gr	kalorimetrinen
m-%	massaprosentti
net	tehollinen

1 JOHDANTO

Suomi on yksi maailman johtavista maista bioenergian tuotannossa. Euroopan Unionin asettamat tavoitteet ovat kasvattaneet yhä enemmän bioenergian merkitystä energiantuotannossa (Heinimö ja Alakangas, 2009). Vuonna 2017 Suomessa kokonaisenergiankulutuksesta 26,5 % tuotettiin puupolttoaineilla. Yhä kasvava osuus on mahdollistanut uusien puupolttoaineiden levittäytymisen ja kasvun Suomessa. Puupelletti on suomalaisille melko uusi polttoaine, jota on alettu tutkimaan ja kehittämään Suomessa 1990-luvulla. Korkean kilpailun sekä fossiilisten polttoaineiden johdosta puupelletin kasvu on ollut Suomessa hidasta. Kuitenkin puupelletti on onnistunut kasvattamaan osuuttaan energiantuotannossa tasaisesti ja tällä hetkellä se onkin yksi potentiaalisimmista korvaajista fossiilisille polttoaineille. Puupelletille soveltuvan tekniikan kehittyminen ja ihmisten tietoisuuden kasvattaminen on johtanut tämän hetkiseen tilanteeseen.

Puupelletin tuotanto ja sillä tuotettu energia ovat viime vuosina kasvaneet ennätysmääriin, vaikka niiden merkitys kokonaisuudessa onkin vielä hyvin pieni. Vuonna 2017 puupellettejä kulutettiin Suomessa 373 000 tonnia ja tällä määrällä tuotettiin 1,8 TWh energiaa. Vertailuna Suomen kokonaisenergiantuotanto vuonna 2017 oli 377 TWh. (Luonnovarakeskus, 2018)

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on tarkastella puupellettiä polttoaineena ja tuottaa siitä tiivis sekä selkeä tietopaketti. Työssä tarkastellaan pelletille tuotannon ja polttamisen kannalta merkittäviä ominaisuuksia, kuten kosteutta, mekaanista kestävyyttä sekä lämpöarvoa. Työssä tarkastellaan myös tuotantomenetelmiä, tuotannon kannalta merkittävimpiä kuluja sekä puupellettien varastointia sekä jakelua. Puupelletin polttotekniikoita ja niissä käytettäviä laitteistoja tarkastellaan työn keskivaiheessa. Työn lopussa käsitellään vielä puupelletin merkitys Suomen energiantuotannossa sekä haasteita, joita puupelletin kehitys on joutunut kohtamaan.

2 PUUPELLETIN OMINAISUUKSIA

Puupelletit ovat mekaanisen metsäteollisuuden sivutuotteista, kuten sahanpurusta, hiontapölystä ja kutterinlastusta puristettuja sylinterin muotoisia polttoainepuristeita (Kuva 2.1). Puupelletin ominaisuuksia on tärkeää tarkastella valmistuksen, jakelun ja palamisominaisuuksien kannalta. Puupelletin eri ominaisuudet määräytyvät käytettävän raaka-aineen ominaisuuksien sekä eri tuotantoprosessin eri vaiheiden mukaan. Ominaisuuksiin on mahdollista siis vaikuttaa raaka-aineen sekä sen laadun valinnalla sekä eri tuotantoprosessin vaiheilla. Puupellettien laadun valvonnan avuksi on luotu standardeja, jotka määrittävät ominaisuuksien perusteella puupelletit eri laatuluokkiin. Tässä kappaleessa käsitellään puupelletille merkittävimpiä ominaisuuksia koko elinkaarta ajatellen sekä esitellään muutamia Suomessa tuotannon laadun valvontaan käytettäviä standardeja.



Kuva 2.1. Puupellettejä
(Amaza, 2012)

2.1 Standardit

Standardeja käytetään puupellettien tuotannon laadun valvonnassa. Eri maat ovat laatineet pellettituotannolle omia standardeja, jotka asettavat vaatimuksia polttoaineen eri

ominaisuuksille. Pellettien koko on ainoa ominaisuus, joka on määritelty kaikissa standardeissa. Muita ominaisuuksia, joita standardeihin voidaan määrittää ovat esimerkiksi kosteus, mekaaninen kestävyys sekä lämpöarvo. Suomessa ei ole laadittu puupelletille omaa standardia. Suomalainen pellettituotanto yleisesti noudattaa kansainvälisesti merkittävintä saksalaista DINplus-standardia sekä kansainvälistä ENplus-standardia. Taulukossa 2.1 on vertailtu molempien standardien eri parametreja. ENplus-standardissa A1-luokka tarkoittaa korkealaatuisempaa luokkaa, joka on suunnattu kotitalouksien polttolaitteistoon ja A2-luokka on matalalaatuisempaa polttoainetta, jonka käyttö on suunnattu suurempien kokoluokkien järjestelmiin. (Proskurina *ym.*, 2015, ss. 1477–1478)

Taulukko 2.1 DINplus ja ENplus-standardien tärkeimpiä parametreja ja niiden viitearvoja (Proskurina *ym.*, 2015, s. 1748)

Parametri	Yksikkö	DINplus	ENplus - A1	ENplus - A2
Halkaisija	mm	4 - 10	6 - 8	6 - 8
Pituus	/	< 5·halk	$3,15 \leq L \leq 40$	$3,15 \leq L \leq 40$
Lämpöarvo	MJ/kg	> 18	$\geq 16,5$	$\geq 16,3$
Kosteus	%	10	≤ 10	≤ 10
Tuhkapitoisuus	%	< 0,5	$\leq 0,7$	$\leq 1,5$

2.2 Kemiallinen koostumus

Puupelletin kemiallinen koostumus on verrattavissa puubriketin kemialliseen koostumukseen. Bioklapi Oy on suorittanut polttoaineanalyysin briketille, jonka avulla pystytään esittämään arvio puupelletin alkuaineiden pitoisuuksista. Puupelletin pitoisuudet voivat vaihdella käytettävän raaka-aineen mukaan hieman. Kyseinen analyysi on suoritettu sahanpurusta valmistetulla puubriketeillä, joiden alkuaineiden pitoisuuksien keskiarvot ovat esitettynä taulukossa 2.2. (Salonen, 2012)

Taulukko 2.2. Puupelletin alkuainepitoisuuksien keskiarvot (Salonen, 2012)

Alkuaine	Yksikkö	Tulos
Hiili	m-%	52,1
Vety	m-%	6,3
Typpi	m-%	< 0,2
Kloori	m-%	0,002
Fluori	m-%	< 0,001
Bromi	m-%	< 0,001
Tuhkapitoisuus (550 °C)	m-%	0,6

2.3 Tiheys ja palakoko

Suomessa puupelletin halkaisija on yleisesti 8 mm ja pituus 10-30 mm. Puupelletin koko vaikuttaa sen palamisaikaan. Liian suuret pelletit vaativat lujatekoisempia polttoaineensyöttöjärjestelmiä sekä se pidentää pelletin kokonaispalamisaikaa.

Pellettien irtotiheys määritellään yhtälöllä 1. Irtotiheyden arvo riippuu polttoainepartikkelien sekä irtotavaran tiheydestä. Euroopan standardin mukaan irtotiheyden tulee olla yli 600 kg/m³. (Obernberger ja Thek, 2010, s. 48)

$$\rho_{\text{bulk}} = \frac{m_{\text{bulk}}}{V_{\text{bulk}}} \quad (1)$$

missä

ρ_{bulk} irtotiheys, [kg/m³]

m_{bulk} massa, [kg]

V_{bulk} tiheys, [m³]

Pellettien irtotiheys vaikuttaa kuljetuksen ja varastoinnin kustannuksiin sekä pelletin energiatiheyteen. Korkea irtotiheys kasvattaa pelletin energiatiheyttä ja vähentää kuljetus- sekä varastointikustannuksia. Tästä johtuen puupellettien tuottajat keskittyvät korkean irtotiheyden saavuttamiseen, sillä se vaikuttaa taloudellisesti myös jälleenmyyjään, jakelijaan sekä kuluttajaan. (Obernberger ja Thek, 2010, s. 48)

