

Sinja Poikkimäki

Robottinavetan energiaratkaisut

Energiainvestointien suunnittelu Keskitalon Maito Maatalousyhtymälle

Opinnäytetyö
Syksy 2020
SeAMK Ruoka
Agrologi (AMK)

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAmk

Tutkinto-ohjelma: Agrologi

Suuntautumisvaihtoehto: Tuotantoprosessit

Tekijä: Sinja Poikkimäki

Työn nimi: Robottinavetan energiaratkaisut – energiainvestointien suunnittelu Keskitalon Maito Maatalousyhtymälle

Ohjaaja: Juha Tiainen

Vuosi: 2020

Sivumäärä: 55

Liitteiden lukumäärä: 0

Tämä opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Demeca Oy:n ja Kotiwatin kanssa. Pohdin opinnäytetyössäni maatalousyrittäjien mahdollisuuksia uusiutuvan energian saralla. Esittelin kaksi erilaista uusiutuvaan energiaan pohjautuvaa ratkaisua esimerkkimaa-tilalle, ja laskin niiden kannattavuuden investointina. Demeca Oy:n kanssa yhteistyössä tehtiin biokaasulaitoksen suunnittelu ja Kotiwatin kanssa aurinkoenergiainvestoinnin osuus. Työtä lähdettiin tekemään ajatuksella, että biokaasulaitos investointina on suuri ja vaikea saada kannattavaksi tässä tilakokoluokassa. Sen sijaan aurinkosähköjärjestelmän uskottiin jo alkuvaiheessa olevan kannattava. Sain molemmilta yrityksiltä tarjoukset hankintoihin, joiden pohjalta tein investointilaskemat.

Asiaa lähestyttiin ensin selvittäen tämänhetkinen tilanne, energian tarve sekä nykyiset energiamuodot. Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta laskettiin kahdessa eri kokoluokassa ajatuksella saada vuotuista sähkölaskua pienemmäksi ja biokaasulaitoksen kannattavuutta pienimmässä yrityksen tarjoamassa kokoluokassa. Investointien toteutus ei kuulunut tähän työhön, lasketaan vain teoreettisesti investointien kannattavuus.

Työni kohteena toimi Mty Keskitalon Maito eli Leppäsen tila Reisjärvellä.

Avainsanat: biokaasu, aurinkoenergia, aurinkosähkö

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Food and Agriculture

Degree programme: Agriculture and Rural Enterprises

Specialisation: Agricultural and Production Processes

Author/s: Sinja Poikkimäki

Title of thesis: Energy Solutions on a Robotic Dairy Farm – Planning of Energy Investments for Keskitalon Maito MTY

Supervisor(s): Juha Tiainen

Year: 2020

Number of pages: 56

Number of appendices: 0

Keskitalon Maito MTY in Reisjärvi was the case enterprise in this thesis. The thesis was compiled in cooperation with Demeca Oy and Kotiwatti. In the thesis farmers' possibilities to use renewable energy were studied. Two different types of renewable energy solutions were introduced and their profitability as an investment was calculated. The biogas investment was planned with Demeca Oy and the solar energy investment with Kotiwatti. A biogas plant as an investment was considered too big for an agricultural enterprise in question. Instead, the solar energy investment was considered profitable from the very beginning.

The issue was approached by clarifying the current situation and energy consumption, the type of current energy solutions and the energy need. The thesis work does not cover the practical implementation but only the profitability calculations.

Keywords: biogas, solar energy, solar electricity

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO.....	8
1.1 Katsaus EU:n ja Suomen hallituksen ilmastopolitiikkaan.....	9
1.2 Energian käyttö maataloudessa.....	10
1.3 Maatalouden energiakustannukset ja keskimääräinen kulutus.....	11
1.4 Maatalous ja ilmastonmuutos.....	12
1.5 Työni tavoite.....	13
2 TILAN ESITTELY JA NYKYTILANNE.....	15
2.1 Tilan esittely.....	15
2.2 Nykyinen tilanne.....	16
2.3 Lämmön tarve navetassa ja muissa rakennuksissa.....	17
2.4 Energian kokonaiskulutus ja jakautuminen.....	18
2.5 Mahdollisuudet aurinkoenergian ja biokaasun tuotantoon.....	18
2.6 Energiatehokkuus.....	18
3 BIOKAASULAITOKSEN SUUNNITTELU.....	20
3.1 Johdanto.....	20
3.2 Biokaasun mahdollisuuksia.....	21
3.3 Biokaasutuotannon raaka-aineet.....	22
3.4 Kuiva-aine (TS) ja sen orgaaninen aines (VS).....	23
3.5 Metaanin tuotto.....	23
3.6 Biokaasutuotannon biologinen perusta.....	24
3.7 Maatalouden raaka-aineet.....	29
3.8 Laitoksen luvitus ja syötteiden käsittelyvaatimukset.....	30
3.9 Biokaasun tuotto ja kaasun laatu.....	30
3.10 Mädätysjäännös.....	32
3.11 Biokaasulaitoksen tekniikka.....	33

3.12	Biokaasun käyttökohteet.....	35
3.13	Biokaasulaitoksen energialaskelma	36
3.14	Investoinnin suunnittelu ja laskentamenetelmät.....	37
3.15	Biokaasulaitoksen investointilaskemien tulokset.....	39
3.16	Kannattavuutta biokaasun myynnillä, yhteistyöllä tai itse tehden?..	40
4	AURINKOENERGIAN SUUNNITTELU	41
4.1	Perusasiaa auringosta	41
4.2	Aurinkoenergia Suomessa ja suomen maataloudessa	42
4.3	Auringon säteily Suomessa.....	43
4.4	Aurinkolämpö, aurinkokeräimet.....	44
4.5	Aurinkokeräimien hyötysuhteista.....	45
4.6	Mitoitus.....	46
4.7	Aurinkosähkö	47
4.8	Aurinkosähköjärjestelmän toimintaperiaate.....	48
4.9	Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus.....	50
4.10	Tuotot ja kustannukset	50
4.11	Aurinkosähkö investoinnin laskelmien tulokset	52
5	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	53
	LÄHTEET	55

