

Puukaasutus paikallisesti energiantuotannossa

Sami Selänniemi

Opinnäytetyö
Toukokuu 2017
Luonnonvara- ja ympäristöala
Agrologi (ylempi AMK), Biotalouskehittäminen

Tekijä(t) Selänniemi, Sami	Julkaisun laji Opinnäytetyö, ylempi AMK	Päivämäärä toukokuu 2017
	Sivumäärä 39	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Puukaasutus paikallisesti energiantuotannossa		
Tutkinto-ohjelma Agrologi (ylempi AMK)		
Työn ohjaaja(t) Honkanen, Hannariina; Vesisenaho, Tero		
Toimeksiantaja(t) Suomen metsäkeskus Kauppinen, Veli-Pekka		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Puunkäyttö energiantuotannossa pienessä mittakaavassa on yleisesti rajoittunut pelkkään puunpoltoon. Puukaasutus sähköksi ja lämmöksi generaattorin avulla avaa uusia mahdollisuuksia. Suomessahan käytettiin sodan aikana yleisesti häikäpönttöjä autojen liikutteluun, josta monille on varmaan syntynyt negatiivinen kuva puukaasua kohtaan. Kriisiajan jälkeen materiaalit ja tekniikka on kehittynyt huomasti, joka varsinkin paikallistuotannossa on varteen otettava tekniikka tuottaa energia puuperäisistä materiaaleista.</p> <p>Ekologinen ajattelu auttaa ymmärtämään työn tarkoitusperiä. Varsinkin metsäjalanjäljen tutkiminen ja laskenta paljastavat puukaasutuksen mahdollisuuksia. Työssä selvitetään mahdollisuuksia kyläkohtaista energiaomavaraisuuteen siirtymistä ja siihen tarvittavaa metsäpinta-alaa.</p> <p>Pilottikohteesta on määritelty tarvittava lämmön ja sähkön käyttömäärät. Näiden perusteella on määritelty sopiva puukaasuttimen koko, hakkeen varastosiilon koko ja vuosittainen hakkeen ja puun käyttömäärä käytäntökohtaisesti. On tarkasteltu myös mahdollista sähkön sähköverkkoon syöttämistä.</p> <p>Näyttäisi siltä, ettei pienimuotoisen sähköntuotannon kannattavuus ole kovin hyvä nykyisellä pörssisähköhinnalla. Sähkön hinnan noustessa, hyvällä sähköyhtiön sopimuksella tai sähköntuotantotukien noustessa tuulivoimalaitoksille maksettavalle tasolle on sähköntuotanto hyvinkin kannattavaa. Nykyisin kuitenkin laitos kannattaa mitoittaa niin, että puukaasutettu energia käytetään lähes kokonaan ns. peruskuormalla. Tällöin laitoksen koko on pienempi ja halvempi korvaten kallista ostoenergiaa. Hyötyjä saadaan mm. sähkövarmuudella ja pienemmällä liittymäkoolla.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Puukaasu, paikallinen energiantuotanto, puunkäyttö, lähienergia		
Muut tiedot		

Author(s) Selänniemi, Sami	Type of publication Master's thesis	Date May 2017 Language of publication: Finnish
	Number of pages 39	Permission for web publication: x
Title of publication Wood gasification locally in energy production		
Degree programme Bioeconomy Development		
Supervisor(s) Honkanen, Hannariina; Vesisenaho, Tero		
Assigned by Suomen metsäkeskus Kauppinen, Veli-Pekka		
Abstract <p>Using wood in energy production in a small scale is generally limited to burning wood only. Wood gasification to electricity and heat with the help of a generator offers new possibilities. In Finland carbon monoxide bowls were used during the war to move cars, which possibly has led to a negative conception towards wood gas. After the time of crisis, the materials and techniques have developed a lot, and because of that it has become an appropriate technique to produce energy of wooden material.</p> <p>The ecological way of thinking helps to understand the purpose of the thesis. Studying and calculating of the forest food print in particular reveal the possibilities of wood gasification. The study clarifies the possibilities of villages to move over to energy self-sufficiency and the forest area needed for this changeover.</p> <p>The consumption of heat and energy needed for the pilot object was defined. On the basis of this data, the appropriate size of the wood carburettor and storage silo, and the yearly consumption of wood and chips with fermentation time were defined. The possibility to supply power to the grid was also studied.</p> <p>It seems that with the current stock market price of electricity financial profit cannot be expected. If the electricity prices rise, electricity production could be quite profitable in case one had a good contract with the electric company or the subsidies for electricity production reached the same level as the subsidies for wind mills. Nowadays it's however reasonable to measure the facility so that the wood carburettored energy will be used almost entirely as a so called base load. This way the size of the facility is smaller and cheaper and replaces the expensive purchase energy. The benefits are derived from the certitude of the electricity as well as from the smaller junction size.</p>		
Keywords/tags (subjects) Wood gas, local energy production, use of wood, local energy		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto puukaasutukseen	6
2	Lähienergialla omavaraisuuteen-hanke.....	7
3	Puukaasun tuotanto	8
3.1	Historia	8
3.2	Kaasuttimen rakenne	10
3.3	Polttoaine kaasutuksessa	11
3.4	Kaasutin oheislaitteineen.....	12
4	Puuhakkeen valmistus-, käsittely ja poltto-ominaisuuksien parantaminen .	14
4.1	Hakkeen ominaisuudet ja laatu.....	14
4.2	Raaka-aine, varastointi ja luonnonkuivaus.....	15
4.3	Haketus	16
4.4	Hakkeen keinokuivaus ja kuivauslaitteisto	17
4.5	Hakkeen seulonta ja tasalaatuisuus	18
5	Puunenergiakäytön ekologisuus.....	19
5.1	Ekologinen jalanjälki.....	19
5.2	Metsäjalanjälki	20
5.3	Kestäväkehitys ja sen laskenta	20
5.4	Ekologinen jalanjälki.....	21
6	Pilottikohde	23
6.1	Tarvittavat energiamäärät	24
6.2	Puukaasulaitos	26
6.3	Laskenta.....	26
6.4	Kannattavuuslaskenta	28
6.5	Päätelmä laitoksen kannattavuudesta	28
7	Tulevaisuuden laitteet	28
7.1	Puukaasunjalostus	29

8	Päätelmät ja yhteenveto.....	30
9	Pohdintaa puunkaasutuksesta	31
9.1	Puunkaasutus ilmastonmuutoksessa.....	32
9.2	Puunkaasutuksen tulevaisuus	33
9.3	Kehityskohteita puunkaasutuksessa	34
	Lähteet.....	35
	Liitteet	37
	Liite 1. Pörssisähkön hinta	37
	Liite 2. Rahoitussuunnitelma	38
	Liite 3. Tulossuunnitella.....	39

Kuviot

	Kuvio 1. Kaasun kulku moottoriin. Kaasuttimesta (1) kaasu johdetaan pyörrepuhdistimeen (2), minkä jälkeen kaasu jäädytetään (3), Puhdistuksen (4) ja vedeneroituksen (5) jälkeen kaasu johdetaan sekoitusventtiiliin (7), johon palamisilma otetaan ilmansuodattimen (6) kautta, jonka jälkeen kaasu on valmista moottoriin. Generaattorin käynnistyksessä apuna käytettiin sähköimuria (9), jonka tehoa säädettiin venttiilillä (8). (Köhler 2007,38).....	12
	Kuvio 2. Varastokasan peittäminen ja ladonta (Roitto 2014,26)	16
	Kuvio 3. Ruuvihakkurin periaatekuva (Döring 2013, 82)	17
	Kuvio 4. Kaksivaiheisen reikäseulan toimintaperiaate täryseulassa (Roitto 2014)	18
	Kuvio 5. Suurimmat ekologiset kokonaisjalanjäljet (Loh & Wackernagel 2004.)	22
	Kuvio 6. Living Planet-raportti 2004; ruuan, kuidun ja puun kulutuksen jalanjälki henkeä kohden (Loh & Wackernagel 2004.)	23
	Kuvio 7. Sähkönkäyttö Eerikkilän-tilalla 2016 (Vaasansähkö käyttöraportti 2017.) ..	25
	Kuvio 8. Mikkosen Vesan auto laitteistoinen. (Suomen ekoautoilijat 2017.).....	31
	Kuvio 9. Pääministeri Juha Sipilän El Kamina	34

Taulukot

	Taulukko 1. Kaasun keskimääräinen koostumus (Köhler 2007, 39)	11
--	---	----

Taulukko 2. Puulajien painoja kuutiometriä kohden (Hyytiäinen & Tötterman 1944, 33).....	11
Taulukko 3. Tilan puukaasuttimen hyödyntäminen kokonaispainotteisesti.	26
Taulukko 4. Tilan puukaasuttimen hyödyntäminen tuulisähkö hinnalla.	27
Taulukko 5. Tilan puukaasuttimen hyödyntäminen korkealla sähkön hinnalla.....	27
Taulukko 6. Kaasujen koostumuksia.	29

Aisaus

Halkaisematon pölli kuoritaan vain osittain, yleensä vain kahdelta puolelta

Arina

Säiliön alaosassa oleva laite, jonka varassa poltettava aine on

Hehtolitra

Yksi hehtolitra (hl) on sata litraa

Hiilikaasutin

Puuhiiliä polttoaineena käyttävä kaasutin

Holvaantumisen

Polttoainekappaleiden jäädessä toistensa kannatukselle syntyy ontelo, joka estää hiilen tai pilkkeen valumisen palotilaan

Häkäkaasu

Epätarkka ilmaus, jolla tarkoitetaan samaa kuin puukaasu

Häkäpönttö (kaasugeneraattori)

Muodoltaan vaihteleva puukaasutinlaitteiston perusosa, jonka pääosat ovat arina, tulipesä ja hiili/pilkesäiliö. Monesti myös koko laitteistoa puhdistimiseen ja lauhduttimiseen kutsutaan kansanomaisesti häkäpöntöksi.

Ilmaläppä

Yleensä tulipesän kyljessä oleva imuputken läppä, joka estää kaasua pääsemästä kehittäimestä ulkoilmaan

Ilmasuutin

Ilman tuloputken tulipesään ulottuva pää

Kormu

Hiilimiilun sydänosa

Lauhdutin

Laite, jossa osa kaasun lämmöstä johdetaan ulkoilmaan

Käynnistystuuletin (imuri)

Sähkömoottorin käyttämä laite, joka imullaan aikaansaa vedon generaattorissa

Levypuhdistin

Mekaaninen puhdistin, jossa kaasu johdetaan putkessa poikittain olevien reiällisiä peltilevyjä vastaan

Motti

Pinokuutiometri (p-m³) yleisesti käytetty halkomitta. Motti on noin 0,7 kiintokuutiometriä (m³)

Nielu

Tulipesän ahtain kohta

Pilkekaasutin

Puupilkettä polttoaineena käytävä kaasutin

Puhdistin

Laite, jossa kaasusta poistetaan erilaiset kiinteät epäpuhtaudet. Puhdistimen oikeampi nimitys nykykielellä olisi suodin

Puukaasu (häkäkaasu)

Yleisnimi puusta tai puuhiilestä kehitetylle kaasulle

Puukaasutin (kaasutin, kaasutinlaite)

Yleisnimitys, jolla tarkoitetaan puukaasun kehittämiseen, jäädyttämiseen ja puhdistamiseen tarvittavaa laitteistoa

Pyörrepuhdistin (sykloni)

Mekaaninen puhdistin, jossa epäpuhtaudet erotetaan kaasusta kiertävän liikkeen avulla

Sekoitin

Lisäilman ja kaasun sekoituslaite

Sulkusuodatin

Määräysten mukainen puhdistimen ja moottorin väliin asennettu varolaite, joka estää puhdistamattoman kaasun joutumisen moottoriin

Suodatin

Usein kankainen puhdistimen osa, joihin epäpuhtaudet tarttuvat

Säiliö (pilke- tai hiilisäiliö, pönttö)

Kuorma- ja linja-autoissa useimmiten lieriömäinen tai neliskulmainen tulipesän yläpuolella oleva tila, josta polttoaine valuu palotilaan. Henkilöautomalleissa muoto vaihtelee

Tuhkasäiliö

Generaattorin alimmainen osa, johon tuhka putoaa

Tulipesä

Tila, jossa varsinainen palaminen tapahtuu (Köhler 2007.)

1 Johdanto puukaasutukseen

Öljyn loppuminen ja korvaavien energiaratkaisujen löytäminen on noussut otsikoihin medioissa viime aikoina. Riippuvuus öljystä sekä Kioton sopimus ovat Suomessakin nostaneet puheenaiheeksi oman energiantuotannon.

Maatalouden merkitys energiantuotannossa voi olla suuri tulevaa energiapulaa ennakoidessa. Huomattava osa metsästä saatavasta pien- ja lahopuustoa ei käytetä höydyksi tuotannossa. Puiden hyödyntäminen paikallisesti energiantuotannossa lyhentää kuljetusmatkoja ja hyödyntää kyläyhteisöjen elinkelpoisuutta. Puiden korjaamattomuus ei hyödynnä luontoa ollenkaan suoranaisesti. Luonnossa maatumisen tapahtuu usein sekä kompostoitumalla että mädäntymällä. Kompostoitumisprosessissa kuluu happea, ja syntyy lämpöä ja hiilidioksidia. Mädättämällä syntyy biokaasua, joka sisältää hiilidioksidia ja metaania. Hiilidioksidi on kasvihuonekaasu, mutta kasvit sitovat hiilidioksidia yhtä paljon kasvaessaan kuin luovuttavat hajotessaan. Puiden jäädessä metsään lahoamaan niin metsään jää lopputuotteena humusta, mikä osaltaan lisää luonnon monimuotoisuutta aiheuttaen kasvihuonekaasuja. Kaasuttamalla puut energiaksi vakavia kasvihuonekaasuja ei synny, ja puuntuhkat voi viedä takaisin metsään lannoitteeksi. Tällöin ei metsän ravinnetasapaino paljon järky ja tuotantoa voidaan sanoa olevan kestävä kehityksen mukaista. (Suomen metsävarat kasvavat jatkuvasti 2017.)