2.4 Lämpöarvo

Suomessa polttoaineiden lämpöarvot ilmoitetaan yleensä tehollisena eli alempana lämpöarvona. Tehollinen lämpöarvo ilmoittaa lämpöarvon ottaen huomioon vedyn palamisessa sekä savukaasujen mukana poistuvan vesihöyryn haihtumiseen vaadittavan lämpömäärän. Tehollisen lämpöarvon määrittämiseen tarvitaan kuitenkin kalorimetristä eli ylempää lämpöarvoa. Sen määrittäminen tapahtuu pommikalorimetrin avulla. Pieni näytekappale upotetaan kalorimetripommissa nesteeseen, jossa se poltetaan. Polttoaineen luovuttama lämpömäärä ympärillä olevaan nesteeseen mitataan, jonka avulla saadaan laskettua näytteen kalorimetrinen lämpöarvo yhtälöllä 2. (Kuokkanen ja Kolppanen, 2010, s. 4)

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

missä

$Q_{gr,d}$	kuiva-aineen kalorimetrinen lämpöarvo, [MJ/kg]
$Q_{gr,ad}$	ilmakuivan näytteen kalorimetrinen lämpöarvo, [MJ/kg]
M_{ad}	ilmakuivan näytteen analyysikosteus, [%]

Tehollinen lämpöarvo saadaan laskettua kalorimetrin lämpöarvon avulla yhtälöllä 3. (Kuokkanen ja Kolppanen, 2010, s. 5)

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

missä

0,02442	veden höyrystymislämmöstä aiheutuva korjaustekijä vakio tilavuudessa (+25 °C), [MJ/kg]
H %	polttoaineen sisältämä vedyn määrä prosentteina, [%]
18,015	veden molekyylipaino, [g/mol]
2,016	vedyn molekyylipaino, [g/mol]

Puupelletin tehollinen lämpöarvo saapumistilassa on keskimäärin n. 4,8 kWh/kg, joka vastaa 17,3 MJ/kg. (Knuutila, 2003, s. 84)

2.5 Kosteus

Kiinteille biopolttoaineille polttoaineen kosteuden määrittämiseen käytetään standardoitua uunikuivausmenetelmää SFS-EN ISO 18134-2:2015. Kosteuden määrittämiseen käytetty näyte tulee ottaa näytteenottostandardin SFS-EN ISO 81135 mukaisesti. Näyte punnitaan ja laitetaan lämpökaappiin, jonka lämpötila on 105 ± 2 °C. Lämpökaapissa tulee olla avoin kierto, jotta kostea ilma pääsee kulkeutumaan pois. Näytettä kuivatetaan niin kauan, kunnes sen massa ei muutu 60 minuutin sisällä enempää kuin 0,2 m-%. Näytteen kuivausaika saa olla korkeintaan 24 tuntia. Välittömästi kuivauksen jälkeen näyte tulee punnita, jotta huoneilman kosteus ei imeydy näytteeseen. Näytteen kosteus saapumistilassa lasketaan yhtälöllä 4. (Alakangas *ym.*, 2016, ss. 25–26) Ihannekosteus puuta pellettoitaessa on 10-15 %. Sen katsotaan olevan tehon tarpeen, pelletin lujuuden ja laitekapasiteetin kannalta optimaalisin kosteus. Valmiiden puupellettien kosteus vaihtelee 6-10 %. (Alakangas *ym.*, 2016, ss. 95–96)

$$M_{\text{ar}} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100\% \quad (4)$$

missä

M_{ar}	kosteus saapumistilassa, [m-%]
m_1	tyhjän kuivausastian paino, [g]
m_2	kuivausastian ja näytteen yhteispaino ennen kuivausta, [g]
m_3	kuivausastian ja näytteen yhteispaino kuivauksen jälkeen, [g]

2.6 Mekaaninen kestävyys

Pellettien tuotannossa mekaaninen kestävyys on yksi merkittävistä laatuominaisuuksista. Mekaaninen kestävyys on määritelty pellettien isku- ja hankautumiskestävyytenä. Ominaisuus on tärkeä pelletille pysyäkseen vahingoittumattomana kuljetusten, lastausten

sekä polttoainesyötön aikana (Alakangas *ym.*, 2016, s. 35). Huonon mekaanisen kestävyysjohdosta polttoaineesta irtoaa enemmän hienoainesta. Hienoaineella tarkoitetaan pelletistä jauhautuneita ja hajonneita pieniä partikkeleita. Pelletistä irronnut hienoaines voi johtaa siihen, että asiakas voi joutua seulomaan pelletit ennen käyttöä. Se voi myös synnyttää tukoksen polttoaineen syöttöruuviin, joka syöttää pellettejä polttokammioon. Häiriöt vaikuttavat asiakkaiden tyytyväisyyteen, toiminta-asteeseen sekä aiheuttaa mahdollisesti lisäkustannuksia. (Obernberger ja Thek, 2010, s. 51)

Mekaaninen kestävyys testataan altistamalla pelletit hallituille iskuille. Pelletit laitetaan pölytiiviseen testuslaitteeseen, jossa pelletit törmäilevät toisiinsa ja kotelon seiniin. Kestävyys lasketaan massanäytteiden avulla yhtälöllä 5. (Alakangas *ym.*, 2016, s. 35)

$$DU = \frac{m_a}{m_e} \quad (5)$$

missä

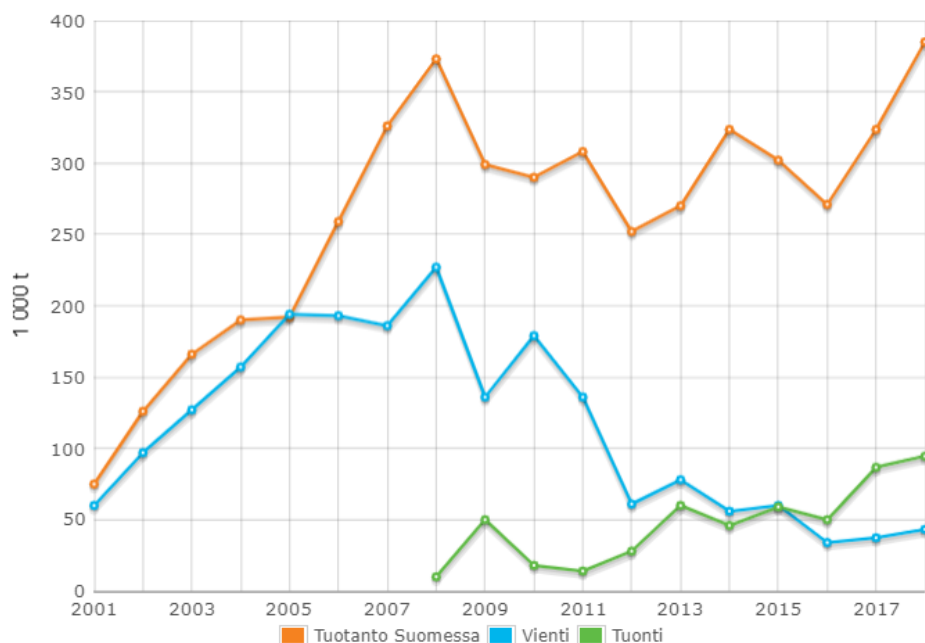
DU	pellettien mekaaninen kestävyys, [m-%]
m_a	seulottujen pellettien massa ennen testuslaitetekäsittelyä, [g]
m_e	seulottujen pellettien massa testuslaitetekäsittelyn jälkeen, [g]

Pellettien mekaanisen kestävyys tulee olla 97,5 m-% ja hienoainesta korkeintaan 1 m-%, jotta se saavuttaa ENplus-standardin mukaisen laatuluokan A1 (Alakangas *ym.*, 2016, s. 96).

3 TUOTANTO

Suomi on yksi Euroopan johtavista bioenergian käyttäjistä ja se omistaa suuren metsäpeitteen ansiosta merkittävän raaka-ainepotentiaalin puupellettienteollisuuden kehittämiseksi. Suomessa puupellettien käyttö ja tuotanto on kehittynyt tasaisesti viimeisen vuosikymmenen aikana. Myös muissa teollisuusmaissa puupellettien kysyntä on kasvanut merkittävästi. Monet maat mukaan lukien Suomi, rakentavat uusia puupellettiä polttavia lämpölaitoksia ja korjaavat olemassa olevaa tekniikkaa puupellettien rinnakkaispoltoille sopivaksi.