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Mty Keskitalon maito.....	15
Kuva 2. Mty Keskitalon maidon navetta	16
Kuva 3. Näkymä pihaan.....	17
Kuva 4. Konehallin kattopinta-alaa on runsaasti.	19
Kuva 5. Biokaasun mahdollisuuksia.....	22
Kuva 6. Biokaasuprosessi.....	25
Kuva 7. Mädatysjäännös.....	33
Kuva 8. Kuivamädatyksen idea.....	35
Kuva 9. Aurinkoenergian pääsy maapallolle	42
Kuva 10. Heat-pipe putken rakenne.....	45
Kuva 11. Esimerkkikennon ominaisuuskäyrä eli I-U käyrä.....	49
Taulukko 1 Biokaasulaitoksen lähtötiedot	39
Taulukko 2. Sähkönkulutus kuukausittain	47
Taulukko 3. 30,3 kWp:n järjestelmän lähtötiedot.....	50
Taulukko 4. 30,3 kWp:n järjestelmän laskutulokset	51
Taulukko 5. 40,2 kWp:n järjestelmän lähtötiedot.....	51
Taulukko 6. 40,2 kWp:n järjestelmän laskutulokset	52

Käytetyt termit ja lyhenteet

Hiilineutraali	Ihmisen toimintaa, jonka tuloksena on korkeintaan yhtä paljon hiilipäästöjä, kuin niitä pystytään sitomaan nk. hiilinieluihin.
Aurinkovakio	Auringon sähkömagneettisen säteilyn kokonaisteho tietylle pinta-alalle.
Lämpöarvo	ilmaisee aineen palaessa syntyvän lämpöenergiämäärän aineen massayksikköä kohden.

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutos, energiansaannin turvaaminen ja riittävyys sekä riippuvuus fossiilista polttoaineista ovat nousseet huolenaiheiksi maailmanlaajuisesti. Uusiutumattomat energiavarat, joihin myös ydinenergian raaka-aineet kuuluvat, tulevat loppumaan aikanaan. Kysymykset niin ilmaston, kuin energiaratkaisujenkin tiimoilta liittyvät kiinteästi maaseudun tulevaisuuden näkyymiin. Uusiutuvien energianlähteiden kuten aurinko-, tuuli-, ja vesivoiman sekä kasvibiomassan käyttö tähtäävät maaseutuelinkeinojen elpymiseen ja energiaomavaraisuuteen (Seppänen 2012, 43, 45–46).

Maailman energian tuotanto nojaa vahvasti fossiilisiin polttoaineisiin, joilla katetaan 80 % kokonaisenergian tarpeesta. Fossiiliset polttoaineet ovat suurin yksittäisen ihmisen kasvihuonepäästökuormitusta lisäävä tekijä. Vastaavasti uusiutuvan energian käyttö on vastalääke tälle ilmiölle, kasvihuonekaasupäästöjä vähentäen. Suomessa puupolttoaineet ovat merkittävässä asemassa uusiutuvasta energiasta puhuttaessa ja niiden käyttökapasiteetti on suuri (Niskanen 2008, 208).

Maapallolla kaikki energia tulee auringosta, pois lukien ydinenergia. Sekunnissa auringon säteily tuo maapallolle 30 TWh energiaa eli suomen vuotuisen sähkönkulutuksen verran. Aurinkoenergian käytön kankeutta perustellaan sillä, että sen varastointi on kallista ja vasta kehitysasteella. Lisäksi meillä Suomessa talvi on pitkä ja pimeä (Käpylehto 2016, 9–10).

Aurinkoenergian käyttö ei ole uusi keksintö, jo 6000 vuotta sitten Kiinassa hyödynnettiin ns. passiivista aurinkoenergiaa rakentamalla talot ilmansuuntien mukaan. Ikkunat keskitettiin eteläpuolella, kun taas pohjoispuolelle ei tullut juurikaan ikkunoita. Talvisin aurinko paistoi matalalta, ikkunoista sisään ja kesällä etelästä paistaessaan niin korkealta, ettei sen lämmitysteho ollut niin voimakas, jotta asunnot olisivat lämmenneet liikaa. ”Aurinkoarkkitehtuuriin” kuului myös muita rakennusteknisiä seikkoja ja niitä hyödynnettiin myös antiikin Kreikassa ja Roomassa sekä Amerikan intiaanikansojen keskuudessa (Käpylehto 2016, s.11).

Ensimmäiset aurinkokeräimet kehiteltiin 1800-luvulla Amerikassa, kysynnän ollessa heikko öljyn ja maakaasun yleistymisen takia. Aurinkokeräimiä on käytetty Amerikan aurinkoisilla alueilla muun muassa Toisen maailmansodan jälkeisen energian hinnannousun takia. Vuonna 1941 puolet kaikista Miamin kotitalouksista lämmitti käyttötöversä aurinkokeräimillä, mutta sodan jälkeen energian hinnan pudotessa aurinkokeräimien suosio hiipui jälleen (Käpylehto 2016, 14–16).

Asiantuntijoiden julkisuuteen tuomat laskelmat povaavat ilmastonmuutoksen torjumiselle ja uusiutuvan energian käyttöön siirtymiselle pelottavan isoa hintalappua. Puhutaan jopa 50 000 miljardin euron ylimääräisistä menoista puolen vuosisadan sisällä. Niiden kokemusten pohjalta, joita aurinkokeräimien käytännön hyödyistä on saatu, tätä on vaikea uskoa. Pikemminkin päinvastoin, esimerkiksi Kiinassa aurinkokeräimet tuottavat käyttäjälleen noin 200 dollarin säästön ja maksavat itsensä takaisin kahdessa tai kolmessa vuodessa (Käpylehto 2016, 16–17).

1.1 Katsaus EU:n ja Suomen hallituksen ilmastopolitiikkaan

Euroopan unionin ilmastopolitiikalla ohjataan sekä yhteisiä että jäsenmaiden omia toimia ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi, ja siihen sopeutumiseksi. Poliitiikan ytimessä ovat päästökauppa, kansalliset tavoitteet päästökaupan ulkopuolisille alueille, uusiutuvan energian lisäämistavoite ja EU:n sopeutumisstrategia. EU:n ilmastopolitiikka tähtää vuoteen 2050 asti (Ilmasto-opas.fi 2019, Maatalouden mahdollisuudet muuttuvat ilmaston muuttuessa).

Jos jokin on varmaa, niin muutos. EU:ssa uusiutuvia energian lähteitä käytetään tulevaisuudessa enemmän, 20 % kokonaisenergian kulutuksesta. 2020 vuoteen mennessä liikenteen biopolttoaineiden määrää nostetaan 10 %:iin. Suomen 2030 vuoden tavoite on tässä 30 %:n nousu kaikista tieliikenteeseen myydyistä polttoaineista. (Ilmasto-opas.fi 2019, Maatalouden mahdollisuudet muuttuvat ilmaston muuttuessa).