Puukaasutushan on hyödynnetty 1800-luvun lopusta saakka. (Hyytiäinen & Tötterman 1944.) Kuitenkin puunkaasutusta on hyödynnetty niin kauan kuin jotain on poltettu eli esimerkiksi nuotiota poltettaessa polttoaine ensin kaasuuntuu ja, sitten kaasut palavat tuottaen lämpöä. Puunkaasutuksessa puuta poltetaan vajaalla happimäärällä, jolloin kaasussa olevat palavat kaasut voidaan hyödyntää erikseen energiaksi.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia kannattavuutta paikallista raaka-ainetta hyödyntävässä laitoksessa ja tutkia energia hyödynnettävyys paikallisesti. Muita tutkimuskohteita on laitoksen ekologinen jalanjälki, varsin metsäjalanjäljen tutkiminen. Samalla työssä tarkastellaan ekologinen kestävyys. Työ tehdään Metsäkeskukselle, jossa on halua kehittää puun energiakäyttöä kestäväällä mallilla pientuotannossa.

Paikallisessa energiatuotannossa merkitystä on lähienergiantuotannolla, jolloin hyödyt jää lähelle tuotantolaitosta. Samalla pidetään maaseudut ja kyläyhteisöt työllistettyinä

ja asuttuina. Sivutuotteina metsät pysyvän maastoon tottumattomille kuljettavina ja ”kauniina”.

Tulokset ovat hyödynnettävissä pienillä muutoksilla moniin paikkoihin esimerkiksi maatiloilla, kasvihuoneilla, taloyhtiöillä, kaupunkien ja kuntien energiantuotannossa. Laitoksia suunniteltaessa ja rakentaessa pitää kuitenkin ottaa huomioon luonnon monimuotoisuuden säilyminen.

2 Lähienergialla omavaraisuuteen-hanke

Opinnäytetyössä keskitytään osana hanketta puunkaasutuksen mahdollisuuksia. Puunkaasutus on pieni osa koko hanketta, mutta sopii hyvin mukaan hybridiratkaisuna ja sähköntuotanto muotona. Työ lisää osaltaan myös lähienergiantuottajien valinnan mahdollisuutta valittaessa energiantuotanto muotoa. Seuraavana koko hankkeen tavoitteet ja tarkoitus.

Hankkeen lähtökohtana on Keski-Suomen maakunnan energiahuoltovarmuuden turvaaminen ja energiaomavaraisuuden parantaminen hyödyntäen paikallisia energialähteitä, ottaa käyttöön tehokasta hyväksi havaittua teknologiaa, parantaa energialiiketoiminnan kannattavuutta sekä vähentää energiantuotannosta koituvia päästöjä. Nämä ovat selkeästi ja monin tavoin yhteydessä toisiinsa: esimerkiksi laadukkaan polttoaineen käyttäminen vähentää päästöjä, säästää huolto- ja korjauskustannuksissa sekä polttoainetta kuluu vähemmän. Lisäksi lämpölaitoksella esimerkiksi kesäaikaan voitaisiin energiaa tuottaa vaihtoehtoisella teknologialla.

Hankkeessa tiedotetaan ja tarjotaan neuvontaa uusista teknologisistä mahdollisuuksista, kannattavuudesta sekä uusista toimintamalleista. Lähienergian tuottajille ja käyttäjille tarjotaan monipuolista tietoa esimerkiksi puhtaan polton teknologisista ratkaisuista, polttoaineiden käsittelystä, omavaraisuudesta ja uusista liiketoimintamahdollisuuksista.

Hankkeessa tuotetaan energiaomavaraisen yhteisön toimintamalli, jolla energiaa pystytään siirtämään kannattavasti kiinteistöstä toiseen. Lisäksi tuotetaan ohjeaineistoa bio-, aurinko- ja sekä hybridi-ratkaisujen tehokkaasta hyödyntämisestä osana energiajärjestelmää (esimerkiksi yhdistetty aurinko- ja puulämmitys, hyötysuhteen nosto kesäajan käytössä, aurinkolämmön käyttö silloin, kun tehontarve alittaa biokattilan käytettävyyden alarajan). Hankkeessa kokeillaan uusia ratkaisuja puuperäisten polttoaineiden laadun parantamiseen (esimerkiksi kuivaaminen aurinkoenergialla). Pienimuotoisen sähköntuotannon mahdollisuuksia lämmöntuotannon ohessa selvitetään (esim. osuuskunta).

Toiminnalla halutaan lisätä lähienergiantuottajien tarjoamien palvelujen laatutietoisuutta ja lisätä palveluvalikoimaa. Hankkeella tuetaan maaseutuyrittäjyyttä monipuolistamalla sekä parantamalla kannattavuutta ja toimintamahdollisuuksia.

Hanketta koordinoi Suomen metsäkeskus, osatoteuttajia ovat JAKin Biotalousinsti-tuutti, POKE luonnonvara-ala sekä Keski-Suomen energiatoimisto. Hankkeen kesto on 03/2016-03/2019. (Honkanen 2016.)

3 Puukaasun tuotanto

Suomi on viime vuosikymmenien aikana valtaosin luopunut energiaomavaraisuudesta. Energian hintojen vaihtelu ja tekninen kehitys ovat kuitenkin lisänneet kiinnostusta puukaasun hyödyntämiseen. Tulevaisuudessa puukaasuteknologian hyödyntämistä ohjaa merkittävästi EU:n ja valtiovallan ohjaavat ja lainsäädölliset toimet. (Suomen ekoautoilijat 2017.)

Nykyinen hallitus on sitoutunut kotimaisen energian lisähyödyntämiseen, jopa työllisyys näkökulmilla hallitusohjelmaan kirjanneena. Vaikka Suomen tasavallan pääministeri on puukaasuautoilija ja ekokylän perustaja, niin suunnan muuttaminen näyttää aika rauhalliselta. Osittain tilanteeseen vaikuttaa nyt saatava halpa öljy. (Pääministeri Sipilän hallitusohjelma 2015.)

Puunkaasuuntumista tapahtuu lähes joka paikassa, missä polttoainetta käytetään esimerkiksi saunan uunissa. Lähes aina kiinteä polttoaine kaasuuntuu, minkä jälkeen palaminen tapahtuu erivaiheissa. Kaasuttimissa pyritään erottelemaan halutut kaasumaiset jakeet myöhempää käyttöä varten.

Puukaasutin on yleisnimi puusta, hiilestä ja energiakasveista käsittelevälle kehittämille, joilla valmistetaan puukaasua. Puukaasuttimia yleisesti nimitetään myös häkäpöntöiksi kansan kielessä.

3.1 Historia

Ensimmäisen puukaasuttimen rakensi Bischof vuonna 1839. Ensimmäisen puukaasutinkäyttöisen ajoneuvon rakensi Thomas Hugh Parker vuonna 1901. Puukaasu palaa auton moottorissa erittäin puhtaasti. Päästöt ovat käytössä alhaisemmat kuin bensiiniä käytettäessä ja vanhankin auton pakokaasut alittavat 0,2 % CO ja 20 ppm HC pitoi-

suuden ilman katalyyttistä puhdistusta. Puun ja hiilen käytön alkuaskeleen polttomootoreissa tehtiin vuonna 1881 Englannissa, jolloin valmistettiin kaasumaista moottori-polttoainetta kivihiilestä. Alussa laitteet olivat tosi isoja ja kiinteitä rakennelmia. Vuonna 1901 rakensi saksalainen Julius Pintsch imukaasulaitteen, joka ratkaisi imukaasumoottorin vaatimuksia. (Hyytiäinen & Tötterman 1944.)

Ensimmäinen maailmansota ja varsinkin sodan jälkeen alkoi varsinainen kaasuttimien kehittäminen Euroopassa. Varsinkin Ranskassa, Itävallassa ja Saksassa panostettiin kehittämiseen paljon, myös valtio avusteisesti. (Hyytiäinen & Tötterman 1944.)

Merkittävämpänä puukaasuttimien kehittäjänä voidaan pitää kemisti-insinööriä Georges Imbergiä, jonka kehitystyön tuloksia paranneltuna ja sovitettuna vieläkin yleisesti käytetään. Imbert-tehtaiden häkäpönttöjä valmistettiin puoli miljoonaa kappaletta vuoteen 1945 mennessä Saksalle ja sodan liittolaisille. (Köhler 2007.)

Suomessa satunnaisia kokeiluja lukuun ottamatta varsinainen kaasuttimien kehittäminen ja käyttö lisääntyivät talvisodan aikana, jolloin bensiinin saanti vaikeutui. Suurimmillaan maassamme oli noin 25 000 häkäpönttöä käytössä 1944. (Köhler 2007.)

Nykyisin puukaasutinta käytetään sähköntuotannossa jonkun verran, mutta toiveissa on kasvattaa öljystä riippumatonta tuotantoa jatkossa. Puukaasuautoilua harrastetaan suomessa pienessä piirissä. Esimerkiksi Suomen Ekoautoilijoilla jäsenillä on aktiivisessa käytössä noin 20 autoa, joita kehitetään aktiivisesti yhteistyössä. (Suomen ekoautoilijat 2017.)

Puukaasujärjestelmän hyötysuhde on korkea. Kaasutus hävittää vain noin 25 prosenttia polttoaineen energiasta lämmöksi. Perustuen pitkäaikaisiin käytännön kokeisiin puukaasutinperävaunulla varustettu Lincoln Mark V:n on todettu kuluttavan 1,54 kertaa enemmän energiaa, kuin sama auto kuluttaisi vastaavissa ajo-olosuhteissa bensiinillä ajettaessa. Näin ollen 1000 kg puuta on todettu korvaavan 385 litraa bensiiniä. (Mikkonen 2009.)

Ennen ajoon lähtöä puukaasutin tulee esilämmittää. Tämä vaatii käytettävästä polttoaineesta riippuen aikaa 5–10 minuuttia. Nopeimmin puukaasutin lämpenee kuivalla puupohjaisella polttoaineella. Hiilikaasutin lämpenee nopeammin. Kun puukaasukäyttöisellä autolla lähdettäessä liikkeelle on teho aluksi normaalia heikompi, mutta säästää järjestelmälle tyypillisen tason viiden minuutin kuluessa liikkeelle lähdöstä. (Mikkonen 2009.)

Puukaasuteknologiaa voidaan käyttää orgaanisen materiaalin aiheuttaman ympäristökuormituksen hallintaan ja energian tuotantoon. Kaasutuksessa voidaan raaka-aineina hyödyntää mm. puuta, hiiltä, turvetta ja erilaisia jätteitä. Puukaasun käyttö vähentää välillisesti fossiilisten polttoaineiden tarvetta ja näin suoraan kasvihuonekaasuja.

3.2 Kaasuttimen rakenne

Kaasutin on yleensä tulenkestävästä ja ruostumattomasta/haponkestävästä teräksestä valmistettu, jonka tarkoitus on muuttaa kiinteä polttoaine kaasumaiseen muotoon. Kaasuttimen käytetään kolmea palamisjärjestelyn mukaan nimettyä menetelmää suora palaminen, käänteinen palaminen ja poikittainen palaminen. Käänteinen palamisen hyödyntäminen on yleisintä, jossa palamiskaasut imetään alaspäin. (Hyytiäinen & Tötterman 1944.)

Polttoaineen palaminen Inberg tyylisessä generaattorissa kehittyy seuraavasti:

- Ilmasuuttimien lähinnä oleva polttoaine alkaa yhtyä hapen vaikutuksesta hiileen ja vetyyn palaessa 1200-1800 asteessa. Kaasua ei voida vielä johtaa moottorille, koska kaasua sisältää palamattomia kaasuja, hiilidioksidia, vesihöyryä ja typpeä.
- Kaasu johdetaan pelkistysvyöhykkeelle, jossa on hehkuvia hiiliä ainakin 700 asteen lämmöllä. Pelkistymisessä hiilidioksidi yhtyy hiileen muodostaen hiilimonoksidia. Myös vesihöyry pelkistyy hiilimonoksidiksi ja vedyksi. On tärkeää saada tervat ja etikkahappo ym. pelkistettyä, jottei niistä ole myöhemmin haittaa järjestelmässä. Yleensä palamisen varmistamiseksi palamisvyöhyke kuristetaan nieluksi. (Hyytiäinen & Tötterman 1944.)

Kaasuttaessa käytettävä polttoaine tulee olla kuivaa noin 10-20%. Hiiltä kaasuttaessa joudutaan jopa kastelemaan hiiltä vety tason määrän nostamiseksi, joka on herkästi syttyvä ja nopeasti palava kaasua. (Köhler 2007.) Taulukossa 1 puukaasun keskimääräisiä koostumuksia.