Puupellettien tuotanto alkoi Suomessa vuonna 1998, kun ensimmäinen pellettituotantolaitos rakennettiin Vöyriin (Proskurina *ym.*, 2015, s. 1475). Puupellettien tuotanto kasvoi vuoteen 2008 asti saavuttaen 376 000 tonnin tuotantomäärän. Vuoden 2008 jälkeen pellettien tuotantomäärät putosivat useaksi vuodeksi, mutta tällä hetkellä tuotantomäärät ovat taas kasvussa. Vuonna 2018 tuotannossa saavutettiin uusi ennätys tuottamalla 385 000 tonnia puupellettiä. Tuotanto kasvoi edellisestä vuodesta 19 %. (Kuva 3.1) (Luonnonvarakeskus, 2019)



Kuva 3.1 Puupellettien tuotanto Suomessa 2001-2018 välillä
(Luonnonvarakeskus, 2019)

Viennin merkitys tuotannossa oli merkittävä vuoteen 2012 asti, esimerkiksi vuonna 2008 Suomesta vietiin puupellettiä 227 000 tonnia Ruotsiin, Tanskaan ja Saksaan (Sallinen, 2018). Tuotannon alussa suuri viennin osuus johtui Suomelle uudesta tekniikasta. Puupelletin käyttö aloitettiin huomattavasti aikaisemmin vientimaissa, eikä Suomessa puupelletin polttamiselle tarkoitettua tekniikkaa vielä löytynyt. Puupelletin polttamiseen vaaditun tekniikan saavuttua Suomeen myös viennin merkitys on pienentynyt. Tekniikan saapumisen johdosta kotimaisen tuotannon ja tuonti pelletin osuudet ovat kasvaneet, joka käy ilmi kuvassa 3.1. Suomeen tuotu puupelletti on tuotettu lähinnä Venäjällä sekä Latviassa. Vuonna 2018 Suomeen tuotujen pellettien määrä saavutti myös uuden ennätyksen, 95 000 tonnilla tuonti pellettiä. Tuonti pelletin määrä kasvoi 9 % edelliseen vuoteen nähden. (Luonnonvarakeskus, 2019)

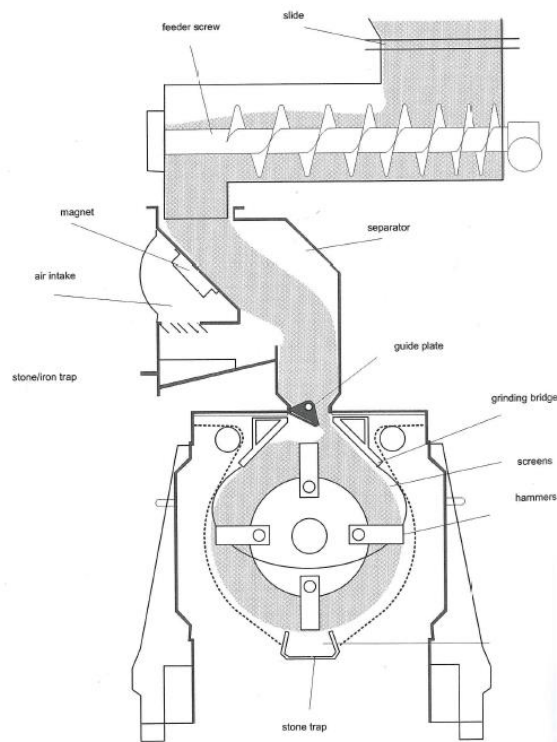
3.1 Varat

Suomessa metsäteollisuus on suuressa roolissa, joka takaakin metsäteollisuudesta tulevien sivutuotteiden syntymisen. Puupellettiteollisuus joutuu kuitenkin kilpailemaan raaka-aineista sellu- ja sahateollisuuden kanssa. Tästä johtuen korkealaatuisesta raaka-aineesta on ollut Suomessa pulaa. Pienen kokoluokan polttolaitteistoihin vaaditaan korkea laatuista puupellettiä, joiden valmistamisen edellytyksenä on korkea laatuinen raaka-aine. Tämän johdosta raaka-ainetta puupellettituotantoon on tuotu ajoittain Venäjältä. Suomessa tavoitteena onkin ollut raaka-ainepohjan laajentaminen korkea laatuiseen raaka-aineen takaamiseksi. (Selkimäki *ym.*, 2010, ss. 3073–3074)

3.2 Valmistaminen

Pellettien valmistaminen alkaa raaka-aineen kuivauksella. Käyttäessä kosteaa sahanpurua, raaka-aine pitää kuivata ennen jauhatusta. Yleisin raaka-aineen kuivatustapa on rumpukuivain. Kuivausta ei tarvita, jos raaka-aineena käytetään kutterinlastua tai kuivaa sahanpurua. (Alakangas *ym.*, 2016, s. 95)

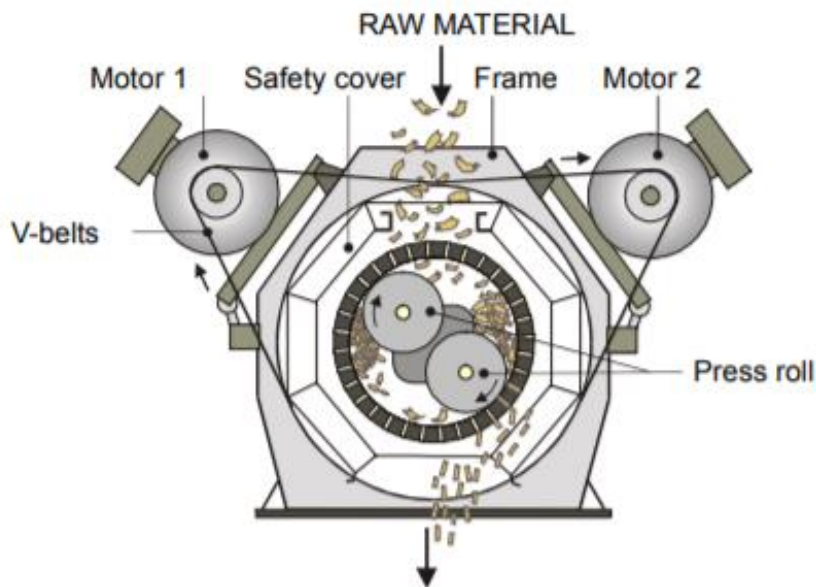
Jauhatuksessa raaka-aine jauhetaan raekokoon, joka on korkeintaan pelletin halkaisijan kokoinen. Jauhettu puru ei saa kuitenkaan olla liian pientä, jolloin pellettiä kokoon sitovat suuremmat kuidut puuttuvat. Jauhamiseen käytetään yleisimmin vasaramyllyä (Kuva 3.2), jonka avulla raaka-aineesta saadaan tasalaatuista puristettavaksi. (Alakangas *ym.*, 2016, s. 95)



Kuva 3.2. Vasaramyllyn toimintaperiaate
(Van Loo ja Koppejan, 2008, s. 68)

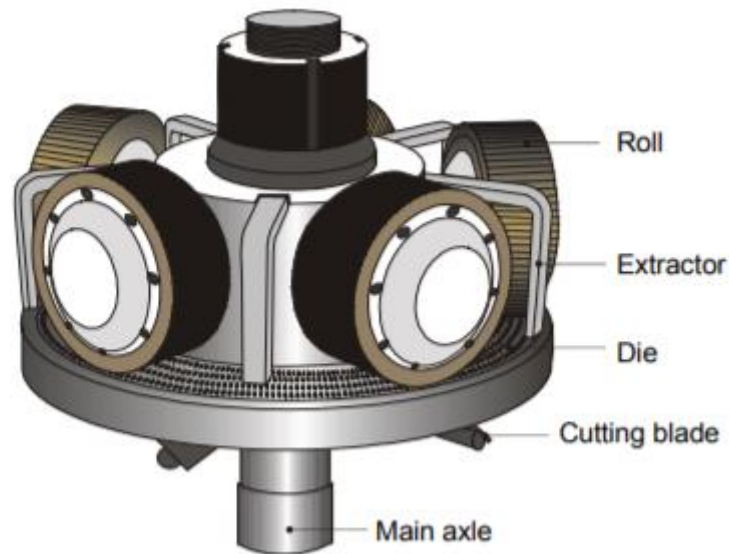
Jauhatus ja kuivaus voidaan myös yhdistää, mikäli raaka-aine vaatii kuivauksen. Jauhinkuivaimessa murskain muuttaa kuivattavan purun raekokoa. Hiukkasista saadaan tämän avulla samankokoisia sekä jokaisessa partikkelissa kosteus on lähes sama. Jauhatus helpottaa huomattavasti raaka-aineen kuivausta. Yhdistetyllä tavalla kuivaukseen käytetään yleensä kuumakaasukehitintä. Sen poltin polttaa tuotantoprosessissa ylijäämä purua sekä pölyä. (Alakangas *ym.*, 2016, s. 95) Ennen pellettien puristamista jauhettu raaka-aine käsitellään höyryllä adheesion lisäämiseksi. Höyry parantaa raaka-aineen kykyä sitoutua toisiinsa puristusvaiheessa. (Van Loo ja Koppejan, 2008, s. 76)