Euroopan Unionin ilmastopolitiikan ohjenuora vuoteen 2020 saakka on maailmanlaajuinen Kioton pöytäkirja ja EU:n sisäinen 2020- ilmasto ja energiapaketti. Kioton

pöytäkirjan tavoitteet olivat 2008–2012 kahdeksan prosentin ja 2013–2020 20 %:n vähennys kasvihuonepäästöjen osuudesta 1990 tasoon verrattuna. Vuoden 2030 ja 2050 tavoitteita on jo myös hahmoteltu ja tavoitteena on pyrkiä edelleen vähähiiliseen energiatalouteen. Pariisin ilmastopöytäkirjassa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä on suunniteltu edelleen lisättävän, 40 % vuoteen 2030 mennessä verraten 1990 vuoden tasoon (Muurman 2018).

Suomen ilmastopolitiikan pitkántähtäimen tavoite on hiilineutralius. Pääministeri Antti Rinteen hallitusohjelman mukaan hiilineutralius saavutettaisiin jo vuonna 2035. Tämä tarkoittaa tilannetta, jossa Suomi ei tuota lainkaan nettohiilidioksidipäästöjä. Silloin pyritään mahdollisimman vähäisiin päästöihin, ja pakolliset kompensoidaan joko hiilinieluilla tai muilla päästövähennyksillä. Suomen EU:sta saatu tavoite lisätä uusiutuvan energian osuutta 38 %:iin kokonaiskulutuksesta vuoteen 2020 mennessä saavutettiin jo 2014. Uusiutuvan energian tuotantoon on suomessa jo pitkään panostettu ja sen osuus energian tuotannossa on korkea (Ilmasto-opas.fi 2019, Maatalouden mahdollisuudet muuttuvat ilmaston muuttuessa).

Kasvihuonekaasupäästöjen yleinen vähentämistavoite 2030 vuoteen mennessä on 40 % ja Suomella on velvoite päästökaupan ulkopuolisilla aloilla vähentää päästöjä 2030 vuoteen mennessä 39 % vuoden 2005 tasosta. Päästökaupasektorin päästöjen vähentäminen vuoteen 2005 verraten tulee olla 43 %. Uusiutuvan energian osuus kokonaisenergian määrästä tulisi olla 50 % vuoteen 2030 mennessä. Lisäksi energiatehokkuutta pyritään parantamaan 32,5 %. Energiatehokkuuden lisäämisellä onki iso rooli kasvihuonepäästöjen vähentämisessä. Tällä hetkellä suomessa energiatehokkuutta parannetaan vapaaehtoisilla energiatehokkuussopimuksilla (Ilmasto-opas.fi 2019, Maatalouden mahdollisuudet muuttuvat ilmaston muuttuessa).

1.2 Energian käyttö maataloudessa

Vuonna 2016 maa- ja puutarhatalouden energiankäytön osuus Suomen kokonaisenergian kulutuksesta oli 3 %, 11 381 gigawattituntia (GWh). (Luonnonvarakeskus 2018) Kevyen ja raskaan polttoöljyn käyttö lämmityksessä on vähentynyt ja kiinteillä polttoaineilla kuten puulla, turpeella ja peltoenergialla katetaan jopa 49 % energian tarpeesta. Sähkön kulutus on lisääntynyt sitten vuoden 2013, nousu on 13 % ja se

selittynee osin tuotantorakennusten tekniikan lisääntymisellä. Tilastokeskuksen mukaan 45 % sähköntarpeesta oli uusiutuvalla energialla tuotettua (Lehtonen 2019).

Maatalouden osuus Suomen energian kulutuksesta oli 3 % vuonna 2016, siis vähäinen osuudeltaan kokonaiskulutuksessa, ja sen säästöt maan mittakaavassa eivät ole merkittävät. Yksittäiselle yrittäjälle tilakohtainen säästö energian saralla on kuitenkin merkittävä, sillä sen osuus maatalouden kokonaiskustannuksista kasvaa jatkuvasti. Esimerkiksi vuonna 2000 energian osuus kokonaiskustannuksissa oli 5 %. Vuoteen 2011 mennessä taso oli 8 %. Suunta on nouseva jatkossakin, joten energian käyttö ja etenkin säästö on korostuneen tärkeää. (Ahokas 2013, s.18.)

1.3 Maatalouden energiakustannukset ja keskimääräinen kulutus

Maatalouden kokonaiskustannuksista energiakustannusten osuus on kasvanut energian hinnan nousun ja koneellistumisen myötä. Jos energian kulutusta halutaan vähentää, on tärkeää seurata energian kulutusta. Energian käyttö voi olla sekä suoraa että epäsuoraa. Suoran energian piiriin kuuluu muun muassa lämmitys tai polttoaineet, epäsuoraan ostorehujen ja lannoitteiden valmistukseen käytetty energia (Maaseudun Tulevaisuus 2014, Maatilojen energiakustannuksissa eroja).

Suomalaisilla maitotiloilla sähkön, lämmön ja polttoaineiden kesken jakautuva energiankulutus on hyvin tasaista ja keskimäärin maitotonnia kohden energiaa kuluu 1083 kWh. Sähkön hinta muodostuu veroista, sähköenergiasta ja sähkön siirrosta. Laitte-, ja menetelmätavoilla on suuri merkitys tilan sähkölaskuun. Energiatehokkuus tarkoittaa käytetyn energian ja tuotetun tuotteen välistä suhdetta, esimerkiksi kWh/maitolitra (Posio 2014).

Keskimäärin suomalaisella maatilalla kuluu energiaa 146 MWh vuodessa. Maatalousyrityksen kustannuksista 3,5–6,5 % tulee energian käytöstä, määrä vaihtelee tuotantosuunnan ja kokoluokan mukaan. Lypsykarjataloudessa energiankulutus muodostuu navetan ilmanvaihdon, lämmityksen, valaistuksen, ruokinnan, lypsykoineiston ja maidon käsittelyn energiankulutuksesta (Kari 2009, 17–20) Työn esimerkkitalilla ilmanvaihto on luonnollinen, eikä navettaa lämmitetä.

1.4 Maatalous ja ilmastonmuutos

Golf-virran vaikutuspiirissä Suomi on pohjoisimpia maita, jossa harjoitetaan laaja-alaista maanviljelyä. Ilmastonmuutoksen johdosta pidentyvä kasvu- ja laidunkausi tuo myös mahdollisuuksia, mikäli osaamme sopeutua tuleviin muutoksiin. Uudet kasvilajikkeet ja viljelytekniikoiden kehitys ovat avainasemassa. Epävarmaa on, kuinka sateet tulevat jakautumaan eri vuodenaikojen kesken (Ilmasto-opas.fi 2019, Maatalouden mahdollisuudet muuttuvat ilmaston muuttuessa).

Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden ja lämpötilan noustessa vaikutukset peltoviljelyyn ovat suuret. Kasvien kasvu ja kehitysrytmi tulevat kiihtymään tuoden muutoksia maaperän vesi- ja ravinnetalouteen. Kun kasvien yhteyttäminen lisääntyy, myös veden käyttö tehostuu. Lisääntyvä haihdunta lisää suurella todennäköisyydellä kastelun tarvetta, myös kuivuusjaksot ovat mahdollisia. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia sadontuottoon on kuitenkin vielä mahdotonta täysin arvioida. Vaikutuksien mittaavuus on pitkälti kiinni siitä, mihin kohtaan säämuutokset tulevat suhteessa kasvien kasvuvaiheita (Luonnonvarakeskus Luke 2020, Maatalous ja ilmastonmuutos).

Ilmaston lämmitessä niin luonnon- kuin viljelykasvien menestymiseen vaikuttaa sopeutuvuus. Uusia lajikkeita ja entuudestaan tuntemattomia tuholaisia tullaan varmasti näkemään. Leudot talvet lisäävät jo tunnettujen tuholaisien määrää, helpottavat talvehtimistä ja lisäävät leviämistä. Lisäksi kohonnut kesälämpötila tulee mahdollistamaan useamman tuholaiskukupolven kehittymisen esimerkiksi kirvoilla. Luontaisesti tuholaisia kurissa pitävien saalistajien ja loisten kannat tulevat muuttumaan ja näin vaikuttamaan epäsuorasti tuholaisriskiin. Kasvitaudit hyötyvät lämpimästä ja kosteasta ilmastosta ja uusia rikkakasveja voi ilmetä (Luonnonvarakeskus Luke 2020, Maatalous ja ilmastonmuutos).

Kasvukauden pidentyessä erityisesti Pohjois-Suomessa sadot voivat suureta. Viljelylajisto viljelykierron ohella monipuolistuu ja typpilannoitusta päästää ehkä korvaamaan esimerkiksi öljykasvien, palkokasvien ja muiden erikoiskasvien viljelyn avulla.

Ilman lämmitessä myös maaperä lämpenee ja tämä vaikuttaa positiivisesti orgaanisten aineiden hajoamiseen ja ravintotalouteen (Luonnonvarakeskus Luke 2020, Maatalous ja ilmastonmuutos).

Liiallinen kosteus syksyisin voi huonontaa sadon laatua, mutta muuten syyskylvöt lisääntynevät. Alkukesän kuivuus tulee todennäköisesti haittaamaan kevätiljojen kasvua. Talven leutos ja sateisuuden lisääntyminen lisäävät eroosiota, joka altistaa ravinteiden huuhtoutumiselle. Myös roudan vaikutus savimaiden rakenteeseen vähenee, ja yhä tärkeämpää on talviaikainen kasvipeite maan ravinnerikkauden ja kasvukunnon säilyttämiseksi. Maaperän orgaanisen aineen lisääminen seosviljelyllä, aluskasvien käytön avulla sekä syyskylvöisten viljojen suosiminen vähentävät kasvihuonekaasupäästöjä. (Luonnonvarakeskus Luke 2020, Maatalous ja ilmastonmuutos).

Tulevaisuuden tärkeitä energiakysymyksiä maatalouden näkökulmasta ovat uusiutuvaan energiaan siirtyminen ja energiatehokkuuden parantaminen. Ilmaston lämmitessä sisäruokintakausi lyhenee eikä rehujen varastointiin tarvita enää niin paljon resursseja. Lämmitykseen tarvittavan energian määrä tulee vähenemään, mutta jäähdytysenergian tarve kasvaa. Investointikustannukset vähenevät lämmitys- ja varastointikustannusten laskiessa ja lisääntynyt laiduntaminen tukee eläinten hyvinvointia ja sitä kautta tuotosta. Tässäkin on kuitenkin myös kääntöpuoli, rasite pelloilla ja laitumilla kasvaa ja vesistökuormitusriski on olemassa. Eläintautien lisääntyminen on myös oma lukunsa. (Luonnonvarakeskus Luke 2020, Maatalous ja ilmastonmuutos).

1.5 Työni tavoite

Vuonna 2013 kirjoitetussa ENPOS-hankkeen kirjallisessa osuudessa Maatilojen energiankäyttö katsotaan vuoteen 2020. Kyseisen tuloskirjan mukaan maatalous on viimeisen 50 vuoden aikana tullut riippuvaiseksi fossiilisesta energiasta. Maakaasulla valmistetaan suurin osa lannoitteista ja lähes kaikki työ tehdään koneilla. Mah-

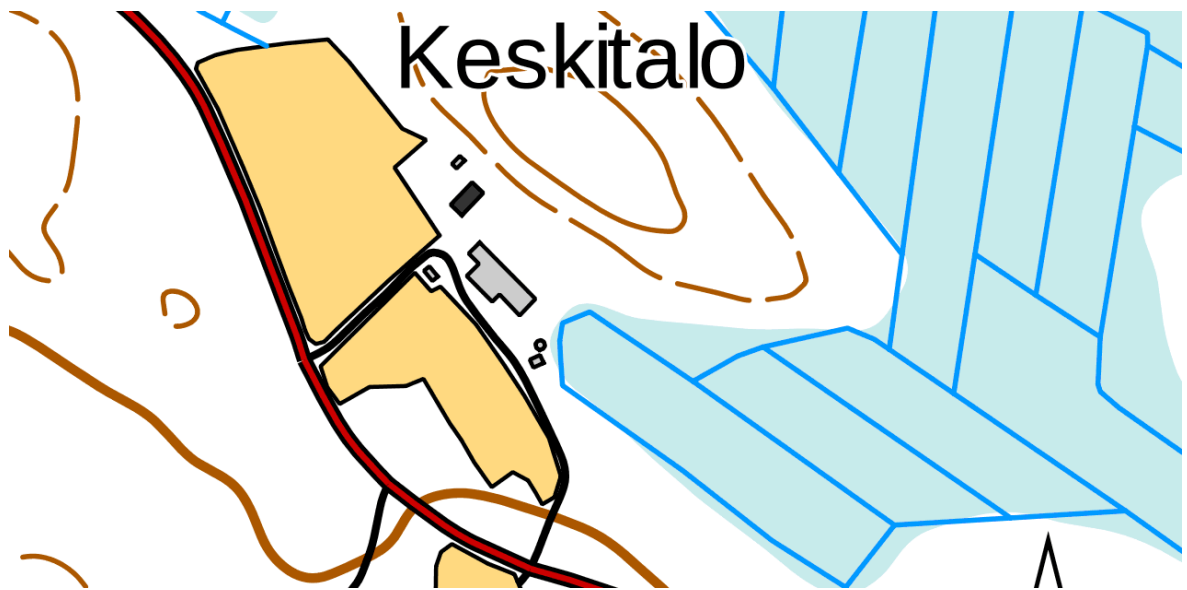
dollisuuksia muutokseen on. Voidaan siirtyä kotimaiseen jopa itsetuotettuun energiaan ja saada kokonaiskulutusta pienemmäksi. Energian säästötoimet eivät ole liikkään aina taloudellisesti kannattavia, mutta fakta on, että maatalouden kustannuksista yhä isompi osa menee energiaan. (Ahokas 2013)