Taulukko 1. Kaasun keskimääräinen koostumus (Köhler 2007, 39)

Hiilimonoksidi	CO	17-22%
Vety	H₂	16-20%
Metaani	CH₄	2-3%
Raskaat hiilivedyt	C_nH_m	0,2-0,4%
Hiilidioksidi	CO₂	10-15%
Typpi	N₂	45-50%

3.3 Polttoaine kaasutuksessa

Käytettävä polttoaine ja käyttötarkoitus vaikuttavat kaasuttimen rakenteeseen huomattavasti. Puuta suomen olosuhteissa on käytetty huomattavasti saatavuuden kannustamana. Energiapuu ja ns. jätepuu on hyviä polttoaineita kaasutukseen hinnasta johtuen. Puulajilla valintaan on merkitystä, koska jotkut puulajit ovat tiiviimpiä. Taulukossa 2 on eri suomalaisten yleisten puulajien ilmakeiva painot kuutiometriä kohden. (Hyytiäinen & Tötterman 1944.)

Kaasutettava puulaji valinta on aika vapaata, mutta hiilloksen muodostuminen generaattorissa on tärkeää pelkistymisvaiheessa. Kiinteiden kaasuttimien kohdalla puulajia tärkeämmäksi valintakriteeriksi nousee saatavuus ja hinta.

Taulukko 2. Puulajien ilmakeiva painoja. (Hyytiäinen & Tötterman 1944, 33)

Koivu	550-700kg/m³
Leppä	420-600kg/m³
Haapa	580-660kg/m³
Kuusi	530-600kg/m³
Mänty	400-760kg/m³

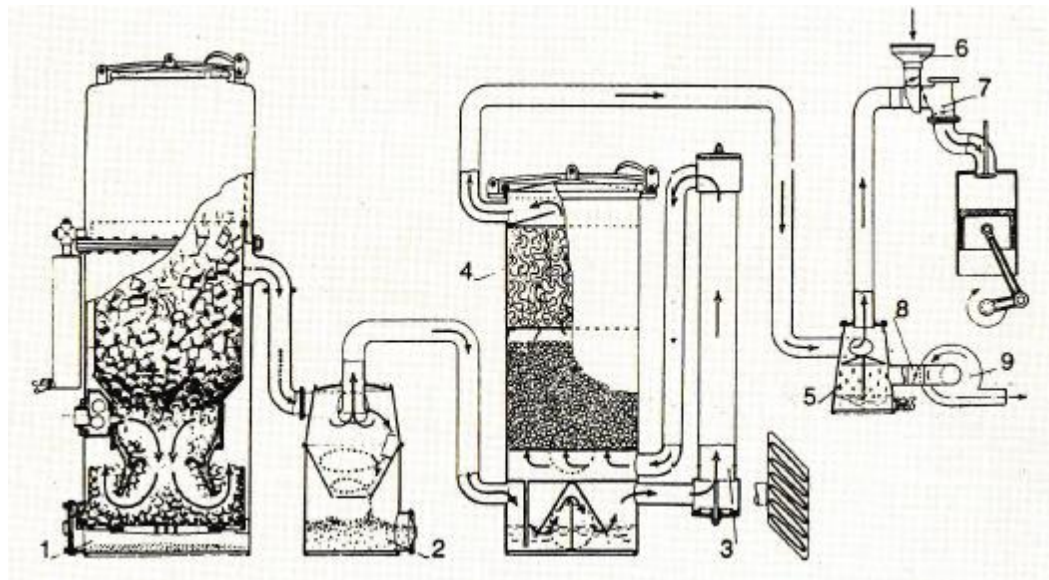
Perinteisesti pilkkeet on tehty mittaan tikkuaskin ja tupakkiaskin väliseen kokoon. Nykyisin esimerkiksi ruuvihakurilla on saatu sopivan kokoista puupilkettä. Pilkkeen tulisi olla tikutonta (holvaantuminen) ja purutonta parhaan tehon saavuttamiseksi.

Vaikka lahopuusta ja purusta ei saada kaasuttimessa kunnolla energiaksi muutettuaan, niin ei niistä pieninä määrinä haittaakaan ole toiminnalle.

3.4 Kaasutin oheislaitteineen

Puukaasutus vaatii moottorikäyttöön käyttötavan ja polttoaineen mukaan erilaisia oheislaitteita. Yleensä kehittimestä tulee erilaisia jakeita mm. tuhkaa ja vesihöyryä.

Lisäksi kaasu on hyvin kuumaa. Kuviossa 1 Inberg tyylinen kaasutin ja oheislaitteita.



Kuvio 1. Kaasun kulku moottoriin. Kaasuttimesta (1) kaasu johdetaan pyörrepuhdistimeen (2), minkä jälkeen kaasu jäädytetään (3), Puhdistuksen (4) ja vedeneroituksen (5) jälkeen kaasu johdetaan sekoitusventtiiliin (7), johon palamisilma otetaan ilmansuodattimen (6) kautta, jonka jälkeen kaasu on valmista moottoriin. Generaattorin käynnistyksessä apuna käytettiin sähköimuria (9), jonka tehoa säädettiin venttiilillä (8). (Köhler 2007,38)

Kaasutin (1) osat joutuvat kestämään suuria kuumuuksia (jopa 2000 astetta) joidenkin pysyessä suhteellisen viileinä, jolloin rakenteiden kiinnitykseen pitää kiinnittää suurta huomiota. Muita haasteita suunnitteluun:

- Ilmasuuttimien koko, lukumäärä, paikka ja ilman virtausnopeus.
- Paloilman esilämmitys.
- Palamis- ja pelkistyskerrosten halkaisijat, korkeudet ja lämpötilat.
- Palamisessa muodostuvan hiilen laatu ja koko.

- Kaasuttimen kuormituksen taso.
- Puuta käytettäessä säiliön koko, pilkkeiden esilämmitys ja veden/tisleidän poisto.
- Tuhkan poisto, huoltoluukkujen paikat, rakenteen huollettavuus/korjattavuus ym.
- Tulipesän materiaalin lämmönkestävyys. (Hyytiäinen & Tötterman 1944.)

Puhdistimia (2 ja 4) on kaksi pääryhmää karkea- ja hienopuhdistimet. Karkeapuhdistimista yleisin on pyörrepuhdistin, jossa tuhka ja noki erotetaan kaasusta painon perusteella. Hienosuodattimia on monen mallisia ja kokoisia, joissa suodatinaineena on käytetty ainakin lastuja, metalliheloja, korkkia, männynkäpyjä, kangasta, vettä, öljyä ja metalliverkkoa. (Köhler 2007.) Nykyisillä metalli- ja lasikuituverkoilla pyritään saada suodatuspinta-alaksi vähintään moottorin litratilavuuden verran neliöitä.

Jäähdyttimellä/lauhduttimella (3) lasketaan kaasun lämpötilaa 250-500 celsius asteesta noin 40-80 asteeseen, jolloin parannetaan moottorille täyttöastetta ja vettä poistetaan epäpuhtauksien kanssa. Yksinkertaisimmat lauhduttimet ovat putki- ja lamellirakenteita. Vedenerottimen (5) tarkoitus on erottaa vesi pois kaasusta. Rakenteesta riippuen vesi voidaan erottaa jäähdyttimessä. (Suomen ekoautoilijat 2017.)

Ilmansuodattimessa (6) käytetään yleensä normaaleja moottorin ilmansuodattimia. Sekoitusventtiilissä (7) sekoitetaan kaasumäärän mukainen ilmamäärä palamista varten. Perinteisesti karkea säätö on hoidettu erilaisten vivustojen avulla ja hienosäädetty tarvittaessa kuristamalla imuilmaa korvakuulolla. Servo ohjauksesta lambda- anturin avulla on myös saatu hyviä kokemuksia seoksensäätöön. Ilman ja kaasun sekoitusuhde on noin 1:1,2 koko kierrosalueella. (Hyytiäinen & Tötterman 1944.)

Käynnistysimurilla tai -puhaltimella (9) muodostetaan kaasuttimen tarvitsema veto sytytysvaiheessa. Venttiilillä (8) voidaan vetoa kuristaa halutun laiseksi. Puhaltimen puhaltaman kaasu oli käyttövalmista, kun liekki palaa sinisellä liekillä. (Köhler 2007.)

4 Puuhakkeen valmistus-, käsittely ja poltto- ominaisuuksien parantaminen

Puukaasutuksessa yleisesti käytettävän puuhakkeen laadun pitää yleisesti olla tasalaatuisista ja kuivaa parhaan tuloksen saavuttamiseksi. Hakkeen laatua voidaan parantaa erilaisilla käsittelyyn liittyvillä laitteistoilla ja olosuhteilla. Seuraavassa esitetään laitteistoja hakkeen käsittelyyn ja niiden käyttöä suomen olosuhteissa. Huomioon on otettu hakkeelta vaadittavia ominaisuuksia ja vaatimuksia puunkaasutuksessa. Monesti eri käyttökohteissa vaaditaan hyvinkin erilaisia vaatimuksia. (Roitto 2014.) Lisää hakkeen valmistamisesta ja kuivatuksesta löytyy esim. Metsäkeskuksen oppaista: Laatu-
hakkeen tuotanto-opas ja Polttoaineen kuivuriopas. (Suomen metsäkeskus 2017.)

4.1 Hakkeen ominaisuudet ja laatu

Hakkeen ominaisuuksista tärkeimpinä voidaan pitää lämpöarvoa, kosteutta, rakennetta ja tiheyttä. Nämä ominaisuudet vaikuttavat suuresti hakkeen käsittelyyn ja polttamiseen. (Roitto 2014.)

Lämpöarvo kuvataan polttoaineen energiasisällön ja massan suhdetta. Lämpöarvo tyyppillisesti ilmoitetaan, joko kalorimetrillä tai tehollisena lämpöarvoa. Yleisesti käytetään hakkeen kohdalla saapumistilan tehollista lämpöarvoa, jolloin huomioidaan polttoaineen sisältämän vedyn palamisesta syntyvän vedyn lisäksi polttoaineen sisältämän veden lauhtumattoman vesihöyryn. (Roitto 2014.)

Kosteus on hakkeen laadun merkittävin tekijä, koska hakkeen sisältämästä vedestä ei voida tuottaa energiaa. Vesi joudutaan myös lämmittämään höyrystymislämpötilaan ja höyrystämään. Yleisesti höyrystymislämpöä eli latenssi ei hyödynnetä, vaan vesihöyry poistuu hyödyntämättä savukaasujen mukana. Tuoreen puun kosteus on tyyppillisesti 50-60% massasta riippuen puulajista. Puun kuivussa puusta poistuu ensimmäisenä ns. vapaa vesi, jolloin kosteus asettuu noin 23% ja kuivuminen hidastuu. (Roitto 2014.)

Hakkeen käsittelyyn ja palamiseen merkittävä tekijä on palakoko, joka riippuu käytettävästä laitteistosta. Yleisesti pienemmät laitteistot vaativat pienempää ja tasalaatuisempaa haketta. (Köhler 2007.)

Tiheydellä kuvataan massan ja tilavuuden suhdetta, jota kuitenkin ilmoitetaan monilla eri tavoilla. Hakkeella yksi kiintokuutiometri vastaa noin 2,5 irtokuutiometriä. (Roitto 2014.)

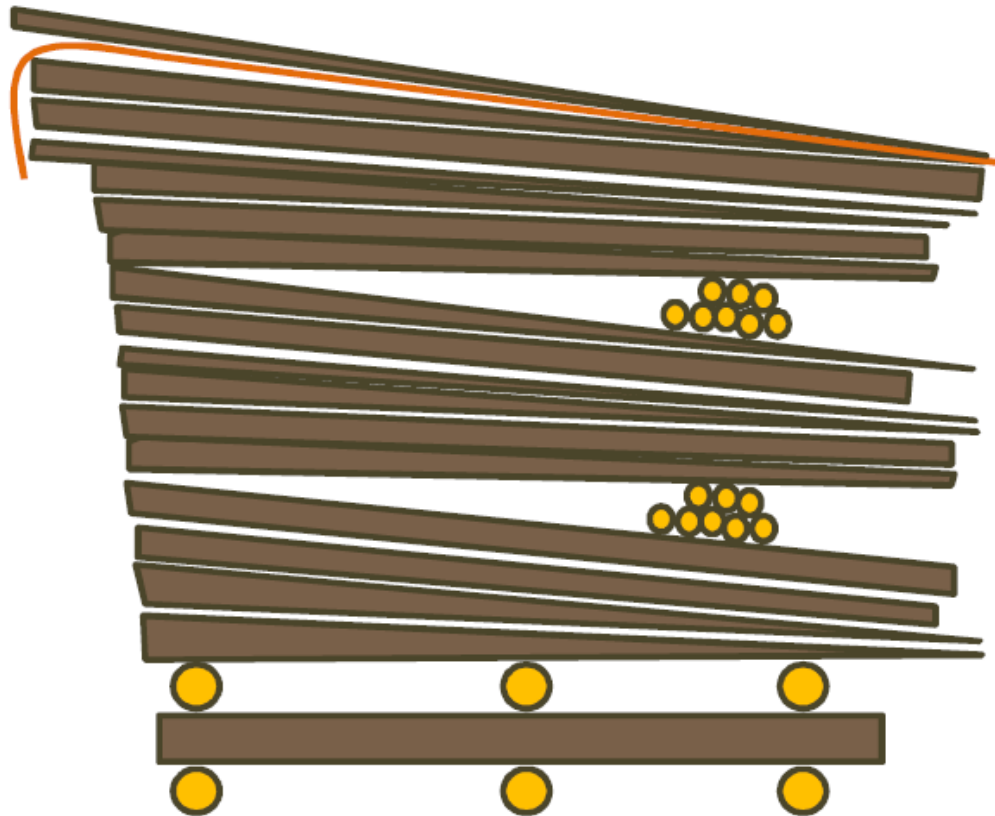
Puukaasutuksessa ”pilke” on perinteisesti tehty koko luokaan tikkuaskin ja tupakkias-kin väliin, jolloin hake on nykymittapuun mukaan aika isoa. Nykyisin pilke ymmärretään jopa saunapuun kokoisena polttopuuna, mutta puunkaasutuksen yhteydessä puhutaan puupolttoaineesta pilkkeenä. Kaasutuksessa pelkistymisvyöhykkeellä muodostuu vesihöyrystä myös lisää vetyä, jolloin moottorikaasu on tehokkaampaa ja herkemmin syttyvää. Testien mukaan 10-20% vettä sisältävä polttoaine on tehokkainta riippuen laitteistosta ja kaasutustekniikasta. (Hyytiäinen & Tötterman 1944.)