Seuraava vaihe pellettien valmistamisessa on pellettien puristaminen. Puristus tapahtuu taso- tai rengasmatriisikoneilla, joiden toimintaperiaatteet on esitetty kuvassa 3.3 ja kuvassa 3.4. Suomessa yleisemmin käytetyssä rengasmatriisikoneessa raaka-aine syötetään koneeseen vaakasuunnassa (Alakangas ja Paju, 2002, s. 17). Raaka-aine on tasaisena kerroksena renkaan sisäpinnalla puristusrollan edessä. Rulla pyörii kerroksen yli ja puristaa raaka-ainetta ulkorenkaassa oleviin kanaviin. Jokaisella kierroksella rulla työntää kanaviin lisää raaka-ainetta ja kanavassa oleva raaka-aine työntyy eteenpäin samalla tiivistyksen tasaisesti. (Alakangas ja Paju, 2002, s. 15) Raaka-aineen kerääntyessä muottiin sen aiheuttama paine kasvaa, kunnes kanavassa oleva materiaali työntyy muotista ulos. Jatkuva pellettinauha työntyy ulos, joka katkeaa paloihin joko satunnaisesti tai kanavan suulla sijaitsevan terän avulla. (Obernberger ja Thek, 2010, s. 100)



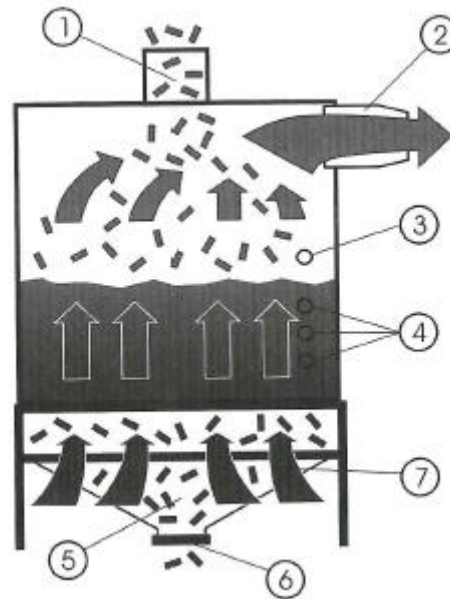
Kuva 3.3. Rengasmatriisikoneen toimintaperiaate
(Alakangas ja Paju, 2002, s. 17)

Tasomatriisikoneen toimintaperiaate on käytännössä sama, kuin rengasmatriisikoneella muutamia eroavaisuuksia lukuun ottamatta. Tasomatriisikoneessa raaka-aine syötetään koneeseen pystysuunnassa ylhäältä alas ja puristavat rullat pyörivät tasolla.



Kuva 3.4. Tasomatriisikoneen toimintaperiaate
(Alakangas ja Paju, 2002, s. 19)

Pelletoinnin viimeinen vaihe on pellettien jäädyttäminen. Puristusprosessin jälkeen pellettien lämpötila on 80 ja 130°C välillä, johtuen raaka-aineen ja puristuskanavien seinämien välillä syntyvän kitkasta. Korkea lämpötila sulattaa puun oman sideaineen ligniinin, joka jäähtyessään kovettaa pelletin. Jäähtymisen ansiosta pellettien mekaaninen kestävyys paranee sekä pellettien kosteus pienenee. Jäähtytys tapahtuu yleisimmin vastavirtajäädyttimellä, jonka toimintaperiaate esitetty kuvassa 3.5. Pelletit kulkeutuvat jäädyttimen yläosasta alaosassa olevaan tyhjennyssäiliöön. Kuiva kylmä ilma virtaa jäädyttimen alaosasta yläosaan olevaan poistoilmareikään, jolloin lämmin ja kylmä ilma virtaavat vastakkaisiin suuntiin. Kylmään ilmaan sitoutuu pelleteistä kosteaa lämmintä ilmaa, jäädyttäen pellettejä. (Obernberger ja Thek, 2010, s. 102)



Kuva 3.5. Vastavirtajäädyttimen toimintaperiaate, 1. pellettien syöttöaukko 2. pakoilma 3. ylitäytön suojausanturi 4. täyttötasoanturi 5. pellettien ulostulo 6. tyhjennyssäiliö 7. jäädytysilma

(Obernberger ja Thek, 2010, s. 103)

3.3 Tuotantokustannukset

Puupelletin tuotantokustannusrakenteeseen vaikuttavat useat ulkoiset sekä tehtaan sisäiset tekijät. Pellettitehtaiden investointikustannukset ja prosessienergiankulutus vaihtelevat merkittävästi, jonka vuoksi tarkkaa kustannusrakennetta on vaikea määrittää.

Merkittävin yksittäinen kustannuserä pellettintuotannossa on raaka-ainekustannukset. Raaka-ainekustannuksen osuus kokonaiskustannuksista on 45-65 %, riippuen raaka-aine valinnasta sekä valmistettavien pellettien laadusta. Korkealaatuisia pellettejä valmistettaessa kuivasta sahanpurusta tai kutterinlastusta raaka-ainekustannukset ovat korkeimmillaan. Alhaisimmillaan raaka-ainekustannukset ovat suuren kokoluokan tehtaissa käytettäessä kosteaa sahanpurua. (Rouvinen *ym.*, 2010, s. 9)

Toinen merkittävä kustannuserä raaka-ainekustannusten ohessa on energiankulutus. Tuotannossa käytettävä lämpö ja sähkö kuluttavat keskimäärin 1140 kWh, yhtä pellettitonniä kohden. Tarkka energiankulutus määräytyy siis tehtaan koon, raaka-aineen ominaisuuksien ja tuotanto-olosuhteiden mukaan. (Rouvinen *ym.*, 2010, s. 9)

3.4 Jakelu

Suomessa pellettien jakelu tapahtuu paikallisten jälleenmyyjien kautta tai suoraan pellettien valmistajilta asiakkaille. Pienen luokan kuluttajille jakelu tapahtuu yleensä jälleenmyyjien kautta. Suomessa pelletit myydään joko irtotavarana, isoissa tai pienissä säkeissä. Tärkeä tekijä pellettivalmistajille on, että raaka-ainelähteet sijaitsevat lähellä pellettituotantolaitosta. Pitkät etäisyydet vähentävät pellettien kustannustehokkuutta sekä aiheuttavat lisää kuljetuksessa syntyviä päästöjä. (Alakangas ja Paju, 2002, s. 20)

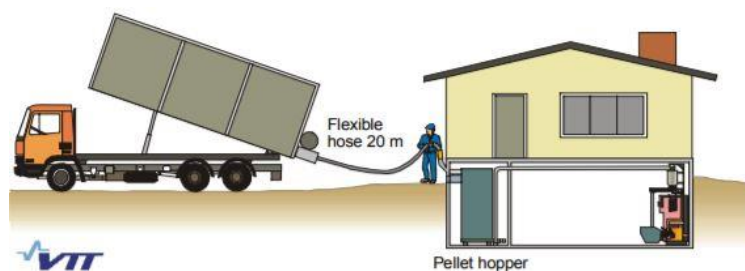
Pienkuluttajille suunnatut pienet säkit myydään 15-25 kg erissä. Pellettivalmistajat toimittavat säkit jälleenmyyjille, jotka myyvät säkit kuluttajille. Pienissä säkeissä myytävät pelletit on tarkoitettu poltettaviksi kotitalouksissa esimerkiksi pellettikamiinassa. Säkkejä on helppo käsitellä eikä niiden kuljettamiseen ja siirtämiseen tarvita erillisiä työkoneita. Huono puoli pienissä säkeissä on niiden korkeampi hinta, suurempiin eräkokoihin verrattuna. (Alakangas ja Paju, 2002, s. 20)

Suuret säkit ovat kokoluokaltaan 1-1,5 m³ ja painavat 500-1000 kg (Kuva 3.6). Suurin kohderyhmä on maatilat. Lämmitystä vaativia tiloja on enemmän, kuin normaalissa kiinteistössä, jonka vuoksi polttoainetta kuluu myös enemmän. Suuret säkit ovat myös suhteessa edullisempia kuin pienet säkit. Maatiloilla on usein purkamiseen ja siirtämiseen vaadittavat työkoneet, jotka ovat edellytys suurien säkkien käytölle. (Alakangas ja Paju, 2002, s. 20)