Työni tavoite on selvittää, millaiset energiaratkaisut uusiutuvan energian ja omavaraisuusasteen kehittämisen näkökulmasta sopivat kahden robotin pihattonavettaan. Tässä opinnäytetyössä perehdyn ainoastaan teoreettisesti aiheeseen, investointien toteutus jää pois. Mitoitan esimerkkitilalle sopivan kokoisen aurinkosähköjärjestelmän ja pohdin biokaasuvoimalan mahdollisuutta tilalle. Lasken investointien kulut ja selvitän, ovatko ne kannattavia.

2 TILAN ESITTELY JA NYKYTILANNE

2.1 Tilan esittely

Mty Keskitalon Maito koostuu 2001 valmistuneesta ja 2018 laajennetusta kahden robotin pihattonavetasta, jonka yhteydessä isäntäpari asuu omakotitalossa neljän tyttärensä kanssa. Tilalla on myös suuri konehalli, josta 1/3 osaa on sähkölämmityksellä. Tilalla on viljelyssä 205 ha ja lypsäviä lehmiä on 175. Vilja murskataan ja tuoresäilötään pääsääntöisesti, tilan kuivurin polttoaine on öljy. Tämä opinnäytetyö käsittelee vain isäntäparin pihapiirin rakennuksia. Hieman irti pihasta pariskunnalla on vanha navetta, jota käytetään konesuojana ja varastona.



Kuva 1. Mty Keskitalon maito (MML Karttapaikka)



Kuva 2. Mty Keskitalon maidon navetta

2.2 Nykyinen tilanne

Navetassa ei ole lämmitystä ja valaistus hoituu ledilampuilla varustetuilla loisteputkilla. Veteen lämmitysenergiaa otetaan maidon lämmön talteenottolaitteen jälkeen vielä hiukan lämminvesivaraajasta. Konehallin lämmitys toteutetaan sähköllä ja tilan kuivuri käy polttoöljyllä. Asuinrakennuksen lämmitys siirtyi maalämpöön vuonna 2016.

Maalämpö asuinrakennuksen lämmitysmuotona on hyvä, siihen ei ole syytä puuttua. Sähkölämmitteisen veden, konehallin lämmityksen sekä valaistuksen ja muiden sähkölaitteiden sähkölaskuun sen sijaan kannattaa. Työn tavoite on löytää yritykselle investointimahdollisuuksia, jotka tukevat energiaomavaraisuutta yrityksessä ja pienentävät ostosähkön tarvetta.

Jo työtä tekemään lähdetessä arvioimme Demeca Oy:n yhteyshenkilön kanssa, että tilan syötteet kyllä riittävät, mutta sähkönkulutus ei ole riittävä kannattavuuden saavuttamiseksi. Neuvottelin mahdollisuudesta tehdä muun muassa pohjatyöt maatalousyrityksen puolesta, jolloin investoinnin hankintahintaa saataisiin alaspäin. Pienen mittakaavan biokaasulaitos tarvitsee samanhintaiset laitteistot, kuin isompikin.

Toisaalta olen tutustunut eri toimittajien hintoihin ja hintavaihtelua ilmenee. Suomessa on täysin kannattavia ja toiminnassa olevia ko. tilakokoluokan biokaasuvoimaloita. Ne ovat kuitenkin toteutettu pitkälti itse tehden, eikä avaimet käteen-periaatteella. Aurinkosähkön uskottiin jo alkuvaiheessa olevan kannattava investointi.



Kuva 3. Näkymä pihaan

2.3 Lämmön tarve navetassa ja muissa rakennuksissa

Navetassa on luonnollinen ilmanvaihto, eikä lämmityksen tarvetta ole. Osa sosiaalitiloista sekä robottitoimisto ovat lämmitettyjä, niissä on vesikiertoinen lattialämmitys. Vettä navettaan lämmitetään lämminvesivaraajalla maidon lämmöntalteenoton jälkeen vielä noin 8 astetta. Korjaamohallin pinta-alasta osa lämmitetään sähköllä tarvittaessa, noin 10 asteen lämpötilaan. Asuinrakennuksen lämmitys on maalämpölähtöinen.

2.4 Energian kokonaiskulutus ja jakautuminen

Elenialta saadun tuntisarjan mukaan koko vuoden sähkönkulutus tilakokonaisuudessa on 141 442 kWh. Omakotitalo on maalämmössä, mikä tarkoittaa sitä, että maalämpöpumppu hyödyntää maaperän geometristä tai auringosta peräisin olevaa energiaa. Se, kumpaa muotoa lämpö on, määräytyy keräysputkien syvyyden mukaan. 10–20 metriin saakka kyse on auringon lämmöstä, tätä syvemällä taas geometrisestä lämmöstä. Lämpöpumppu toimii sähköllä, ja tuottaa esimerkiksi 1 kWh:lla 2–4 kWh:ta. (Käpylehto 2016 s.49) OKT:n pinta-ala on 220m², joten sen energian kulutus on arvioiden 17 860 kWh/v. (Vattenfall [Viitattu 15.8.2020.]

Omakotitalon ja kokovuoden sähkönkulutuksen erotuksena saadaan maatalouden tuotantorakennusten sähkönkulutuksen osuus, 123 582 kWh/v. Maatalousyrityksen sähkön hinta on tällä hetkellä 8 snt/kWh, sisältäen perussähkön, sähkön siirron ja sähköveron. Vuoden sähkölasku on siis noin 9 900 €.

2.5 Mahdollisuudet aurinkoenergian ja biokaasun tuotantoon

Konehallin katto sopii hyvin aurinkoenergian tuotantoon, sillä se osoittaa toiselta lappeelta kaakkoon, toinen lounaaseen. Tämä antaa mahdollisuuden jakaa aurinkosähköpanelisto niin, että aurinkoenergiaa voidaan tuottaa aamusta iltaan. Biokaasua tilalla voidaan tuottaa lietelannasta, kasvijätteistä ja hävikkirehuista. Myös energiakasvien viljely on yksi vaihtoehto. Lietelantaa tilalla syntyy noin 4000 m³/v. Laskelmissa ei päästy kasvijätteiden ja hävikkirehujen arviointiin vaan oletettiin syötteenä käytettävän vain lietelantaa.