4.2 Raaka-aine, varastointi ja luonnonkuivaus

Hakkeeksi tarkoitettu puu yleisesti välivarastoidaan tasaamaan energiavarastoja ja parantamaan energiapuun laatua. Energiapuun kysyntä on suurimmillaan talvella ja puun kuivuminen luonnossa on parhaimmillaan kesällä. Haketta voidaan valmistaa metsistä saatavien puu-aineksien lisäksi myös teollisuuden jätetuista. Hakkeen käyttö on kasvanut vuoteen 2012 8,3 miljoonaan kuutiometriin, mutta suomen kansallinen tavoite metsähakkeen käytölle 13,5 miljoonaan kuutioon vuodessa vuoteen 2020 mennessä. Uhkana on myös huonompilaatuisen raaka-aineen tarjonnan lisääntyminen, jolloin myös hakkeen laatu heikkenee. (Roitto 2014.)

Varastoinnilla hakepuulle on suuri merkitys tehtävän hakkeen laatuun. Varastojen sijainnilla ja peittämisellä voidaan suuresti vaikuttaa hakepuiden kosteuteen ja siten puiden laatuun. Yleisesti varastopaikaksi kannattaa valita mahdollisemman kuiva ja avoin aurinkoinen paikka. Paikka pitää olla myös riittävän kantava mahdollista tulevaa käsittelyä ja kuljetusta varten. (Roitto 2014.)

Varastokasojen tiiveydellä ja muodolla voidaan edistää kasojen kuivumista ja peittä-
miskustannuksien muodostumisessa. Kasan korkeudella ja kuviossa 2 olevalla muo-
dolla ja lipalla voidaan edistää kuivumista ja peittämisen helppoutta. Lippa suojaa pui-
den tyviä jolloin sade ja sulamisvedet eivät pääse valumaan kasoihin. Kasan korkeus
pienentää peitettävää ja laani pinta-alaa. Yleisesti peitto materiaalina käytetään peite-
paperia tai muovia. Paperia pidetään parempana, koska voidaan myös hakettaa ja kes-
tää pakkasia muovia paremmin. (Roitto 2014.)



Kuvio 2. Varastokasan peittäminen ja ladonta (Roitto 2014,26)

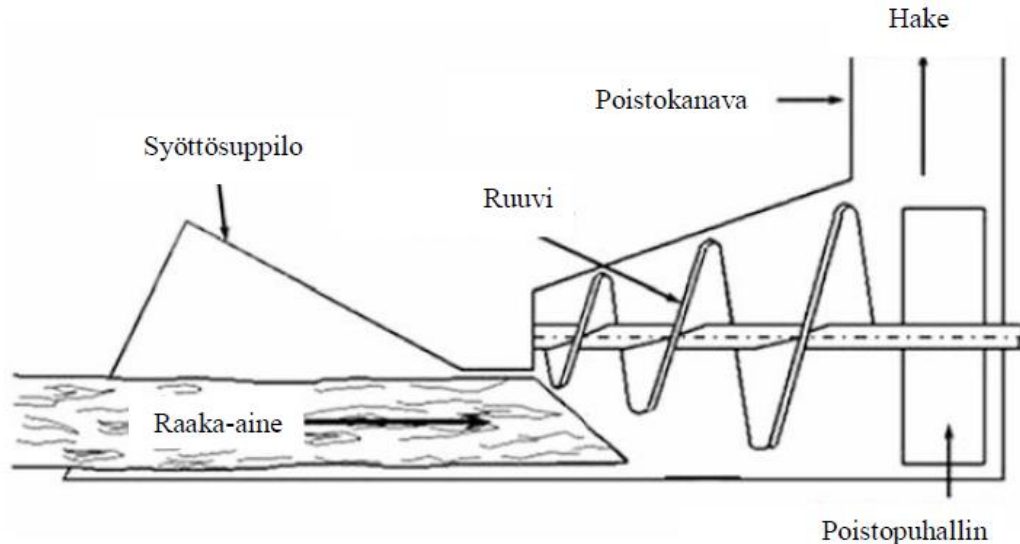
Onnistuneessa luonnonkuivauksessa voidaan päästä 25% kosteuteen asti. Aurinkoisessa ja tuulisessa paikassa kuivanneet kasat voivat olla 7-17% kuivempia, kuin huonoissa paikoissa. Peittämisellä vaikutus voi olla 4,5-15% peittämättömiin verrattuna riippuen varastokasojen laadusta. (Roitto 2014.)

4.3 Haketus

Haketus voidaan suorittaa monissa eri paikoissa ja erilaisilla laitteilla riippuen haketusmäärästä, haketettavasta raaka-aineesta ja raaka-aineen koko. Yleisin haketus paikka on välivarasto, koska metsätraktori voi tuoda haketettavan puun kuivamaan ja hake voidaan hakettaa suoraan esim. kuorma-autoon. Hakkureita on hyvin monenlaisia tyyppisiä. Yleisimmät suomessa ovat laikka-, rumpu- ja ruuvihakkurit. Tällöin hakkurit ovat jaettu terälaitteiden rakenteen mukaan. (Roitto 2014.)

Ruuvihakkurinterä on kartioruuvi, jonka reunat ovat teräviä. Hakkuri on aika tarkka raaka-aineesta ja karsittu ranka on yleisesti käytetty raaka-aine. Kuviossa 3 nähdään hakkurin toimintaperiaate, jossa näkyy myös poistopuhallin. Ruuvihakkurin rakenne

on hyvin yksinkertainen ja toimintavarma. Yleensä ruuvihakkuri tuottaa suurta hakea, jolloin kaikki eivät pidä ruuvihakkuri hakkurina. Puunkaasutuksen raaka-aineen näkökulmasta ajatellen juuri sen takia hakkuri on paras menetelmä pilkkeen valmistukseen. (Hyytiäinen & Tötterman 1944.)



Kuvio 3. Ruuvihakkurin periaatekuva (Döring 2013, 82)

4.4 Hakkeen keinokuivaus ja kuivauslaitteisto

Keinokuivatuksella pyritään yleensä hakea kuivattamaan luonnonkuivauksen jälkeen kuivemmaksi. Keinokuivaus voidaan suorittaa, joko kylmä- tai lämminilmakuivauksena, savukaasulla ja höyryllä. Menetelmiä on rumpu-, hihna-, ruuvi-, kaskadi-, pneumaattinen- ja kerroskuivurit. Lisäksi on näiden yhdistelmiä. Menetelminä ovat myös panoskuivaus ja jatkukuivaus. Lisäksi jatkuvatoimisessa puhutaan vasta- ja myötävirtakuivauksesta. (Roitto 2014.)

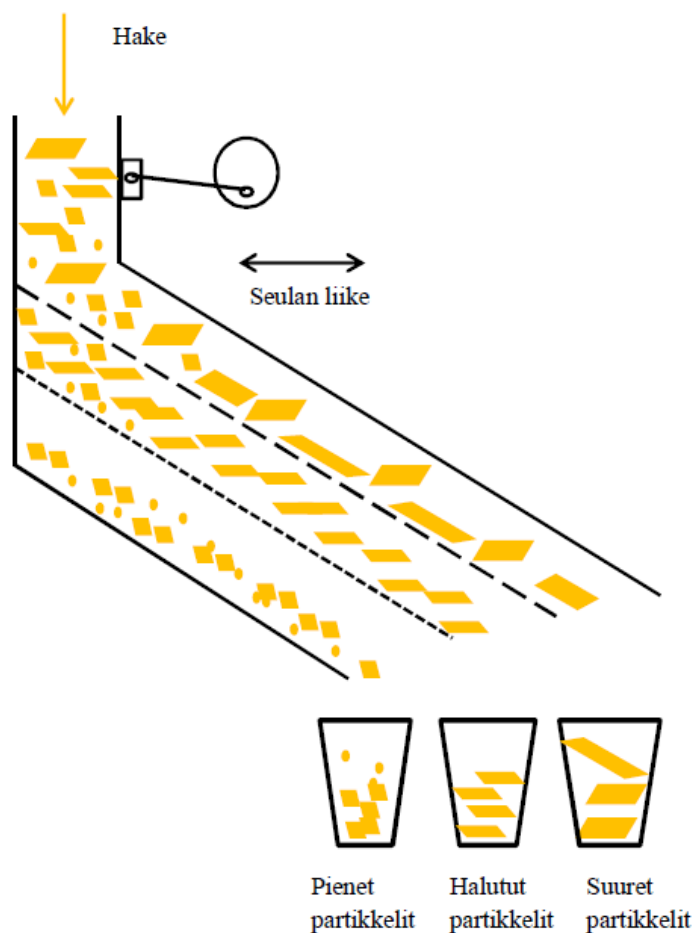
Kylmäilmakuivauksella on päästy 15% kuivuuteen ilman lämpöä. Menetelmään on yleensä lisätty vain puhallin, jolloin kuivaustulos on hyvin säariippuvaista. Olosuhteet ovat yleensä suotuisat vain kesäisin, jolloin vaaditaan talven varalle suuret varastot. Suomessa vielä yleisin kuivausmuoto keinokuivauksena on kylmäilmakuivaus. Lämminilmakuivuri voidaan käyttää ympärivuoden, mutta sääoloja kannattaa hyödyntää taloudellisesti ajatellen. Suurilla laitoksilla menetelmää hyödynnetään hukkalämmöllä. (Roitto 2014.)

Puunkaasutuksen kannalta varsinkin pienissä laitoksissa puunkeinokuivaus ei monesti ole tarpeen. Sähkön tuotannossa puukaasulla voi kuitenkin olla järkevää hyödyntää

ylijäämälämpö kuivatuksessa. Samalla ison raaka-aine varastojen tarve pienenee ja voidaan ottaa paremmin vastaan kosteata puupohjaista raaka-ainetta ympäri vuoden.

4.5 Hakkeen seulonta ja tasalaatuisuus

Seulonnassa tasataan hakekokoja. Tällöin voidaan poistaa, joko suuret tai pienet hakeen tai jopa molemmat. Seuloina yleensä käytetään reikä- tai kiekkoseuloja rakenteen mukaan nimettynä. Kuviossa 4 seulonnan periaatekuva.



Kuvio 4. Kaksivaiheisen reikäseulan toimintaperiaate täryseulassa (Roitto 2014)

Optimoitussa häikäpöntön toimintaa on hakkeen tasakokoisuus ja laatutasaisuus tärkeitä kosteuden ohella. Hakkeessa ei saisi olla tikkuja tai muita epäpuhtauksia, jotka häiritsevät hakkeen valumista nieluun tai hyvän hiilloksen syntymiseen pelkistymisvyöhykkeelle, jotka kaasuuntumisprosessin kemiassa ovat tärkeitä parhaan tehon aikaan saamiseksi. (Suomen ekoautoilijat 2017.)

Tekniikkaa ja välineitä hakkeen käsittelyyn on monenlaisia, joiden käyttäminen riippuu suuresti tarpeesta, kokoluokasta ja käytettävistä välineistä. Mitään yksinkertaista

ohjetta ei pysty perustamaan, vaan tilanne on aina tapauskohtainen käytettävien laitteiden ja raaka-aineen mukaan.

5 Puunenergiakäytön ekologisuus

5.1 Ekologinen jalanjälki

Ekologisella jalanjäljellä mitataan, kuinka monta hehtaaria biologisesti tuottavaa maa- aluetta tarvitaan ylläpitämään ihmiskunnan kulutusta. Tarkoitus on osoittaa, minkä suuruisen maa- ja merialueen ihminen tarvitsee säilyttääkseen elintapansa, tuottaakseen kuluttamansa hyödykkeet ja hävittääkseen tuottamansa jätteen. (Nurmi 2014.)

Ekologinen jalanjälki on rajattu koskemaan vain tiettyjä osa-alueita. Metsäjalanjälki esittää raakapuun kulutusta eli siihen vaadittavaa metsäaluetta. Ekologisen jalanjäljen laskenta sisältää uusiutuvien luonnonvarojen kulutuksen ja hiilidioksidi päästöt. Laskennassa uusiutuvat luonnonvarat ovat alueellisesti toisensa poissulkevia, jotta laskennassa ei olisi päällekkäisyyttä. (Nurmi 2014.)