Kuva 3.6. Suuria pellettisäkkejä varastoituna (Alakangas ja Paju, 2002, s.21)

Pellettien jakelu onnistuu myös irtotavarana. Kuljetus kohteeseen tapahtuu kuorma-autolla tai traktorilla siten, että pelletit ovat suojatussa tilassa suojassa lialta ja kosteudelta. Siirto loppukäyttäjän varastoon tapahtuu paineilman avulla. Kuorma-auton säiliöstä johdetaan letku loppukäyttäjän varastoon, jonka kautta pelletit puhalletaan paineilmalla varastoon (Kuva 3.7). Irtotavarajakelun etuna on sen edullinen hinta. (Alakangas ja Paju, 2002, s. 21)



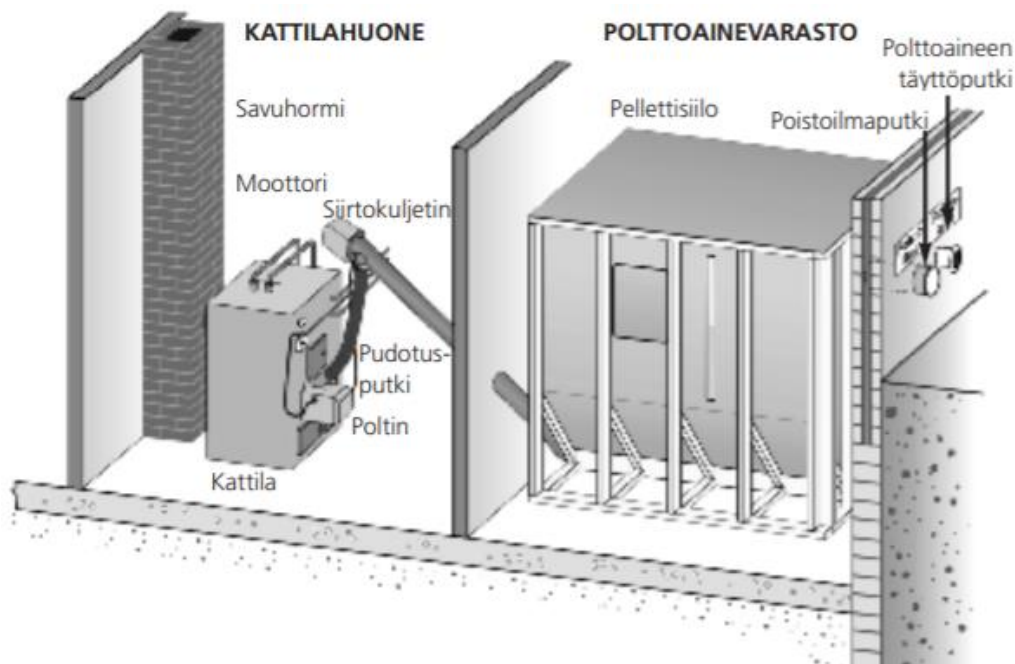
Kuva 3.7. Pellettien syöttäminen säiliöautosta varastoon (Alakangas ja Paju, 2002, s. 23)

3.5 Varastointi

Varastoinnin kannalta yksi merkittävimmistä huomioon otettavista tekijöistä on kosteus. Sade, lumi, tiivistynyt vesi tai lattian alta nouseva kosteus aiheuttaa sen, että pelletit turpoavat ja hajoavat sahanpuruksi. Varaston tuleekin olla kuiva ja vesitiivis. Varastoinnissa tulee olla myös tarkkana, ettei puupellettien sekaan sekoitu muita kiinteitä puupolttoaineita, kuten metsähaketta. Muiden polttoaineiden sekoittuminen voi aiheuttaa ongelmia irtopellettien purkamisessa paineilmalla, kuljetuksessa tai polttamisessa. Varastointitapoja on erilaisia riippuen käytön suuruudesta. Seuraavissa kappaleissa käsitellään erilaisia varastointitapoja ja niihin liittyviä seikkoja.

Pienen kokoluokan varastossa säiliö on usein sijoitettu kiinteistön kellariin mahdollisimman lähelle poltinta (Kuva 3.8). Säiliössä tulee olla syöttöaukko, tarpeeksi suuri ilmaventtiili (200 mm) sekä kulkuaukko, joka mahdollistaa kulun säiliölle. Säiliön seinässä tulee olla myös ikkuna, josta voidaan seurata säiliön polttoainetilannetta. Ilmaventtiilin suulle myös suositellaan asennettavaksi suodatin, joka estää pölyn pääsyn ympäristöön. Pelletit kulkeutuvat polttimeen joko suoran tai joustavan ruuvisyöttimen

kautta. Varastosäiliön pohjassa tulisi olla noin 45 asteen kallistuskulma, pellettien tasaisen kulkeutumisen takaamiseksi ruuvisyöttimeen. Syöttöruuvi kuljettaa pelletit putken päähän, josta ne putoavat lämpökestävän putken läpi polttimeen. Lämpökestävä putki on pysty asennossa, jotta vältetään palavien pellettien kulkeutuminen takaisin pellettisäiliöön. (Alakangas ja Paju, 2002, s. 23)



Kuva 3.8. Omakotitalon perinteinen pellettilämmitysjärjestelmä (Puhakka *ym.*, 2003, s. 22)

Varastoidessa suuria volyymeja varastointiin käytetään siiloja. Kaksi yleisintä siilotyyppeä on pohjastaan suippeneva siilo sekä tasapohjainen siilo. Suippenevassa siilossa pelletit kulkevat painovoiman johdosta kallistuvaa pohjaa myöten alas poistoaukolle. Poistoaukosta pelletit johdetaan kuljettimelle, josta pelletit voidaan johtaa esimerkiksi säiliöautolle tai kattilalle. Tasapohjaisen siilon tapauksessa siilossa pyörii kiertoruuvi, joka kuljettaa pelletit kuljetintunneliin. Ominaisuuksiltaan suippeneva siilo on tasapohjaista tehokkaampi tarkastellessamme pellettien purkunopeutta siilosta. Siiloja käytetään varastointiin esimerkiksi pellettientuotantolaitoksilla valmiiden pellettien varastointiin. Rakennuskustannuksiltaan suippenevan siilo on tasapohjaista siiloa kalliimpi. Kuitenkin pidemmällä aikavälillä tarkastellessa tasapohjainen siilo vaatii

kuljetinruuvien johdosta säännöllistä huoltoa, joka aiheuttaa kunnossapitokustannuksia. Tämä johdosta tasapohjaista siloa on kalliimpi ylläpitää. (Oberberger ja Thek, 2010, ss. 123–124)

Varastoinnissa yksi merkittävä ongelma on polttoaineen holvautuminen varaston seinämille, heikentäen virtausta. Holvautuminen aiheuttaa ongelmia pellettien käsittelyssä sekä polttamisessa. Holvautumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat pellettien kokojakauma, pellettien muoto, tavallista korkeampi pellettien kosteus sekä varastopetin syvyys. Pellettien muodon ollessa kapeita ja pitkiä niiden herkkyys holvautumiseen kasvaa. Myös epätasainen pellettien koko vaikuttaa herkkyyteen holvautua. (Abdoli *ym.*, 2018, s. 122)

4 POLTTOTEKNIIKAT

Puupellettien polttotekniikka poikkeaa muista tavanomaisista tekniikoista, pellettien korkean ja tasaisen laadun johdosta. Verrattuna metsähakkeen polttoon tulipesä voidaan säätää huomattavasti tarkemmin pellettien tasaisen kosteuden ja koon vuoksi. Myös pellettien paremman virtauksen johdosta tulipesän automatisointi on mahdollista. Pellettejä käytetään yleisimmin pienissä ja keskikokoisissa lämmitysjärjestelmissä. Pellettejä poltetaan myös suurissa lämpö- ja CHP-laitoksissa. (Oberberger ja Thek, 2010, s. 179)