2.6 Energiatehokkuus

Energiatehokkuuden parantaminen lähtee suurien energiaa kuluttavien toimintojen tunnistamisesta, ja kokonaisuuden hahmottamisesta. Usein ajatellaan, että vain ra-

kennusvaiheessa energiatehokkuuteen päästään vaikuttamaan, mutta myös pienemmillä muutoksilla ja investoinneilla on merkitystä kokonaisuudessa (Kari 2009, s. 54).

Arvioin esimerkkitalan tuotantorakennuksen energiatehokkuuden hyväksi, sillä ilmanvaihto on luonnollinen, rakenteissa on käytetty valoa läpäisevää kennolevyä, valaistus on ajastettu ja aine jaetaan kevyellä etukuormaajalla osastoille. Maidonlämmöllä lämmitetään suurimmaksi osaksi navetan käyttövesi. Sähkön kulutus esimerkkitalalla on noin 740 kWh/lehmäpaikka.



Kuva 4. Konehallin kattopinta-alaa on runsaasti.

3 BIOKAASULAITOKSEN SUUNNITTELU

3.1 Johdanto

Typen kierrossa esiintyy ihmisen toiminnasta johtuen haittaa ympäristölle muun muassa vesistöjen rehevöitymisen ja happamoitumisen muodossa. Fosfori, joka on ruokatuotannon kulmakivi, uhkaa loppua maailmasta. Fosforin hinta nousee, kun se hupenee, joten ruokatuotannolle tärkeät ravinteet pitäisi saada talteen ja uudelleen kiertoon (Kymäläinen & Pakarinen 2015).

Liikenne- ja viestintäministeriön yksi työryhmistä esitti vuonna 2013 tavoitteen vuodelle 2050: jopa 70 % raskaan liikenteen polttoaineista olisi biopolttoainetta. Lisäksi olisi saavutettu riippumattomuus öljystä. Huoltovarmuus ja vaihtotase nousisivat, jos tuontipolttoaineen sijaan käytettäisiin kotimaista (Kymäläinen & Pakarinen 2015).

Maatalouden ohella biohajoavia jätteitä syntyy teollisuudessa, jätevedenpuhdistamoilla ja yhdyskunnissa. Usein jäte on kostea ja täten huonosti esimerkiksi polttoon soveltuvaa. Tähän ratkaisun tarjoaa biokaasuteknologia, jolla on paljon eri kokoluokan mahdollisuuksia maatilakokoluokan ratkaisuista isoihin satatuhatta tonnia vuodessa käsitteleviin biokaasulaitoksiin (Kymäläinen & Pakarinen 2015).

Aiheena biokaasuteknologia on monialainen, laaja ja monipuolinen. Biologinen prosessi, jossa biokaasua muodostuu, on hapeton eli anaerobinen hajoamisprosessi. Mikrobiologian ymmärtämisen lisäksi biokaasuteknologia pitää sisällään prosessi- ja laitetekniikkaa, mittaus- ja automaatio-osaamista sekä siihen liittyvää operointiparametrien hallintaa. Käytännön työssä tarvitaan raaka-aineiden tuntemusta ja soveltuvuustietoisuutta. Lopputuotteena on mädätys- ja biokaasujäännöksiä, joille pitää olla loppusijoituspaikka. Lisäksi alaan liittyy poliittista ohjausta ja lainsäädäntöä (Kymäläinen & Pakarinen 2015).

3.2 Biokaasun mahdollisuuksia

Biokaasun tuotannolla on kolme suurta mahdollisuutta: biohajoavien jätteiden käsittely, biopolttoaineen tuottaminen ja ravinnekierrätys. Huolimatta siitä, että biokaasulla on pitkä historia, sen yleistyminen on ollut hidasta. Öljykriisin aikaan 1970-luvulla toteutettiin muutamia pienempiä maatilakokoluokan biokaasuvoimaloita, joista osa toimi hyvin, osa ei niinkään. Tästä on voinut jäädä huono kaiku biokaasuteknologiaa kohtaan (Kinnunen & Rintala 2015).

Biokaasuprosessin perustana olevat mikro-organismit voivat hyödyntää metaboliensa hyvin erityyppisiä orgaanisia yhdisteitä. Jätevedet, lannat, jätevesilietteet ja biojätteet soveltuvat hyvin mädätysprosessiin. Raaka-aine ja prosessin tavoitteet vaikuttavatkin koko biokaasulaitoskonseptiin. (Kinnunen & Rintala 2015). Tämän opinnäytetyön tilalla on tarkoitus saada lanta prosessin myötä kerton, sähköä biokaasuprosessista ja vielä ravinteita takaisin pellolle. Kyseessä ei ole siis pelkkä energiantuotanto.

Biokaasuprosessissa syntyvässä biokaasussa on 50–70 % metaania, josta loppu on pääasiassa hiilidioksidia. Tuotteena biokaasu on monipuolinen sähkön ja lämmön tuotantoon soveltuva energiamuoto, jota voidaan käyttää joko paikan päällä tai jalostaa liikennekäyttöön biometaaniksi. Biometaani on 95–98 % metaania, josta hiilidioksidi ja epäpuhtaudet on poistettu. Biometaanin tuotannossa on vahvuutena, että se voidaan injektoida kaasuverkkoon, joka taas avaa myös esimerkiksi teollisuudelle mahdollisuuksia biometaanin käyttöön. Lisäksi kaasuverkko toimii varastona (Kinnunen & Rintala 2015).



Kuva 5. Biokaasun mahdollisuuksia (Jepuan Biokaasu).

3.3 Biokaasutuotannon raaka-aineet

Biokaasutuotannon biologisessa prosessissa käytetään raaka-aineena orgaanisia aineita. Substraatit eli raaka-aineet voivat olla hyvin erilaisia biomassoja, kuten maatalouden, teollisuuden tai yhdyskuntien sivutuotteita ja biojätteitä. Tavallisesti raaka-aineessa on helposti hajoavaa ainesta kuten hiilihydraatteja, proteiineja ja rasvoja. Anaerobisissa olosuhteissa lopputuotteena hajoamisprosessissa on biokaasua. Esimerkiksi puu sisältää vaikeasti hajoavaa orgaanista ainetta eikä siten sovi biokaasu prosessiin, kun taas biomassojen valmistusketjun erivaiheissa syntyneet sivutuotteet ja jätteet sopivat hyvin. Lisäksi muun muassa levien käyttö energiakasvien sijaan voisi olla kestävä vaihtoehto biokaasun tuotannossa (Kymäläinen 2015).