Ympäristö on yksi tärkeimmistä nykypäivän keskusteluista myös poliittisista keskusteluista kansainvälisesti. Ilmasto lämpiää huomattavan nopeasti, luonnon ja lajien monimuotoisuus kaventuu ja maailman väkiluku kasvanut voimakkaasti ylittäen kuuden miljardin ihmisen rajan. Samalla kulutamme kiihtyvällä tahdilla entistä enemmän luonnonvaroja. Ilmaston muutosta voidaan pitää tämän ajan suurimpana haasteena. Luonnonvarojen ehtyminen, luonnon monimuotoisuus, ihmisten köyhyyden lisääntyminen sekä eriarvoisuus ja väestönkasvu ovat suuria ongelmia, joille kaivataan ratkaisua pikaisesti. (Euroopan ekologinen jalanjälki vaarantaa kestävän kehityksen 2005.)

Ekologisen kestävän kehityksen tueksi tarvitaan monenlaista tietoa ja seurantajärjestelmiä. Myös poliittisen päätöksenteossa tarvitaan tietoa ekologisen, taloudellisen ja sosiaalisen kestävyyden riippuvuussuhteita. Kansalaisille on myös tärkeää jakaa tietoa, jotta voivat vaikuttaa ratkaisullaan ympäristöön kestävän kehityksen mukaan.

Ympäristön seurantaan käytetään erilaisia mittareita ja indikaattoreita, joilla tilannetta tarkkaillaan. (Euroopan ekologinen jalanjälki vaarantaa kestävän kehityksen 2005.)

Yksi käytettävä mittari on ekologinen jalanjälki. Tätä käytetään laajasti kansainvälisissä keskusteluissa vertailtaessa eri maita. Suomi kuuluu ekologisen jalanjäljen mukaan suurkuluttajiin. (Nurmi 2014.)

5.2 Metsäjalanjälki

Suomalaisten metsäjalanjälki on runsaan kotimaisen puun- ja paperinkulutuksen johdosta erittäin suuri. Suomen ympäristökeskuksen tarkastuslaskelmissa metsäjalanjälki kutistui kolmanneksella, 1,77 globaalihehtaariin henkeä kohti vuonna 2006. Kansainvälisissä raporteissa metsäjalanjäljeksi oli laskettu peräti 2,78 globaalihehtaaria henkeä kohden. Se tarkoitti tilastoissa Suomen metsäjalanjäljen olevan maailman suurin. Uuden laskennan myötä Suomi sijoittuisi jaetulle toiselle sijalle Tanskan kanssa. Laskenta perustui FAO:n tilastoihin vuodelta 2001. (Suomen metsäjalanjälki kutistui. 2006.)

Metsien hävittämisen osuus maailman kasvihuonekaasupäästöistä on noin 15 %. Suurin syy metsien kaatamiseen on alueiden raivaaminen maatalouden käyttöön. Silloin puhutaan metsäjalanjäljestä osana ekologista jalanjälkeä, metsäjalanjäljellä kuvataan raakapuun kulutusta, joka muunnetaan sen tuottamisen vaatimaksi metsäalueeksi. Viisi eniten metsiä rasittavaa maataloustuotetta ovat puu, palmuöljy, soija, karjatuotteet ja bio-polttoaineet. (Väinämö 2006.) Suomessa on hyvin suuri metsäjalanjälki, mutta Suomessa on myös suuri metsäkapasiteetti. Vähennettäessä Suomen metsäjalanjälki Suomen metsien biokapasiteetista, tulee metsien ekologiseksi ylijäämäksi 8.15 gha/hlö. Toisin sanoen Suomi ei kuluta yli omien metsävarojen. (Väinämö 2006.)

Monet teollisuusmaat Suomi mukaan luettuna kuluttaa luonnonvaroja yli maapallon keskimääräisen kestopajan. Tällä hetkellä vähintään yhtä suuri ongelma on kehitysmaiden väestönkasvu ja hallitsematon luonnonvarojen käyttö. Suomea voidaan jossain mielessä pitää kestävä kehityksen mallimaana suuresta kulutuksesta huolimatta. Elämme biokapasiteetin rajoissa vieden samalla maasta ulos, kuin kuluttaisimme itsen. Voidaan kysyä! Onko mahdollista ekologisen jalanjäljen mukaan perustella energiapoliittisia tai metsän hyödyntämistä koskevia päätöksiä? (Hughes 2008.)

5.3 Kestäväkehitys ja sen laskenta

Kansat ovat koko historiansa ajan perustaneet hyvinvoinnin ja kehityksen luonnosta saamiin hyödykkeisiin. Vuonna 1997 kansainvälinen ryhmä on arvioinut ekosysteemin rahalliseksi arvoksi vähintään 33 000 miljardia dollaria. Samaan aikaan maailman bruttokansantuotteen arvo oli 18 000 miljardia dollaria. Tämän perusteella luontoa

voidaan pitää hyvin arvokkaana, joka kannattaa säilyttää tuleville sukupolville. Luontoa voitaisiin auttaa menestymään paremmin, jolloin menestyksestä hyötyisivät myös kansakunnan ihmiset. (Väinämö 2006.)

Viime aikoina on myös pelkistä puheista päästy toimintaan ainakin paperilla. Vuonna 1992 Rion konferenssissa sovittiin ilmastomuutosta ja biologista monimuotoisista koskevista sopimuksista, jonka yleissopimuksen on allekirjoittanut 167 valtiota ja EY. Vuonna 1997 jatkettiin Kioton pöytäkirjalla, jossa teollisuusmaat ovat sitoutuneet vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä. (Väinämö 2006.)

Kestävähälytys nousi terminä Brundtlandin komission raportin myötä tunnetuksi, siitä huolimatta määritelmistä ja sisällöstä keskustellaan edelleen. Kestävään kehitykseen on neljä näkökulmaa, jotka ovat taloudellisesti, yhteiskunnallisesti, kulttuurisesti ja ekologisesti kestäväkehitys. Kestävän kehityksen saralla on päästy hyvään alkuun, mutta haasteita ja uusia haasteita piisaa. Sopimuksiin eivät ole sitoutuneet kaikki teollisuusmaat ja kaikkia sopimuksia ei noudateta. (Väinämö 2006.)

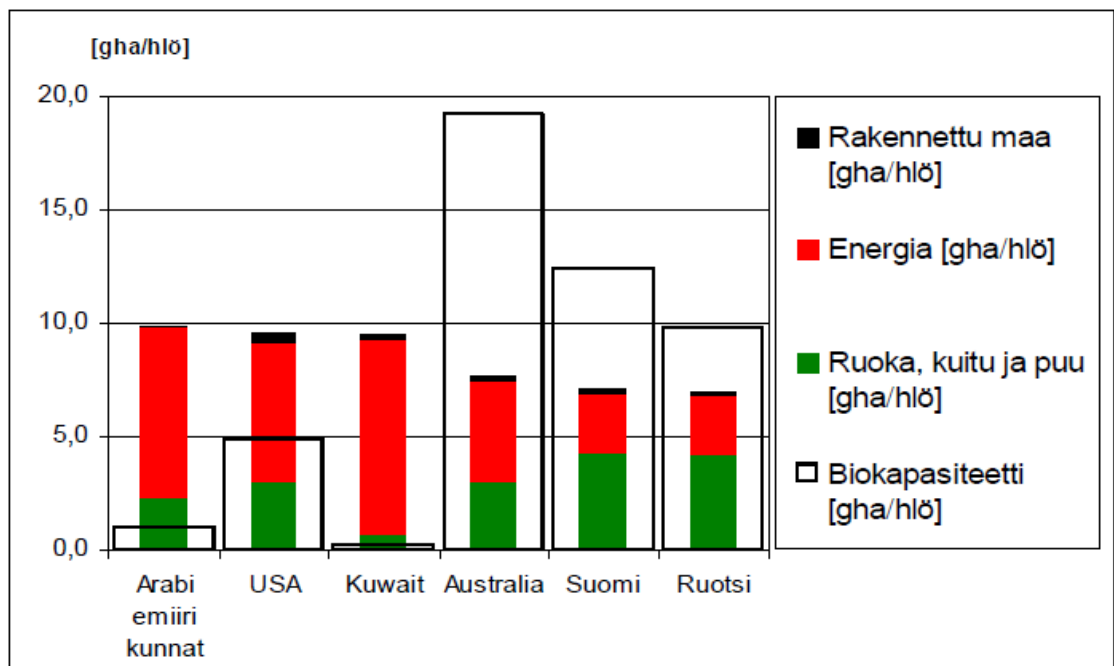
Indikaattoreilla seurataan kestävä kehityksen toteutumista. Indikaattorit tiivistävät suuria tietovarastoja yksinkertaiseen helpommin ymmärrettävään muotoon. Indikaattoreissa voidaan myös käyttää laskennallisia arvoja. Suomi on ollut parhaiten sijoittuneita maita kestävässä kehityksessä monena vuonna. Eri indikaattorit voivat painotuksista johtuen laittaa maita hyvinkin eri asemaan. (Väinämö 2006.)

5.4 Ekologinen jalanjälki

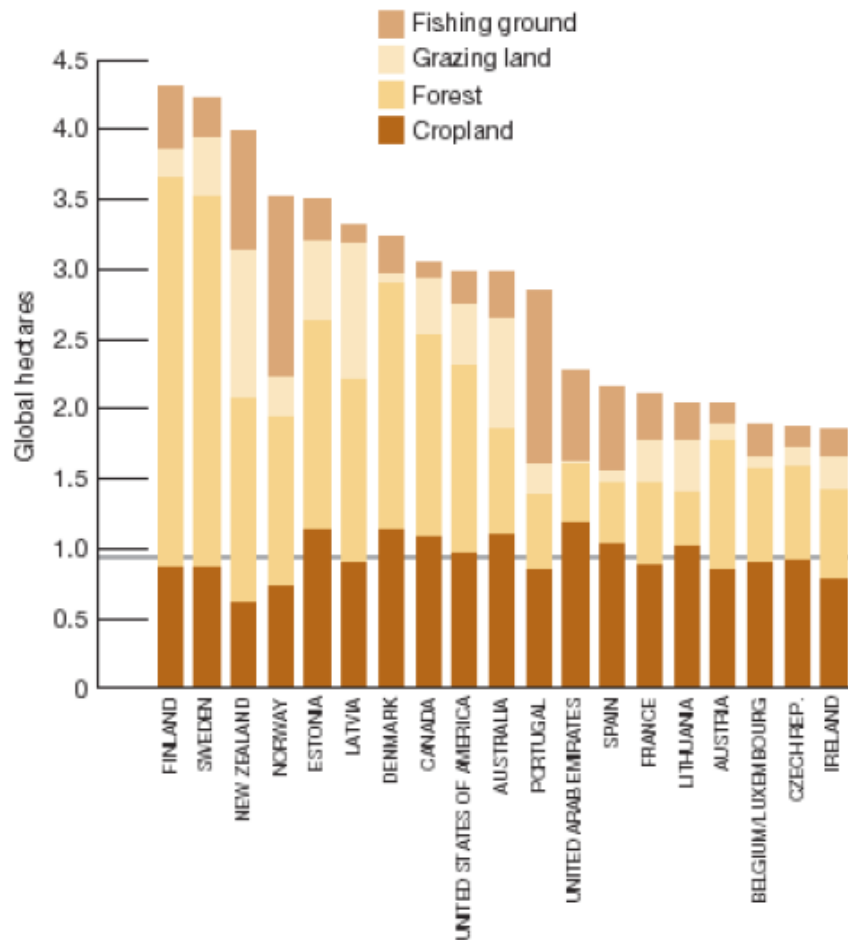
Ekologinen jalanjälki on indikaattori, joka esittää ihmisen vaikutusta luontoon. Global Footprint Network-järjestö kehittää ekologista jalanjälkeä työkaluksi, jonka avulla päätöksentekijät saivat tietoa maailmamme rajoista. (Väinämö 2006.)

Valtioiden laskennassa ekologisen jalanjäljen vaikutukset kuvaavat uusiutuvien luonnonvarojen kulutusta ja hiilidioksidipäästöjen kautta henkeä kohden. Laskennassa kotimaan kulutus saadaan vähentämällä vienti ja lisäämällä tuonti kotimaan tuotantoon. Kuvaavana yksikkönä käytetään globaalia hehtaaria per henkilö eli gha/hlö. Ekologinen jalanjälki kuvaa vain tiettyjä osa-alueita. Esimerkiksi metsäjalanjälki esittää raakapuun kulutusta eli tuottamiseen tarvittavaa metsäaluetta. Jalanjälki kuvaa luonnonvarojen kulutuksen ja hiilidioksidi päästöt. (Väinämö 2006.)

Laskennassa huomioidaan vain biologisesti tuottavat maa- ja merialueet, jolloin tuotava pinta-ala on noin 11,2 miljardia hehtaaria, josta metsää on noin 3,6 miljardia hehtaaria. Maapallon kokonaispinta-ala on noin 51 miljardia hehtaaria sisältäen meret. Vuonna 2004 keskimääräinen jalanjälki maailmassa oli 2,2 gha/hlö, kun kapasiteetti olisi ollut 1,8 gha/hlö. Suomen ja Ruotsia jalanjälki oli 7 gha/hlö, joka oli jaettu neljäs sija eniten kuluttavien listalla. Kuviossa 8 näkyy suurimmat kokonaisjalanjäljen maat Living Planet-raportin 2004 mukaan. Kuviossa 9 on ruuan, kuidun ja puun kulutusta kertova kaavio. Pelkästään metsäjalanjälkeä verrattaessa suomella on isoin jalanjälki. (Loh & Wackernagel 2004.)



Kuvio 5. Suurimmat ekologiset kokonaisjalanjäljet (Loh & Wackernagel 2004.)