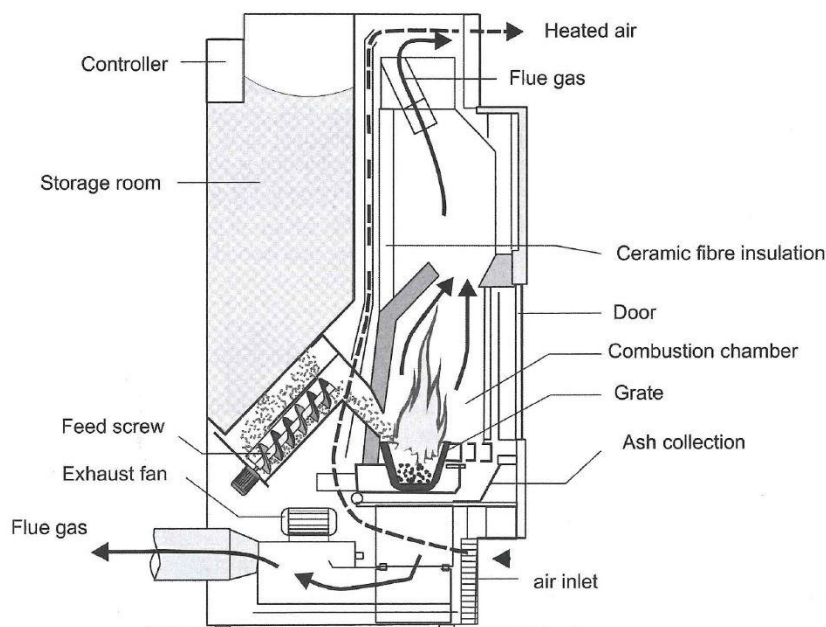
Puupellettien hyödyntäminen ainoana polttoaineena eri kokoluokan järjestelmissä ei ole aina kannattavaa. Pienet ja keskisuuret järjestelmät ovat suunniteltu hyödyntämään pelkästään puupellettiä, mutta suuren kokoluokan järjestelmissä aiheutuu ongelmia järjestelmän taloudellisuuden ja syntyvien päästöjen kanssa. Hiilidioksidi-päästöjä pyritään vähentämään jatkuvasti, jonka vuoksi puupelletit ovat hyvä vaihtoehto. Suurissa kokoluokissa puupellettien korkea hinta asettuu rajoitteeksi taloudelliselle kannattavuudelle. Tämän vuoksi suurissa järjestelmissä puupellettejä hyödynnetään yhteispolttona muun kiinteän polttoaineen kanssa, esimerkiksi hiilen. (Döring, 2013, s. 170)

4.1 Pienet lämmitysjärjestelmät

Pienlämmitysjärjestelmiä hyödyntävät tyypillisesti pienkiinteistöt, esimerkiksi kesämökit ja omakotitalot. Pellettien polttaminen tapahtuu pienlämmitysjärjestelmissä puupellettikamiinalla tai kiinteistöön soveltuvalla pellettipolttimella.

Pellettikamiinat ovat yleisesti ilmakiertoisia ja niiden teho vaihtelee 2-20 kW välillä. Kamiinat ovat automatisoituja ja niiden toimintaa ohjataan ohjausyksiköllä tai termostaatilla. (Suomen rakennusinsinöörien Liitto, 2014, s. 47) Pellettikamiina rakentuu pienestä polttoainesäiliöstä, polttoaineen syöttöruuvista, polttokammiosta, palamisilmapuhaltimesta, savukaasujen poistojärjestelmästä sekä lämmönvaihtimesta (Knuutila, 2003, s. 96) Pellettikamiinan toimintaperiaate esitetty kuvassa 4.1.

Pellettikamiinan toiminta edellyttää sähköä polttoaineen sytytykseen sekä puhaltimen toimintaan. Sytytys tapahtuu sähkövastuksen avulla, joka sytyttää kamiinan sisällä olevassa palamiskorissa olevat pelletit. Syöttöruuvijärjestelmä syöttää polttoainetta koriin tasaisesti palamisen edetessä ja tuhka putoaa korissa olevista raoista tuhkaluukkuun. Lämmönsiirto ympäristöön tapahtuu lämmönvaihtimen avulla. Kuumat savukaasut lämmittävät kamiinan läpi virtaavaa huoneilmaa ja savukaasut kulkeutuvat hormiin ja sieltä ympäristöön. Pellettikamiinat soveltuvat sähkölämmitteisiin pienkiinteistöihin lisälämmönlähteeksi tai päälämmönlähteeksi esimerkiksi kesämökille, joka ei vaadi lämmitystä vuoden ympäri. (Alakangas ja Paju, 2002, s. 24)



Kuva 4.1. Pellettikamiinan toimintaperiaate
(Van Loo ja Koppejan, 2008, s. 127)

Pellettipoltin rakentuu kattilasta, pellettisäiliöstä, polttimesta, tulipesästä, tuhkalaatikosta sekä putkilämmönvaihtimesta ja on toimintaperiaatteeltaan hyvin samantapainen, kuin öljypoltin. Pelletit syötetään kuljetinruuvilla polttokammioon polttimelle lämmöntarpeen mukaan. Polttimelle syötetään palamisilmaa, joko yhdestä tai useammasta suuttimesta. Palamisilman tuominen takaa puhtaan ja tehokkaan palamisen. Puupellettipolttimet voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin alasyöttöiseen polttimeen, vaakasyöttöiseen

polttimeen, sekä päältä syöttävään polttimeen (Kuva 4.2). Syöttötyylin valintaan vaikuttaa kattilan muoto. Jos liekit osuvat kattilan jäähdytettyihin pintoihin syntyy nokea, joka heikentää lämpöpintojen tehokkuutta. (Knuutila, 2003, s. 95)



Kuva 4.2. Pääperiaate eri syöttötavoista.
(Döring, 2013, s. 145)

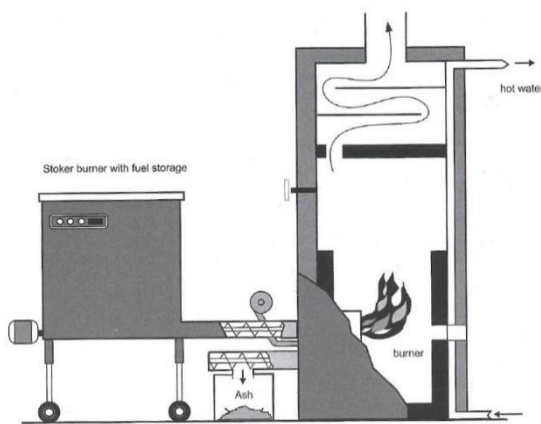
Polttimen kytkeytyessä päälle hehkutulppa sytyttää polttimella olevat pelletit. Palamisesta syntyvät savukaasut virtaavat kattilan yläosassa olevaan lämmönvaihtimeen, josta lämmin vesi pumpataan putkia pitkin lämmönsiirtopinnoille, kuten seiniin, lattiaan tai pattereihin.

Pellettipolttimia kehitetään jatkuvasti energiatehokkaammiksi sekä vähempipäästöisemmiksi. Tästä hyvänä esimerkkinä toimii Pyro-man Oy:n kehittämä pellettien kaasutuspolttin. Polttin erottuu perinteisestä tavasta siten, että pellettejä ei polteta keossa. Polttimessa prosessi on kaksivaiheinen. Ensimmäinen vaihe tapahtuu erillisessä esipolttokammiossa, jossa pelletti kaasutetaan. Esipoltosta jääneet palamiskelvolliset kaasut johdetaan varsinaiseen polttokammioon ja epäpuhtaudet sekä tuhka putoaa polttimen tuhkaluukkuun. (Pyro-Man Oy, 2019) Itä-Suomen yliopiston suorittaman tutkimuksen mukaan seoksen palaminen tapahtuu perinteistä poltinta puhtaammin, joka vähentää ympäristöön syntyviä päästöjä sekä pitää kattilan lämpöpinnat puhtaampana, vähentäen kattilan huoltotarvetta. (Nuutinen *ym.*, 2010)

4.2 Keskikokoiset lämmitysjärjestelmät

Keskikokoiset lämmitysjärjestelmät koostuvat eri tyyppisistä stokeripolttimista sekä arinapolttojärjestelmistä. Näitä lämmitysjärjestelmiä käyttävät pienet alueelliset lämpökeskukset sekä suuret kiinteistöt, esimerkiksi maatilat ja koulut. (Knuutila, 2003, s. 96)

Stokeripolttimet ovat yleisemmin käytettyjä metsähakkeen poltossa, mutta säädettäessä palamisilman määrää ja polttoaineen syöttömäärää, se soveltuu myös pellettien polttamiseen. Yleisesti stokeripolttimien teholuokka on 20-40 kW, mutta tietynlaisella vaakasyöttöisellä polttimella voidaan saavuttaa jopa 1 MW teho. Rakenteeltaan stokeripoltin poikkeaa perinteisestä pellettipoltimesta siten, että poltin sijaitsee osittain kattilan ulkopuolella, jotta koko kattilan tulipesä hyödyntää tehokkaasti syntyvää lämpöä (Kuva 4.3). Polttimessa lämpötila voi nousta kuivaa polttoainetta käyttäessä jopa 1000 °C, jonka takia polttimessa käytetään vesijäähdytystä ja materiaalina kestävää valurautaa. Stokeripolttimen hyvänä puolena on se, että sillä voidaan polttaa tehokkaasti koko tehoalueella 0-100 %, jolloin erillistä vesivaraajaa ei tarvita. (Van Loo ja Koppejan, 2008, s. 129)