Syötekoostumus on tärkeä osa biokaasun tuotannon reaktoriolosuhteita. Syötteen soveltuvuutta voidaan arvioida muun muassa hajoavuuden perusteella, metaanintuottopotentialilla, kuiva-ainepitoisuudella, hiili/typpisuhteella ja ravinne/hivenainekoostumuksen perusteella. Syötteen mahdolliset inhibiitiota aiheuttavat tai toksiset osat tulee tietää. Käytännössä eri syötteitä voidaan käyttää yhtä aikaa seoksina ja saavuttaa optimaaliset syöteominaisuudet, jotka eivät välttämättä olisi mahdollisia yhdellä syötteellä. Tätä kutsutaan yhteiskäsittelyksi (co-digestion). Käytännössä syötteen soveltuvuuden varmistus tapahtuu laboratorioanalyysillä, joissa selvitetään pH, kuiva-aine (VS, volatile solids), COD (kemiallinen hapenkulutus, chemical oxygen demand), kokonaistyppeä (N), hiili (C) ja metaanituottotesti (Kymäläinen 2015).

Lopputuotteen eli mädätysjäännöksen loppukäyttöön liittyvät vaatimukset vaikuttavat myös raaka-aine soveltuvuuteen. Esimerkiksi biokaasuprosessissa hajoamattomien haitta-aineiden konsentroituminen mädätysjäännökseen on loppukäyttöä vaikeuttava tekijä. Syötteiden mahdollista haitta-ainesisältöä voi olla siis tarve selvittää tarkemmin, kuin yleisellä syöteanalyysillä. Lopputuotteen laatu, biokaasun määrä ja koko prosessin toimivuus on kiinni syötevalinnasta (Kymäläinen 2015).

3.4 Kuiva-aine (TS) ja sen orgaaninen aines (VS)

Materiaalit, tässä tapauksessa raaka-aineet, koostuvat kuiva-aineesta ja vedestä. Kuiva-aineen ja veden yhdistelmästä käytetään termiä märkäpaino (wet weight) ja kuiva-aine koostuu orgaanisesta aineesta (VS) ja epäorgaanisesta aineesta eli tuhka (Kymäläinen 2015).

Biokaasuntuotto prosessit ovat tyypillisesti kuiva- tai märkäprosesseja, joiden eroavaisuus on siinä, kuinka suure syötteen kuiva-ainepitoisuus on. Märkäprosessissa se voi olla maksimissaan 15 %, ja kuivaprosessissa 45 %. Biokaasun tuotto prosessi mikrobitoiminta tarvitsee siis vettä toimiakseen, vaikka kyseessä olisi kuivaprosessi (Kymäläinen 2015).

Biokaasua muodostuu kuiva-aineen ja nimenomaan sen orgaanisen osan (VS) hajotessa. Epäorgaaninen aine jää mädätysjäännökseen yhdessä veden ja hajoamatta jääneiden orgaanisten osien kanssa. Biokaasutuotannon järkevyyteen vaikuttaa syötteen orgaaninen/kuiva-ainesuhde. Mitä suurempi suhde on eli mitä hajoavampaa orgaaninen aine on, sitä soveltuvampi syöte on biokaasun tuotantoon (Kymäläinen 2015).

3.5 Metaanin tuotto

Metaanin tuotto voidaan määrittää teoreettisesti kaavalla laskien tai kokeellisesti laboratoriossa. Laskentakaavalla voidaan päätyä ylioptimistisiin tuotto-odotuksiin, joten kokeellinen testi on parempi ratkaisu. Laskentakaava teoreettiseen määrittely-

seen on ns. Buswellin yhtälö, jonka mukaan orgaanisen aineen metaanintuotto voidaan laskea. Yhtälön käyttö edellyttää tietoa syötteen sisältämästä metaanin tuottoon osallistuvan orgaanisen aineen koostumuksesta ja suhteellisesta osuudesta (Kymäläinen 2015).

Kokeellinen testi BMP, (Biochemical methane potential-testi) on standardoitu menetelmä, jossa laboratorio-olosuhteisiin on rakennettu testisysteemi. Testituloksista johdetaan suhteutettuja metaanintuottomääriä (Kymäläinen 2015).

Metaania tuottavat eliöt ovat arkkeliöiden ryhmästä, ja edustavat maapallon vanhimpia elämän muotoja. Ne ovat peräisin ajalta, jolloin muun muassa ilmakehä oli täysin erilainen, kuin tänä päivänä. Arkkeliöille onkin tyypillistä, että ne ovat sopeutuneet elämään ääriolosuhteissa kuten korkeissa lämpötiloissa ja suolapitoisuuksissa. Metaania tuottavat bakteerien tarpeet biokaasureaktorissa ovat keskeisiä ja reaktorin olosuhteet pyritäänkin soveltamaan niiden mukaan (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

Arkkeliöt eivät siedä happea lainkaan, vaan eliöille happi on myrkyä. Vaikka reaktoriolosuhteet pyritään pitämään hapettomina, syötteiden mukana sinne kulkeutuu pieniä määriä happea. Pienet määrät eivät haittaa, koska fakultatiiviset anaerobiset bakteerit ja rikin hapetukseen osallistuvat bakteerit pystyvät kuluttamaan hapen prosessin ensimmäisessä vaiheessa (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

3.6 Biokaasutuotannon biologinen perusta

Biologisessa hajoamisprosessissa, jossa eloperäinen aines hajoaa hapettomuudessa, lopputuloksena on biokaasua. Kyseistä prosessia tapahtuu luonnossa esimerkiksi soiden pohjasedimenteissä. Hapettomuus on mädätyksen perusta, joten jos happea on läsnä, puhutaan kompostoitumisesta. Kaasua voidaan käyttää polttoaineena lämmön tuotantoon tai polttaa lämmön ja sähkön tuottamiseksi kaasumoottorissa. Liikennekäyttöön jalostaminen on myös yksi tuotetun biokaasun käyttömahdollisuus (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla). Käytännön prosessihallinta ja biokaasusovellusten kehitys edellyttää anaerobisen hajoamisprosessin ym-

märtämistä. Mikrobiologia ja toimintaolosuhdevaatimukset ovat avaintekijät prosessin ymmärtämisessä. Prosessimittauksen ja analysoinnin avulla voidaan seurata prosessin tilaa ja optimoida sitä, sillä optimointi on tärkeää hajoamisprosessin vauhdelle ja biokaasun tuotolle (Kymäläinen 2015).