Kuvio 6. Living Planet-raportti 2004; ruuan, kuidun ja puun kulutuksen jalanjälki henkeä kohden (Loh & Wackernagel 2004.)

6 Pilottikohde

Pilottikohteeksi haettiin ensisijaisesti lähialueen kasvihuoneita, eläintiloja ja metsätalouteen liittyviä teollisuusrakennuksia. Joiden energiankäyttö olisi yksinään suuruusluokkaa 20-200 kW, ja sijaitsisivat lähellä opinnäytetyön tekijää. Varteenotettavaksi ehdokkaiksi valikoituivat Urosen puutarha Jämsästä ja Nisulan konepaja Jämsän Hallista. Kohteet kuitenkin vetosivat kiireeseen ja tyytyväisyyteen aika uusiin energiainvestointeihin, jolloin kiinnostus puunkaasutusta kohtaan ei päässyt etusijalle. Hakukriteeriksi lopulta muodostui sivutulojen lisäämisen tutkiminen maatalousympäristöön.

Kohteeksi valikoitui Jämsän Arvajalla sijaitseva Eerikkilän-tila. Tilalla on suoritettu sukupolven vaihdos noin viisi vuotta sitten. Tilan pääasiallinen tulonlähde on metsät, joita on noin 150 hehtaaria ja peltoa noin 25 hehtaaria Eteläisessä Keski-Suomessa.

Yhtymä muotoisella tilalla on kiinnostusta uusille tulonlähteille ja kokeilulle. Tilalla on työskennelty urakoinnin ja sikatalouden ympärillä viime vuosiin saakka, joista jäänneitä rakennuksia ja konekantaan voisi lisä hyödyntää. (Lahtinen 2017.)

Opinnäytetyössä on lähdetty tarkastelemaan puusta tuotetun energian muuttamista sähköksi ja lämmöksi eli CHP-laitosta puukaasu teknologialla. Tarvittava puu tulisi tilan omista metsistä harvennus- ja lahoppuista. Mahdollista olisi myös käyttää lähialueiden raivaus- ja harvennustarpeita urakointina suoraan metsistä tai suoralla ostolla.

Kohdetta voitaisiin tarkastella myös biokaasutuslaitoksen sijoituspaikkana, joissa hyödynnettäisiin läpialueiden peltobiokasveja. Tilalla olisi valmiina vanha lietesäiliö, minkä todennäköisesti voisi hyödyntää jälkikaasutusaltaana tai varastosäiliönä. Lähi-alueella ei enää ole karjataloutta, jolloin pellot ovat aika vajaakäytöllä. (Lahtinen 2017.)

6.1 Tarvittavat energiamäärät

Tilan sähkönkulutus vuonna 2016 on ollut noin 28000 kWh painottuen talviajalle (kuvio 7). Lämmitys on pääasiassa hoidettu puilla, joita halkoina on kulunut noin 30 pinnokuutiota eli noin 40000 kWh edestä. Sähkönkulutuksessa näkyy myös piikkinä viljankuivauksessa käytetty sähkö. (Lahtinen 2017.)

Käytön raportointi

Raportointi

Käyttöpaikka: ARVAJANRETTINTIE 66 (Sähkö)

Lataa vuosiraportti

Ajanjakso

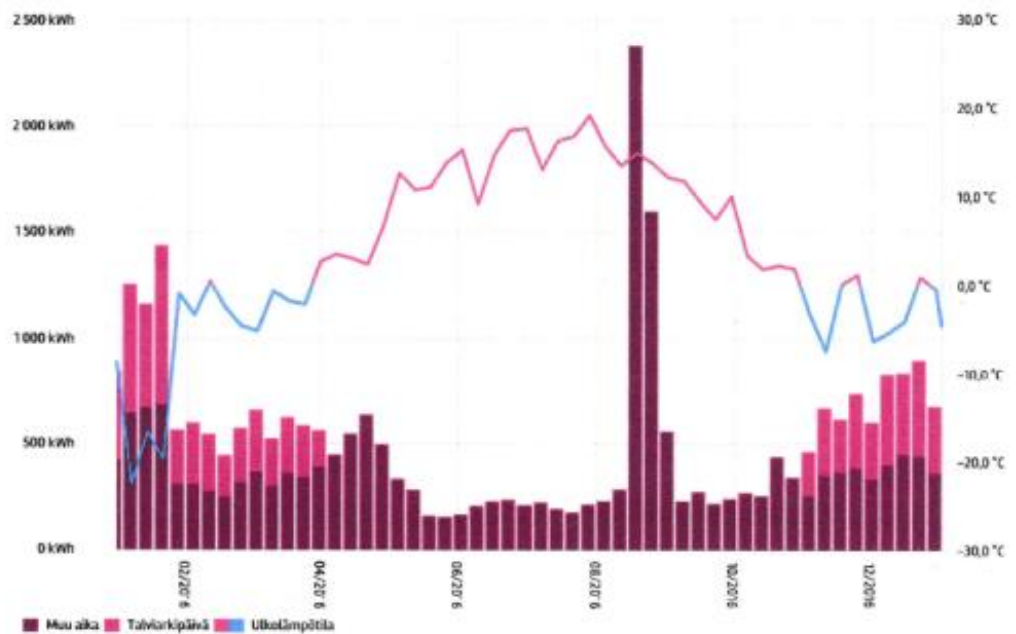
1.1.2016

31.12.2016

Hae

Lämpötila
 Kustannusten jakautuminen

VV
 KK
 VKO
 PV
 H



Kuvio 7. Sähkönkäyttö Erikkiälän-tilalla 2016 (Vaasansähkö käyttöraportti 2017.)

2016 on sähkön keskihinta tilalle ollut noin 3,7 cent/kWh ilman siirto- ja mittarimaksuja. Tilastokeskuksen taulukoiden mukaan kotitaloussähkön hinta on ollut keskimäärin 12 cent/kWh. Puunkäytön 1,4 cent/kWh kuitupuun hinnalla 30 euroa kiintomotti laskettuna, mikä energiapuun hinnalla olisi vielä merkittävästi alhaisempi, mutta myös halkokäyttö lisää vastaavasti kustannuksia. (Riikkilä 2017.)

Mahdollisen puukaasulaitteiston sijoituspaikan läheisyydessä noin 300 metrin päässä on kasvihuoneita, joissa varsinkin lämpöä voisi hyödyntää. Jopa laitoksen sijoituspaikkaa miettiessä asia kannattaa huomioida.

6.2 Puukaasulaitos

Puukaasuttimen ja laitokseen laskennassa on käytetty kahta kokoluokkaa sähkötehoilla 20 ja 50 kW. Tällöin lämpöteho on noin 40 ja 100 kW perinteisellä moottori generaattori yhdistelmällä. Näillä tehoilla laitos pysyy aika pienenä ja moottoreita ja generaattoreita löytyy markkinoilta useita.

Kävin Kempeleen Ekokylässä Suomen Ekoautoilijoiden retkellä keväällä 2013. Kylän sähköteho on 10-15 kW käyden vain päivisin ladaten akkuja ja vesivaraajia ja tuottaneen kaiken energian 10 omakotitaloon. Laitos on Volterin kehittämä ja valmistama Kempeleellä, joka myös myy ja valmistaa vastaavan kokoisia laitoksia.

6.3 Laskenta

Laskennassa taulukossa 3 on laskettu kaasuttimen käyttöasteeksi 80 prosenttia, jolloin jää myös huoltoaika laitteistolle. Sähkön myyntihintana on käytetty liitteen 1 pörsisähkön hinta, millä hinnalla sähköyhtiöt välityspalkkion vähennyksellä sähköä ostavat. Laskenta on tarkasteltu vuositasolla.

Potentiaalia laitteistolla olisi tilan tarpeisiin huomattavasti enemmänkin. 20 kW laitteistossa olisi omaa käyttöä ajatellen kuusinertainen teho keskimäärin, mutta varsinkin lämmön määrän tarve on talvella huomattavasti isompi kuin kesällä.

Taulukko 3. Tilan puukaasuttimen hyödyntäminen kokonaispainotteisesti.

Kaasutintin	Teho kW	Potent. 80%	Oma-käyttö	Korv. hinta	Arvo €	Myyntimäärä	Myyntihinta	Myynti €	Säästö/Tulot
Sähkö	20	140160	22400	0,12	2688	117760	0,035	4122	6810
Lämpö	40	280320	40000	0,015	600	240320	0,078	18745	600
Sähkö	50	350400	22400	0,12	2688	328000	0,035	11480	14168
Lämpö	100	700800	40000	0,015	600	660800	0,078	51542	600

Hankittavan puuaineksen kuutio määrät ovat noin 140/280 m³ ja arvo noin 4000/8000 euroa. Tuloksista voi jo päätellä, ettei pelkkä pienimuotoinen oman energian korvaaminen ja sähkön myynti ole suurta bisnestä nykyisellä sähkön hinnalla. Hyvin ratkai-

sevaa on kyseisessäkin tapauksessa, miten hyödynnettäisiin syntyvä lämpö kokonaisuudessaan. Mieluummin keskimääräisellä kaukolämmön hinnalla 78,28 €/MWh. (Suomen virallinen tilasto 2016.)

Toisena näkökulmana tarkastellaan laitteiston toimintaa tuulisähkön hinnalla. Tuulisähkölle maksetaan Suomessa 83,5 €/MWh takuu hintaa vuonna 2017. Tukea saa myös biopohjaiseen sähköntuotantoon, mutta silloin laitteiston koko pitää olla myytävissä sähköntuotannossa yli 100 kW ja lämpö hyödynnettynä yli 50 prosenttisesti. Laitos tulee myös rakentaa uusista osista, jolloin olemassa olevien rakennusten hyödyntäminenkin on kyseenalaista. (L30.12.2010/1396 2017.)

Taulukosta 4 huomataan, miten lasketut tulot nousisi melkein kaksinkertaiseksi. Suomen eduskunta ja hallitus on sitoutunut päästöjen vähentämiseen, kotimaisen energian lisäämiseen ja työpaikkojen luomiseen, niin tässä olisi yksi keino.

Taulukko 4. Tilan puukaasuttimen hyödyntäminen tuulisähkö hinnalla.

Kaasutintin	Teho kW	Potent. 80%	Oma-käyttö	Korv. hinta	Arvo €	Myyntimäärä	Myyntihinta	Myynti €	Säästö/Tulot
Sähkö	20	140160	22400	0,12	2688	117760	0,0835	9833	12521
Lämpö	40	280320	40000	0,015	600	240320	0,078	18745	600
Sähkö	50	350400	22400	0,12	2688	328000	0,0835	27388	30076
Lämpö	100	700800	40000	0,015	600	660800	0,078	51542	600

Kolmantena kohtana lasketaan kalliin pörssisähkön aikana jaksottaen käyttöä yhdistettynä oman lämmön tuotantoon. Sähkön hinta pörssissä on ollut jopa yli 20 cent/kWh ajoittain. Leikattaessa pois matalat ja huiput niin talviaikaan voisi pääsisi noin 8 cent/kWh. Aikana jolloin oma lämmön tarvekin olisi huipussaan. Taulukossa 5 arvoja laskettuna 30% vuosikäyttöasteella.

Taulukko 5. Tilan puukaasuttimen hyödyntäminen korkealla sähkönhinnalla.

Kaasutintin	Teho kW	Potent. 30%	Oma-käyttö	Korv. hinta	Arvo €	Myyntimäärä	Myyntihinta	Myynti €	Säästö/Tulot
Sähkö	20	52560	22400	0,12	2688	30160	0,08	2413	5101
Lämpö	40	105120	40000	0,015	600	65120	0,0783	5096	600
Sähkö	50	131400	22400	0,12	2688	109000	0,08	8720	11408
Lämpö	100	262800	40000	0,015	600	222800	0,0783	17434	600

Korvaus ei näytä isolta, mutta 53/106 m³ puuta käyttävän laitokseen hoitaminen tuolla energiamäärällä voisi olla käyttäjälle mahdollinen. Varsinkin jos ei tarvitse itse paljon tehdä, ja tuhkat jäävät ravinteeksi omaan käyttöön.

6.4 Kannattavuuslaskenta

Laskelmassa on otettu huomioon arvioita niin investoinnin suuruudesta kuin työmäärästä. Laskelmat on tehty ajatellen Eerikkilän tilan kohdalta huomioiden olemassa olevat rakenteet. Laskelmaan voi vaikuttaa hyvinkin voimakkaasti esim. omatyö, valmiit rakennelmat, tarvikkeiden hinta ja muut kaupalliset ja kumppani suhteet.

Rahoitussuunnitelmassa on koneiden ja rakennusten arvoksi laitettu 50000 euroa ja huomioitu omanrahan lisäksi yritystukia. Liitteessä 2 tarkemmin käytettyjä arvoja.

Taloussuunnitelmaan on laskettu ja arvioita erilaisia kuluja ja tuloja. Tuloina laskennassa on käytetty 1000 euroa kuukaudessa, jolloin liikevaihtotarpeeksi on tullut melkein 40000 euroa. Liitteessä 3 näkyvät tarkemmin käytetyt arvot.

6.5 Päätelmä laitoksen kannattavuudesta

Alustavat laskennat osoittavat nykyisellä sähkönmyyntihinnalla, ettei laitosta kannata perustaa lähes yksinomaan sähköntuotantolaitokseksi metsätalalle. Laskennassa 1 tilan puukaasulaitoksen tuloiksi muodostuisi noin 7000/14000 euroa kiinteiden kulujen ollessa 6600 euroa. Lainan korot (263€), lyhennykset (5000€) ja poistot (11000€) huomioiden tulos on tappiolla ilman raaka-aine kuluja.