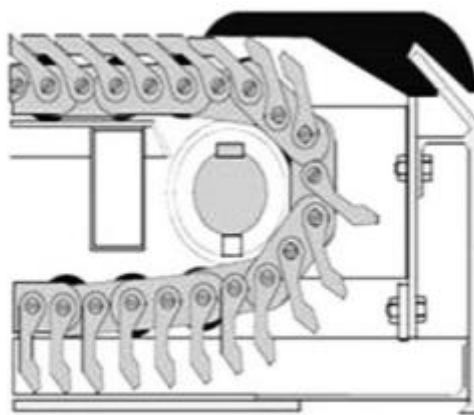
Kuva 4.3. Stokeripolttimen toimintaperiaate

(Van Loo ja Koppejan, 2008, s. 129)

4.3 Suuret lämmitysjärjestelmät

Pellettiä polttavissa suurissa järjestelmissä käytetään yleisimmin arinapolttoa, leijukerrospolttoa, sekä pölypolttona muun kiinteän polttoaineen kanssa. Suuren kokoluokan järjestelmät koostuvat teollisista ja alueellisista lämmitysjärjestelmistä. (Döring, 2013, s. 163) Yleisesti suurien kokoluokkien järjestelmissä arinapolttoa käytetään pienemmissä laitoksissa ja leijukerrospolttoa yli 20 MW laitoksissa. (Huhtinen *ym.*, 2008, s. 36)

Arinapoltoissa palaminen tapahtuu liikkuvalla tai kiinteällä arinalla. Polttoaine pyritään levittämään arinalle mahdollisimman tasaisesti, tasaisen palamisen takaamiseksi. Kiinteät arinat jaetaan taso-, viisto- ja porrassarinoihin (Huhtinen *ym.*, 2008, ss. 35–36) Primääri-ilma johdetaan arinapalkkien välissä olevista raoista ja polttoaineen liike arinalla aiheutetaan pienen edestakaisen liikkeen tai tärinän avulla. Arinalla polttoaine ensin kuivuu, jonka jälkeen polttoaine kaasuuntuu sekä kiinteä polttoaine palaa. Liikkuvalla arinalla polttoaine syötetään syöttöruuvilla arinan toisesta päästä. Arinan nopeus säädetään palamisreaktion mukaan, jotta polttoaineesta saataisiin kaikki hyöty irti. Liikkuva arina soveltuu hyvin yhtenäisten palamisolosuhteiden takia pelletin polttamiselle (Kuva 4.4). Myös pelletin vähäinen tuhkapitoisuus vähentää arinan kunnossapitoa. (Van Loo ja Koppejan, 2008, ss. 138–139)



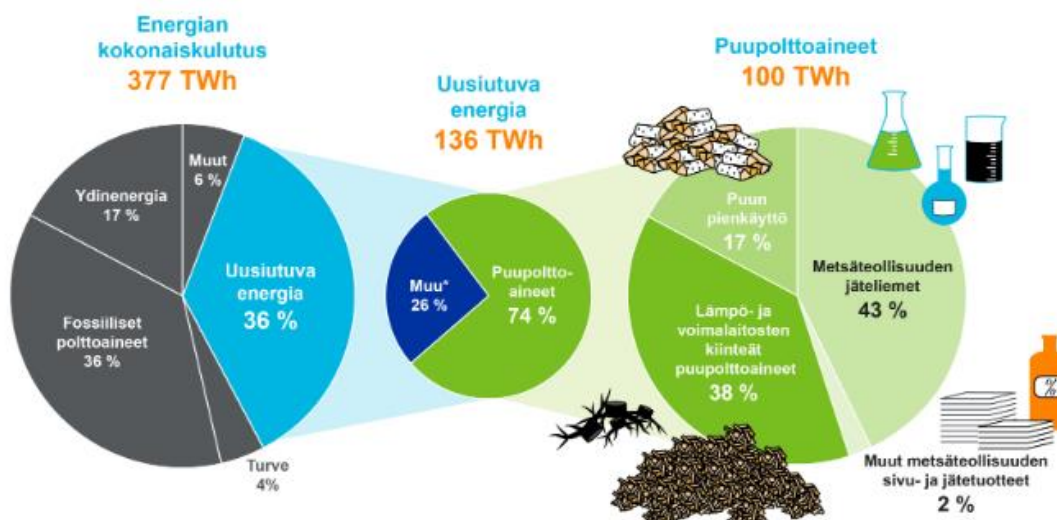
Kuva 4.4. Liikkuvan arinan toimintaperiaate

(Döring, 2013, s. 164)

Leijukerros poltto soveltuu hyvin suuren kokoluokan lämpölaitoksiin. Leijukerroskattilat ovat yleisesti teho luokaltaan yli 20 MW, mutta soveltuvat myös pienempitehoisiin kattiloihin. Leijukerroskattilat takaavat tasaisen ja täydellisen palamisen. Kerrosleijukattilassa polttoaine palaa hiekkapetissä, jota leijutetaan polttokammiossa alapäin puhallettavalla ilmalla. Leijukerros poltossa polttoaine syötetään tulipesään jauhattuna. Puhallusilman nopeus leijukerroskattilassa on noin 1-2 m/s (Van Loo ja Koppejan, 2008, s. 148). Polttoaine syötetään kattilaan ja se hautautuu hiekkapetiin, jossa se kuivuu ja syttyy palamaan. (Huhtinen *ym.*, 2008, s. 36)

5 MERKITYS ENERGIANTUOTANNOSSA

Puupolttoaineiden merkitys energiantuotannossa on tasaisessa kasvussa Suomessa. Vuonna 2017 Suomessa energian kokonaiskulutus oli 377 TWh (Kuva 5.1). Tästä uusiutuvan energian osuus oli 36 %, eli 136 TWh. Puupolttoaineita kulutettiin 74 % uusiutuvan energian osuudesta, eli 100 TWh. (Luonnovarakeskus, 2018)



Kuva 5.1. Energian kokonaiskulutus vuonna 2017 (Luonnovarakeskus, 2018)

Pellettien käyttöä on lisännyt puupellettiä käyttävien voimalaitosten käyttöönotto sekä vanhojen laitosten muuttaminen pellettikäyttöisiksi. Vuonna 2018 lämpö- ja voimalaitokset kuluttivat puupellettiä 270 000 tonnia (Sallinen, 2019). Verrattuna vuoteen 2011 käyttö on kasvanut merkittävästi, jolloin voimalaitoksissa puupellettiä kulutettiin 109 000 tonnia (Sallinen, 2018).

Yhteensä pellettien laskennallinen kulutus Suomessa vuonna 2018 oli 436 000 tonnia. Koti- ja maatalouksien osuus kulutuksesta oli 62 000 tonnia. (Sallinen, 2019) Verrattuna Suomen kokonaisenergian kulutukseen määrät ovat vielä pieniä, eikä sen merkitys ole kovin suuri pellettien käytön kasvusta huolimatta.

6 HAASTEITA PUUPELLETILLE

Tässä kappaleessa käsitellään haasteita, joiden koetaan hidastavan puupelletin kehitystä Suomessa ja kuinka toimintaa voitaisiin kehittää, jotta pellettien käyttö lähtisi kovempaan kasvuun. Merkittävimpiä haasteita, jotka koetaan olevan puupellettiteollisuuden ja käytön hidasteena Suomessa ovat poliittisten tukien ja määräysten puuttuminen, kilpailu muiden kiinteiden puupolttoaineiden kanssa sekä raaka-aineen, tuotekehityksen sekä investointien puute. Suomessa puupelletit ovat suuntautuneet lähinnä keskisuurien ja suurien lämpölaitosten käyttöön. (Proskurina *ym.*, 2017, ss. 16–17) Tällä hetkellä puupelletti ei ole pienkiinteistölämmittäjille tarpeeksi kilpailukykyinen, jotta kuluttajat kokisivat kannattavaksi vaihtaa esimerkiksi perinteisestä öljylämmityksestä puupellettilämmitykseen.