Laskennassa 2 tulisi tuloiksi noin 12500/30000 euroa pakollisten menojen ollessa noin 28000 euroa. Laskenta 3 ei pienistä tuloista (5000/11000€) johtuen myöskään kannattaisi perustaa.

Varsinkin lämmöntarpeen ollessa isommat ja tuulisähkön hinnalla myytäessä puukaasu laitos olisi kannattava varsinkin, jos hyödynnettäisiin tilan energiapuut raivaustyöstä lähtien pääasiassa myytäväksi tai korvaavaksi energiaksi. Kannattavuuteen vaikuttaa myös sähkönsaannin varmuus ja tilan sulakekoon pienentäminen liittymämaksun ja kuukausimaksun pienentyessä. Laskennat ovat suuntaa antavia ja tuloksiin vaikuttavat suuresti tulevaisuudessa sähkön hinta, investointituet ja raaka-aineen hinta.

7 Tulevaisuuden laitteet

Suomi on pitkien etäisyyksien maa, ja pääasiassa taajamat ovat hyvin rikkonaisesti sijoittuneet. Isoilla laitoksilla kuljetuskustannusten osuus nousee huomattavasti niin alkutuotannossa, kuin lämmönsiirrossa. Sopiva suuruusluokka voisi olla noin 100-300

hehtaarin metsänkasvu ns. roskapuulle. Työssä on otettu huomioon mahdollisuudet järkevään bioenergian tuottaminen maatilalla, kyläyhteisöissä, teollisuuslaitoksissa ja muissa vastaavissa paikoissa, joissa tarvitaan lämpöä ja sähköä suuremmissa määrin.

Puunkaasun tuotannossa voitaisiin jakeita hyödyntää myös erisillisinä komponentteina muussa käytössä. Hyödyntää voisi koko tuotantoketju puukaasun ympärillä metsänhoidosta lähtien tuhkien hyödyntämiseen. Myös ns. jätepuu voitaisiin hyödyntää porttimaksujen muodossa. Puukaasutinta voitaisiin käyttää myös epäpuhtaasti tisleiden ja tervan valmistuksessa. (Hyytiäinen & Tötterman 1944.)

7.1 Puukaasunjalostus

Biokaasusta puhuessa tarkoitetaan yleensä hapettumassa tilassa valmistettua kaasua, vaikka myös puukaasu on biokaasua. Taulukossa 6 nähdään puukaasun ja biokaasun koostumus. Molemmista on osittain samoja ainesosia, jolloin kaasun puhdistus ja jalostus ovat hyvin saman tyyppisiä. Molemmista on palavina kaasuna häkää (hiilimonoksidi), vetyä ja metaania. (Hyytiäinen & Tötterman 1944.) Biokaasussa eniten metaania ja puukaasussa häkää ja vetyä. Loput kaasuista ovat palamattomia kaasuja ja ne kannattaa mahdollisuuksien mukaan erotella pois.

Taulukko 6. Kaasujen koostumuksia.

		Puuk.	Biok.
Hiilimonoksidi	CO	17-22%	0-0,3%
Vety	H₂	16-20%	0-3%
Metaani	CH₄	2-3%	55-75%
Raskaat hiilivedyt	C_nH_m	0,2-0,4%	
Hiilidioksidi	CO₂	10-15%	25-45%
Typpi	N₂	45-50%	1-5%
Rikkivety	H₂S	_	0,1-0,5%

Biokaasua ja puukaasua ei suuria matkoja kuljeteta edes putkia myöten, koska sisältävät suuria määriä esim. hiilidioksidia ja typeä. Vaarana on kaasujakeiden kerrostuminen putkissa, jolloin kaasu ei ole tasalaatuista ja ei pala tasaisesti käyttökohteissa. Toinen ongelma on siirtokustannus energiaköyhille kaasuille. Kaasun jalostuksella saavutetaan energia rikkaampi kaasu. (Pakarinen 2017.)

Vety olisi eroteltuna hyödynnettävissä esimerkiksi vetyauton polttokennoissa. Mahdollisesti kryojalostus tai kaasugeneraattorilla puukaasun jalostus onnistuisi, koska menetelmiä käytetään biokaasulla ja kaatopaikkakaasulla. (Lehtomäki 2006.)

Kryojalostus toimii monesti suuressa mittakaavassa kaasun erottelussa. Näin kaasun jalostuksessa saatavilla sivutuotteilla on markkina-arvonsa. (Kymäläinen 2015.)

Laser Gas on kehittämällään kaasugeneraattorilla onnistuneesti saanut eroteltua happea, typpeä ja muita kaasuja ilmasta. (Ojalehto 2016.) Uskon menetelmän soveltuvan myös puukaasun jakeiden erotteluun pienin muutoksin.

Mahdollisuudet puukaasun hyödyntämiseen ovat moninaiset. Jyväskylän yliopistokin on tutkinut vedyn erottamista puukaasusta. Tulevaisuudessa voi esimerkiksi hiilidioksidin erottelu jopa ilmasta osoittautua taloudellisesti kannattavaksi. Puukaasu sisältää huomattavan osan jalokaasuja, jotka mahdollisesti tulevaisuudessa voidaan ottaa talteen osana energian tuotantoa tai päätuotteena.

8 Päätelmät ja yhteenveto

Rakenneratkaisuvaihtoehtoja on monenlaisia. Laitteiston kokoluokka on vain usein niin iso, etteivät kaikki ”pellepelottomat” pysty niitä rakentamaan rahoituksen puuttessa. Valtiovallan verokohtelun selkiintyessä ja energiahintojen noustessa alkaa yrittäjiä kuitenkin nousta useita. On väläytelty myös ns. määräaikaisista kokeiluluvista, jonka suojassa voitaisiin kokeilla erilaisia asioita ilman hidasta byrokratiaa. Valtiovalta ja hallitus on suhtautunut asiaan myötämielisesti, koska uusia innovaatioita ja työllistämistä tarvitaan Suomessa.

Puupohjaisella energialla on jo nyt Suomessa tukeva jalansija verrattuna moniin Euroopan maihin. Monet kunnat ja kaupungit ovat rakentaneet ja rakentavat biopohjaisia voimalaitoksia. Puunkaasutuksella on mahdollisuuksia pienemmässä mittakaavassa syrjäisimmällä alueella, missä energiapuuta on helposti saatavilla. Tärkeää on lämmön hyödyntäminen lähialueilla ja ylijäämä sähkö on helposti myytävissä sähköverkon kautta muodostaen sivutuloja.

Vaikka tarkasteltuun Eerikkilän tilaan tällä hetkellä energiantuotanto näytää kannattavalta, niin melkein vastaavissa tilanne voi olla toinen. Kasvihuoneiden, porsitussikalan, navettojen ja kylätaajamiin uutta lämmitysjärjestelmää rakentaessa puunkaasutus kannattaa pitää tarkastelussa mukana.

9 Pohdintaa puunkaasutuksesta

Yhteiskunnan suhtautuminen puukaasuun, ja varsinkin ”häkäpönttöjen” käyttämiseen ajoneuvoissa, on ollut hyvin kriittinen. EU:n painostuksen myötä ja energian hintojen noustessa asenne on vähitellen lieventynyt. Vuoden 2004 alussa poistui kaasuautoilta 20-kertainen dieselvero. Tietämättömyys tulevista lainsäädöksistä ja verotusperusteista kuitenkin rauhoittaa investointeja. Yleisestikin ottaen usko maan- ja metsätalouteen EU-Suomessa on mennyt monin paikoin.

Puukaasuautoja on Suomessa noin 30 kappaletta, joista aktiivisessa ajossa noin 15 kappaletta. Yleistymistä heikentää Suomen tulkinta vähäpäästöisyysluokituksista, joka käytännössä rajaa henkilöauton käyttämisen puukaasulla 1987 tai vanhempiin autoihin. Kuviossa 8 Mikkosen puukaasu auto, mikä nykyisin kulkee pilkkeellä. Monissa muissa EU-maissa tulkinta on toisenlaista esim. Alankomaissa saa puulla ajaa myös uusilla autoilla, jos normaali polttoainejärjestelmä toimii. (Suomen ekoautoilijat 2017.)



Kuvio 8. Mikkosen Vesan auto laitteistoinen. (Suomen ekoautoilijat 2017.)

Suomi on riippuvainen tuodusta öljystä, koska omia öljykenttiä ei ole. Puukaasun käyttämisellä energiantuotannossa saavutettaisiin monia etuja; työllisyys kohenisi, maailmantaloudelliset vaikutukset vähenisivät, ekologia paranisi ym. Autojen ja polttoainesten verotus on Suomen valtiolle niin hyvä rahanlähde, ettei nähdä metsää puilta. Ostovoima lisääntyisi jolloin palveluiden tarve lisääntyisi, ja työvoiman tarve lisääntyisi jälleen. Tällöin valtion saamat kokonaisverotulotkin lisääntyisivät.

Suomessa oli jo 1970-luvun energiakriisin aikaan biokaasulaitoksia, pahnin polttoa, hääpönttöautoja ym., mutta verokohtelu ja fossiilisten polttoainesten hinnan halpeneminen tyrehdyttivät kehityksen. Öljy tuskin halpenee ratkaisevasti lähiaikoina, joten uusi tuleminen energiaomavaraisempaan suuntaan on mahdollista. Traktoreiden toimissa biopolttoaineilla, ja kylämittakaavassa ”osuuskuntaperiaatteella”, uskon tulevaisuudessa puukaasun olevan merkittävä tulonlähde maaseudulla. Samalla saadaan kaupunkilaisille säilytettyä maaseutumaisemaa.

9.1 Puunkaasutus ilmastonmuutoksessa

Puun kestävä käyttö energiantuotannossa on jo sinällään positiivinen asian ilmastonmuutoksen torjunnassa. Vaikka puu onkin uusiutuva raaka-aine, niin liikkakäyttö voi johtaa varsinkin paikallisesti eroosioon ja kestäättömiin hakkuisiin. Eroosion tapahtuessa maa voi muuttua pysyvästi tai pitkäksi ajaksi käyttökelvottomaksi maaksi. (Worldwatch-instituutti 2013.) Suurien hakkuiden vaikutuksesta hiilinielu pienenee, jona puuta voidaan pitää yleisesti. Puunkaasutuksessa pitää tarkasti huomioida käytettävä puu, jotta ongelmilta vältytään. Yleisesti kannattaakin käyttää ns. roskapuuta tai jätepuuta, jolloin myös ilmastonmuutosta ei edistetä.

Puukaasuttimien äkillinen lisäys voi pahimmillaan pahentaa ilmastonmuutosta, koska uusien laitteiden rakentaminen vaatii raaka-aineita ja energiaa. Siirryttäessä harkitusti puukaasuttimeen esim. energiajärjestelmiä uudistaessa käyttöiän tullessa vastaan, voidaan järjestelmien muuttaminen tehdä pienillä vaikutuksilla. Vaikutuksia on myös laitteiden sijoituksella ja kokoluokalla, jotka voivat olla positiivisia tai negatiivisia ilmastonmuutoksen näkökulmasta. Esimerkiksi keskityttäessä sähkön tuotantoon voi lämpöenergiaa mennä hukkaan vähäisen käytön vuoksi.

Pitkällä aikavälillä fossiilisen energian korvaaminen puunkaasutuksella lieventää ilmastonmuutoksen nopeutta. Puunkaasutuksen yhdistäminen muiden uusiutuvien energiantuotannon menetelmien kanssa vaikuttaa tällä hetkellä kannattavammilta. Vaikka

puukaasuttimissa voidaan käyttää myös esimerkiksi puuhiiltä, turvetta, puuta ja muita hiiltyviä eloperäisiä kasveja, sillä ei yksinään voida korvata suurtakaan osaa fossiilista energiantuotantoa yksinään. Tämän hetkisen tiedon mukaan fossiiliset polttoaineet tulevat kuitenkin loppumaan jo mahdollisesti tulevalla sukupolvella. Näyttäisi siltä, ettei pitkälläkään aikavälillä puukaasuttimella voida kuin hidastaa ilmastonmuutoksen nopeutta.

Suurin huomio kannattaa kiinnittää laitoksien sijoitukseen ja raaka-aineen saatavuudessa. Paljon vaikuttaa myös kaikkien saadun energian hyödyntäminen varsinkin lämmön hyödyntäminen. Sähköhän voidaan usein siirtää valmiina olevaa sähköverkkoa pitkin pitkiäkin matkoja käyttökohteisiin.

Paikallisilla (20-100 kW sähköteho) pienillä laitoksilla tulee raaka-aineet läheltä ja samoin energiakulutus paikat, jolloin siirtomatkat pysyvät lyhyinä ja sitä kautta siirtoihin käytetty energia. Kyläkohtaiset laitokset työllisyyttä kohentaen lisäävät myös maaseudun vetovoimaa, joka osaltaan vähentää kaupunkilaistumista. Kaupunkielämä osaltaan lisää infrojen vaikutuksesta ilmastonmuutoksen nopeutta.

Paikallisesti puurikkailla alueilla vaikutukset voivat olla hyvinkin suuria. Metsiä hoidetaan entistä paremmin, jolloin metsät kasvavat paremmin kuluttaen hiilidioksidia enemmän sitoessaan hiiltä puumassaan. Paikallinen kasvien tuotanto voi lisääntyä esimerkiksi kasvihuoneissa, jolloin elintarvikkeiden siirtomatkat pienenevät ja ei tarvitse siirtoihin käyttää energiaa niin paljon.