Poliittisten tukien ja määräysten puuttuminen koetaan olevan yksi merkittävä syy puupellettien käytön ja teollisuuden hitaalle kasvulle Suomessa. Bioenergiaa tuetaan Suomessa valtion takaamalla tuilla, mutta näiden tukien ei uskota olevan tarpeeksi hyviä puupellettien käytön kasvun takaamiseksi. Esimerkiksi Ruotsissa puupelletit ovat huomattavasti merkittävämmässä roolissa. Puupelletin käyttöä kannustetaan energiapolitiikan puitteissa, joka kattaa puupelletin verotusta ja tukia. Suomalaiset puupellettialan toimijat uskovatkin, että näiden tukien lisääminen kannustaisi suomalaisen puupellettitoimialan kasvua. (Proskurina *ym.*, 2017, ss. 14–16) Suomessa oman puupellettistandardin puute saattaa vaikuttaa pellettien käyttöön. Varsinkin Suomessa oman standardin puute aiheuttaa pienkuluttajissa epätietoisuutta. Oman standardin luominen kasvattaisi ihmisten luottamusta kotimaisen puupelletin korkeaan laatuun sekä saattaisi tiedon helpommin ihmisten saataville. Tieto pelletin eduista ja ominaisuuksista olisi helpommin pienkuluttajien saatavilla.

Toinen merkittävä haaste puupelletin käytön kasvulle on sen kilpailukyky verrattuna muihin kiinteisiin biopolttoaineisiin. Metsähake on merkittävin kiinteä biopolttoaine Suomessa ja sen saatavuus sekä edullisuus heikentävät puupelletin kilpailukykyä. Metsähaketta kyetään polttamaan edullisemmalla polttolaitteistolla, jonka takia

metsähake on yleisemmin valittu polttoaine puupelletin sijasta. Puupelletin hintaan vaikuttaa myös puupellettimarkkinoiden kansainvälistyminen, joka tuo uusia pelletin hintaan vaikuttavia tekijöitä, joita metsähakemarkkinoilla ei ole. Myös fossiilisten polttoaineiden matalan hinnan koetaan vaikuttavan puupellettimarkkinoihin. Korottamalla fossiilisten polttoaineiden hintaa ja verotusta voitaisiin mahdollistaa puupellettienergian kasvua. (Proskurina *ym.*, 2017, s. 13)

7 YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli muodostaa selkeä ja tiivis työn puupelletistä. Työssä hyödynnettiin aiheeseen soveltuvaa kirjallisuutta sekä tutkimuksia. Työssä tarkasteltiin pelletin käsittelyyn sekä palamiseen vaikuttavia ominaisuuksia. Puupelletin ominaisuuksista merkittävimpiä ovat kosteus, mekaaninen kestävyys sekä lämpöarvo. Kosteus vaikuttaa palamisominaisuuksiin sekä pelletin kestävyteen. Mekaaninen kestävyys kuvaa pelletin kestävyttä ja mittaa kuinka paljon siitä irtoaa hienoaainesta. Hienoaines voi aiheuttaa ongelmia niin kuljetuksessa, käsittelyssä, kuin palamisessakin. Puupelletin lämpöarvo on muihin puupolttoaineisiin verrattuna korkea.

Pellettien tuotantomäärät ovat vaihdelleen sinä aikana, mitä puupellettiä on hyödynnetty Suomessa. Tällä hetkellä puupellettien tuotanto on kasvussa ja viime vuosina on saavutettu tuotantomäärissä ennätysmääriä. Pellettien jakelu tuotantolaitoksilta asiakkaille tapahtuu joko pienissä sekä isoissa säkeissä tai irtotavarana rekkakuljetuksella. Varastoinnissa merkittävin huomioon otettava tekijä on kosteus. Kosteus aiheuttaa puupelletin turpoamisen ja rakenteen hajoamisen.

Puupellettiä hyödynnetään niin pienissä kotitalouksissa pellettikamiinoissa ja -polttimissa, keskisuurissa aluelämpölaitoksissa sekä suurissa voima- ja lämpölaitoksissa arina- sekä leijukerros-poltossa. Pellettien tasainen laatu ja sopivat ominaisuudet mahdollistavat polton automatisoinnin niin isossa, kuin pienessä kokoluokassa.

Puupelletti on suomalaisille vielä melko uusi polttoaine, eikä sen merkitys ole kasvanut vielä järin merkittäväksi. Silti puupelletillä on potentiaalia kasvaa Suomen markkinoilla, niin kuin se on kasvanut maailmalla, etenkin Euroopassa. Pellettien kehitys on kohdannut haasteita kasvun takaamisessa, esimerkiksi muiden puupolttoaineiden vahvemman kilpailukykyyn ja markkina-aseman sekä jatkuvasti muuttuvien poliittisten päätösten johdosta.

LÄHDELUETTELO

- Abdoli, M.A., Golzary, A., Hosseini, A., ja Sadeghi, P. (2018). *Wood Pellet as a Renewable Source of Energy From Production to Consumption*. Tehran: Springer.
- Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-luntama, J., ja Korhonen, J. (2016). *Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia*. Espoo: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.
- Alakangas, E. ja Paju, P. (2002). *Wood pellets in Finland - technology , economy , and market Wood pellets in Finland*. Jyväskylä.
- Amaza (2012). Holzpellets. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Holzpellets.jpg> [Viitattu 23 huhti 2019].
- Döring, S. (2013). *Power from Pellets*. Berlin: Springer.
- Heinimö, J. (Lappeenranta U. of T. ja Alakangas, E. (VTT T.R.C. of F. (2009). *Market of biomass fuels in finland*.
- Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T., ja Urpalainen, S. (2008). *Voimalaitostekniikka*. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.
- Knuutila, K. (Jyväskylän T.O. (2003). *Puuenergia*. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Kuokkanen, M. ja Kolppanen, R. (2010). Nesteiden ja kiinteiden aineiden lämpöarvojen määrittäminen, 6.
- Van Loo, S. ja Koppejan, J. (2008). *The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing*. London: Earthscan.
- Luonnonvarakeskus (2019). Puupelletit 2018. *Luonnonvarakeskus*. URL: https://stat.luke.fi/puupelletit-2018_fi [Viitattu 31 maaliskuuta 2019].
- Luonnonvarakeskus (2018). Puun energiakäyttö uuteen ennätyskseen 2017. *Luonnonvarakeskus*. URL: <https://www.luke.fi/uutiset/puun-energiakaytto-uuteen-ennatyskseen-2017/> [Viitattu 24 maaliskuuta 2019].
- Nuutinen, I., Sippula, O., Tissari, J., ja Jokiniemi, J. (2010). Fine particle and gas emissions of a novel pellet burner based on gasification combustion. *Teoksessa: International Aerosol Conference 2010*. Helsinki.
- Obernberger, I. ja Thek, G. (2010). *The Pellet Handbook*. London: Earthscan.
- Proskurina, S., Alakangas, E., Heinimö, J., Mikkilä, M., ja Vakkilainen, E. (2017). A survey analysis of the wood pellet industry in Finland: Future perspectives, 25.

- Proskurina, S., Vakkilainen, E.K., Mikkilä, M., ja Heinimö, J. (2015). The wood pellet business in Finland. *ResearchGate*, 1475–1480.
- Puhakka, A., Alanen, V.-M., Kokkonen, A., Nalkki, J., ja Rousku, P. (2003). *Pellettilämmitysopas, Perustietoa pellettilämmityksestä*. Helsinki, Joensuu.
- Pyro-Man Oy (2019). *Pyro-Man - ainutlaatuinen vaiheistettu polttotekniikka*. URL: <http://www.pyro-man.net/> [Viitattu 16 huhti 2019].
- Rouvinen, S., Ihalainen, T., ja Matero, J. (2010). *Pelletin tuotanto ja kotitalousmarkkinat Suomessa*.
- Sallinen, P. (2018). Pelletti palaa, mutta vaatimattomasti. *Energia uutiset*, 9 huhti.
- Sallinen, P. (2019). Puupellettejä ennätysmäärä. *Energia uutiset*, 28 maalisk.
- Salonen, M. (ENAS O. (2012). *Briketin analyysitodistus*.
- Selkimäki, M., Mola-Yudego, B., Röser, D., Prinz, R., ja Sikanen, L. (2010). Present and future trends in pellet markets, raw materials, and supply logistics in Sweden and Finland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (9), 3068–3075.
- Suomen rakennusinsinöörien Liitto, R. ry (2014). *Uusiutuvien lähienergioiden käyttö rakennuksissa*. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.