Kokonaisvaikutuksena voi luonnonkunnioitus lisääntyä kaikkineen, jolla on vaikutusta luonnonvarojen käyttöön ja johtaa ilmastonmuutoksen torjuntaan osaltaan. Paljon pitää maailman muuttua, että puukaasuttimien kaltaiset laitteet torjuisivat ilmastonmuutoksen.

9.2 Puunkaasutuksen tulevaisuus

Puunkaasutus on monitahoinen prosessi kokonaisuudessaan. Prosessissa on kuitenkin tilanne yksinkertaisesti polttoaineen palamisesta hallitusti alijäämä hapella muodostaen palavaa kaasua. Kaasuttimen yli sata vuotta vanhaa paloprosessia voidaan osittain soveltaa, vaikka Suomen tuhansiin rantasaunoihin niin puheet puulämmitteisten saunojen suurista hiukkaspäästöistä voitaisiin unohtaa. Ydinkohdat polttaessa ovat kuitenkin riittävän kuiva ja kokoinen polttoaine, ensiö- ja toisioilman hallinta ja noki- ja tuhkaloukut. Näin päästöt pienentyisivät ja lämmittämisen hyötysuhde paranisi.

Puunkaasutustekniikka vaatii lisäkehitystä ja investointeja, mutta varsinkin metsäisimillä osilla maapalloa uskon olevan vahva tulevaisuus. Suomenkin pääministeri on puunkaasun kannattaja kuten kuvion 9 auto osoittaa. Toivottavasti saadaan myös nopeasti lait ja asetukset tukemaan kotimaisen energian käyttöä myös ajoneuvoissa.



Kuvio 9. Pääministeri Juha Sipilän El Kamina

9.3 Kehityskohteita puunkaasutuksessa

Puunkaasutuksessa olisi monenlaisia tutkittavia ja kehittämisen arvoisia asioita mm. puunkosteus merkitys energiantuotannossa, puunlaadun merkitys energiantuotannossa, kaasuttimen kehitystyöt ja ekologisuuden tutkiminen. Joitain tutkimuksia on tehtykin, mutta ne ovat aika vanhoja ja tutkittu tietyn tyyppisillä kaasuttimilla. (Hyytiäinen & Tötterman 1944.)

Yksi hyvin mielenkiintoinen kehityskohde olisi paineistettu käänteinen puunkaasutin. Aihe olisi hyvinkin haasteellinen varsinkin pienelle laitteistolle. Tietääkseni tekniikkaa käytetään isoissa voimalaitoksissa, mutta niissä käytetään yli ilmamäärää, jolloin muodostunut häikä ja vety poltetaan lämmöksi. Näiden kaikkien aiheiden tutkimisesta ja kehittämisestä saisi rakennettua useammankin opinnäytetyön.

Lähteet

- Amos, W. 1998. Report on Biomass Drying Technology. Colorado: National Renewable Energy Laboratory.
- Döring, S. 2013. Power from Pellets. Berlin: Springer.
- Euroopan ekologinen jalanjälki vaarantaa kestävän kehityksen. 2005. WWF Suomi. Viitattu 27.4.2016. <http://wwf.fi/wwf-suomi/viestinta/uutiset-ja-tiedotteet/Euroopan-ekologinen-jalanjalki-vaarantaa-kestavan-kehityksen-464.a>
- Honkanen, H. 2016. Asiantuntija. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Sähköposti 31.5.2016.
- Hughes, D. 2008. Maailman ympäristöhistoria. 2008.1.p. Tallinna:Tallinna raamatutrukikoda.
- Hyytiäinen, T. & Tötterman, M. 1944. Kaasutinoppia. 3 uud. p. Helsinki: Pellervo-Seura.
- Kymäläinen, M. 2015. Biokaasuteknologia. Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Hämeenlinna: Hamk.
- Köhler, S. 2007. Puukaasunaika. Helsinki: Alfamer.
- L30.12.2010/1396. 2017. Laki uusiutuville energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta. Viitattu 3.5.2017. Valtion säädöstietopankki Finlex. <http://www.finlex.fi, ajantasainen lainsäädäntö>.
- Lahtinen, P. 2017. Tila Eerikkilän yksi omistajista. Haastattelu 16.3.2017.
- Loh, J. & Wackernagel, M. 2004. Living Planet report 2004. Gland, Switzerland: WWF-World Wide Fund For Nature.
- Lehtomäki, A. 2006. Biogas Production from Energy Crops and Crop Residues. University of Jyväskylä.
- Suomen metsäkeskus. 2017. Viitattu 15.4.2017. <http://www.metsakeskus.fi/>, Metsäjärjestö.
- Riikkilä, M. 2017. Raakapuun kantohinnat viikolla 13. Metsälehti makasiini 3/2017, 16-17.
- Mikkonen, V. 2009. Ajoneuvoon asennettavan puukaasuttimen rakennusohjeet.
- Nurmi, A. 2014. Jalanjälkilaskentatyökalut ja niiden soveltuvuus kuluttajaviestintään. Lappeenrannan tekninen yliopisto. Viitattu 27.4.2016. http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/97103/Kandidaatintyö_Nurmi_Annika.pdf;sequence=2
- Ojalehto, J. 2016. Menestystarina. Yrittäjä 6, 24-30.
- Pakarinen, O. 2017. Projektimällikkö. Keski-Suomen liitto. Puhelinhaastattelu 4.5.2017.
- Pääministeri Sipilän hallitusohjelma. 2015. Valtioneuvosto. Julkaisu 29.5.2015. Viitattu 28.12.2016. <http://valtioneuvosto.fi/sipilan-hallitus/hallitusohjelma>

- Roitto, J. 2014. Puuhakkeen käsittely ja poltto-ominaisuuksien parantaminen. Biotalouden kehittäminen Parikkalassa –hanke. Viitattu 10.10.2016.
<http://www.parikkala.fi/loader.aspx?id=dfcff301-0665-435e-81a2-b04daeb99593>
- Suomen ekoautoilijat. 2017. Puukaasuhenkkinen yhdistys. Viitattu 5.1.2017.
<http://www.ekoautoilijat.fi/index.htm>
- Suomen metsäjalanjälki kutistui. 2006. Farmit uutiset. Viitattu 27.4.2016.
<http://www.farmit.net/metsalehden-metsauutiset/2006/10/10/suomen-metsajalanjalki-kutistui>
- Suomen metsävarat kasvavat jatkuvasti. 2017. Artikkelit Metsäteollisuus ry verkkosivuilla. Julkaistu 13.2.2017. Viitattu 3.3.2017.
<https://www.metsateollisuus.fi/painopisteet/metsat-puuhuolto/metsien-vastuullinen-kaytto/Suomen-metsavarat-kasvavat-jatkuvasti-73.html>
- Suomen virallinen tilasto. 2016. Energian hinnat [verkkojulkaisu].
ISSN=1799-7984. 4. vuosineljännes 2016, Liitetaulukko 3. Lämmitysenergian kuluttajahintoja joulukuussa 2016 . Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 25.4.2017].
Saantitapa: http://www.stat.fi/til/ehi/2016/04/ehi_2016_04_2017-03-08_tau_003_fi.html
- Vaasansähkö käyttöraportti 2017. Eerikkilän tilalta.
<https://online.vaasansahko.fi/eServices/Online/Login?ReturnUrl=%2fReporting%2fCustomerConsumption>
- Väinämö, V. 2006. Suomen ekologinen jalanjälki-metsäosion laskenta. Lappeenranta tekninen yliopisto. Viitattu 27.4.2016.
<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/29908/TMP.objres.210.pdf;sequence=1>
- Worldwatch-instituutti.2013. Maailmantila 2013.1.p.Helsinki:Gaudeamus Oy.

Liitteet

Liite 1. Pörssisähkön hinta

PÖRSSISÄHKÖ KODILLE
[\(https://www.nordicgreen.fi/kotitalouksille/sahkosopimus/porssisahko/\)](https://www.nordicgreen.fi/kotitalouksille/sahkosopimus/porssisahko/)

KUUKAUSI	2017	2016	2015	2014
Tammikuu	4.13	4.69	4.19	4.99
Helmikuu	4.35	3.24	4.11	4.24
Maaliskuu		3.36	3.65	3.87
Huhtikuu		3.38	3.73	3.91
Toukokuu		3.48	3.21	4.54
Kesäkuu		4.39	2.67	4.39
Heinäkuu		3.84	3.42	4.56
Elokuu		3.89	3.86	4.76
Syyskuu		4.03	3.94	4.75
Lokakuu		4.65	4.15	4.55
Marraskuu		5.09	3.94	4.39
Joulukuu		4.22	3.29	4.60

Liite 2. Rahoitussuunnitelma

RAHOITUSTARVE JA RAHOITUSSUUNNITELMA

Nimi	Eerikkilä
Päiväys	26.4.2017
Yritys	

RAHOITUS- JA VAKUUSTARPEET	€	€
Maa-alueet		
Rakennukset (alv 0%)		
Ostohinta		
Muutostyöt		
Osakkeet		
Koneet ja kalusto (alv 0%)		
Rakennukset	10 000	
Koneet	40 000	
		50 000
Aineettomat investoinnit		
Käyttöpääoma		
Aloittamisen hankinnat (esite, nettisivut, toimistotarv., sisustus)		
Alkuvarasto		
Muu rahoitustarve (kassa, vuokra, ym. rahoitustarpeet)		
Pankkitakaustarpeet		
Vuokravakuudet		
Vakuudet tavarantoimittajille		
Rahoitus- ja vakuustarpeet yhteensä		50 000

RAHOITUSSUUNNITELMA	€	€
Oma rahoitus		
Pääomasijoitus	2 500	
Osakslaina	20 000	
Apporttiamaisuus (jos sis. rah.tarpeisiin)		
Tulorahoitus		22 500
Yritystuet		
Ely-Keskus: EAKR	30 000	
Ely-Keskus: Maaseuturahasto		
Muut (ei starttiraha)		30 000
Lainarahoitus		
Pankkilaina, johon Finnveran takaustarve		10 000
Finnveran laina		
Pienlaina		
Naisyrittäjälaina		
Investointi ja käyttöpääomalaina		
Leasing		
Osamaksurahoitus		
Pankkitakaustarpeet		
Yrityksen/yrittäjän vakuuksilla		
Finnveran takauksella		
Rahoitussuunnitelma yhteensä		62 500
Erotus (Tarpeet-Suunnitelma)		-12 500

Liite 3. Tulossuunnitella

YRITYKSEN 12 KK:n TULOSSUUNNITELMA,

2. tilikausi

Nimi	Sami Selänniemi
Päiväys	1.5.2017
Yritys	Puunkaasutus energiaksi

		€ / kk	€ / tilikausi	pituus
TAVOITETULOS		1 000	12 000	12
+ yksityisöt (tmi, ky, ay) tai osingot		0	0	
+ lainojen lyhennykset		417	5 000	
- poistot		917	11 000	
+ verot	20,0	125	1 500	
+ muut kulut		400	4 800	
- muut tuotot, mm. vuokratulot			0	
+ poistot		917	11 000	
+ lainojen korot ja muut rah.kulut		22	263	
= KÄYTTÖKATETAVOITE		1 964	23 562	
KIINTEÄT KULUT		€ / kk	€ / tilikausi	%
+ palkat ulkopuolisille	0	0	0	0,0
+ sivukulut, %	0,0	0	0	0,0
+ palkat omistajille	0	0	0	0,0
+ sivukulut, %	0,0	0	0	0,0
+ YEL (lkm x % x työtulot)	0	0,0	0	0,0
+ vakuutukset (palo, keskeytys, vastuu)		50	600	1,6
+ myynti- ja markkinointikulut		0	0	0,0
+ painotuotteet		20	240	0,6
+ toimitilavuokrat		0	0	0,0
+ kone- ja laitevuokrat		50	600	1,6
+ ajoneuvokulut (polttoaine, huolto, vakuutukset, verot)		50	600	1,6
+ päivärahat		0	0	0,0
+ muut matkakulut (juna, bussi yms)		0	0	0,0
+ sähkö, lämpö, vesi		0	0	0,0
+ puhtaanapito		100	1 200	3,2
+ kunnossapito ja huolto		200	2 400	6,4
+ puhelin, internet		10	120	0,3
+ kirjanpito		50	600	1,6
+ toimistokulut		20	240	0,6
+ koulutus ja kurssit		0	0	0,0
+ ammattikirjallisuus ja lehdet		0	0	0,0
+ pankkikulut		0	0	0,0
+ muut kiinteät kulut		0	0	0,0
= Kiinteät kulut yhteensä		550	6 600	17,5
= MYYNTIKATETAVOITE	%	80,0	2 514	80,0
+ aine- ja tarvikkäkäyttö	%	15,0	471	15,0
+ muut muuttuvat kulut (mm. alihankinta)	%	5,0	157	5,0
+ muuttuvat palkat + sivukulut (mm. provisiot)	%	0	0	0,0
= Muuttuvat kulut yhteensä	%	20,0	628	20,0
= LIKEVAIHTOTARVE		3 142	3 142	100,0
+ arvonnisävero		0	0	
= KOKONAISMYYNNTARVE		3 142	3 703	

kuukausimyynnin tavoite	kk/vuosi	9	4 189 €
viikkomyynnin tavoite	viikkoa/v		
päivämyynnin tavoite	pv/kk		
myyntitavoite /päivä/tunti	tuntia/pv		