Orgaanisen aineen hajotessa anaerobisissa olosuhteissa, syntyy biokaasua. Tähän osallistuvat useat mikro-organismit, jotka työskentelevät yhdessä ja ovat toisistaan riippuvaisia. Ensimmäisen vaiheen lopputuotteet ovat toisen vaiheen syötteitä, ja yhteistyön häiriintyessä myös biokaasun tuotto häiriintyy. Hajoamisprosessin ollessa tasapainossa edellisen hajoamisvaiheen lopputuotteita ei kerry reaktoriin liikaa aiheuttaen inhibointia (Kymäläinen 2015).



Kuva 6. Biokaasuprosessi (Biokaasun tuotanto maatilalla. Motiva.)

Biokaasun muodostumista edeltää neljä eri vaihetta, jotka ovat liukoistuminen (hydroksyyli), happokäyminen (fermentaatio, asidogeneesi), etikkahappokäyminen (anaerobinen hapettuminen, asetogeneesi) ja metaanikäyminen (metaanin muodostuminen, metanogeneesi). Vaiheet seuraavat toisiaan ja tapahtuvat yhtäaikaaisesti pitäen prosessin tasapainossa (Kymäläinen 2015).

Liukoistumisvaiheessa syötteen kiinteät hiilihydraatit, valkuaiset ja rasvat pilkkoutuvat ja sulavat sokereiksi sekä rasva-, - ja aminohapoiksi. Pilkkoutuminen tapahtuu pieneliöiden erittämien entsyymien avulla (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla). Hiilihydraatit voivat olla yksinkertaisia sokereita, joita ei tarvitse pilkkoa, tai usean tuhannen sokerimolekyylin sisältäviä polysakkarideja kuten selluloosaa tai

tärkkelystä. Näitä polysakkarideja on muun muassa viljoissa ja hydroksyylivaiheessa ne tuottavat koostumuksensa mukaan sokereita. Esimerkiksi mainitut selluloosa ja tärkkelys hajoavat glukoosiksi (Kymäläinen 2015).

Seuraava vaihe eli happokäyminen muodostaa sulaneesta syötteestä yksinkertaisia rasvahappoja, jotka hajoavat etikkahapoksi ja hiilidioksidiksi. Reaktioiden tuotteina syntyy siis vettä ja hiilidioksidia sekä etikkahappoa. On tärkeää, että käymisprosessin seurauksena syntyvät vety ja rasvahapot pysyvät pieninä määrinä, koska ne voivat haitata pieneliötoimintaa. Biokaasuprosessin vaiheet tapahtuvat yhtä aikaa, eikä vaiheita voi eritellä toisistaan (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla). Fermentaation aikana työtä tekevät osin samat osin eri bakteerit kuin hydroksyylivaiheessa, ja lopputuotteet ovat kiinni olosuhteista ja fermentoivasta bakteerista (Kymäläinen 2015).

Edellisen vaiheen lopputuotteista, kuten haihtuvista rasvahapoista syntyy asetogeenisissä metaanin tuotannon raaka-aineita kuten asetaatteja, vetyä ja hiilidioksidia. Vaikka vaihetta kutsutaan hapettumiseksi, siinä ei ole mukana molekylaarista hapetta vaan kyse on anaerobisesta hapettumisesta, johon osallistuu hapettuneita yhdisteitä, kuten nitraattia, sulfaattia ja karbonaattia (Kymäläinen 2015).

Metanogeenisissä muodostuu asetaateista, vedystä ja hiilidioksidista metaania ja hiilidioksidia. Tätä kutsutaankin metaanin muodostusvaiheeksi ja se on viimeinen vaihe biokaasun tuotannossa. Metaanin muodostumisen on arvioitu tapahtuvan noin 70 % asetaatin kautta, eli asetotrofisten metanogeenien toimesta. Osa metaanin muodostuksesta tapahtuu vedyn eli hydrogenotrofisiksi (Kymäläinen 2015).

Kemialliset ja biologiset prosessit nopeutuvat yleisesti korkeassa lämpötilassa, näin on myös mädätyksen kohdalla. Tulee kuitenkin ottaa huomioon, että eliöiden lämmönsiedolla on rajansa, ja näissä rajoissa tulee pysyä, jos prosessin toivotaan onnistuvan. Biokaasun tuotannon aikana syntyy hyvin vähän lämpöä, noin 3–5 % eloperäisen aineen energiasisällöstä. Suomen ilmastossa reaktorien tulee siis olla hyvin eristettyjä ja lämmitettyjä että toivottua hajoamista ja kaasuntuotantoa tapahtuisi. Tasainen lämpötila on tavoite, koska bakteerit eivät pysty sopeutumaan nopeisiin lämpötilanmuutoksiin. Hiilihydraattipitoisuuksiltaan korkeat syötteet voivat saada aikaan tilanteen, jossa reaktori lämmittää itse itsensä. Tällöin myös ulkolämpötila on

korkea ja reaktori hyvin eristetty. Käytännössä lämpöenergian käyttö on kuitenkin biokaasutuotannon edellytys (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

Alle 25 asteen lämpötiloissa tapahtuvaa metaanin tuottoa sanotaan psykrofiilliseksi. Tällöin kaasun tuotto on hidasta ja sitä muodostuu hyvin vähän. Tällaisesta tapahtumasta esimerkki on soilla tapahtuva metaanin tuotto. 32–42 asteen lämpötiloissa tapahtuvia metaanin tuottoprosesseja kutsutaan mesofiillisiksi. Tämä on yleisin lämpötilahaarukka biokaasulaitoksissa. Eläinten ruoansulatuskanavan bakteerien toimintalämpötila on tämä sama. Tässä lämpötilassa metaanin muodostus on hyvää ja prosessi on helppo pitää vakaana. Termofiilinen mädäntyminen tapahtuu 50–60 asteen lämpötilassa. Hajoaminen on 20–50 % nopeampaa verrattuna mesofiiliseen hajoamiseen. Korkeassa lämpötilassa toimiva laitos on kuitenkin herkkä häiriöille ja energian kulutus on suurempaa johtuen lämpöhävikistä ja syötteen lämmittämiseen kuluva energiasta (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

Eri prosessin vaiheissa biokaasua tuottaessa toimivat siis eri bakteerit. Bakteereilla on myös erilaiset pH-alueet, joilla ne pystyvät toimimaan. Hydrolysoivat ja happoa tuottavat bakteerit toimivat pH-alueella 4,5–6,3 joskin niiden toiminta vain alenee neutraalilla alueella, ei lakkaa. Etikkahapon ja metaanin muodostukseen osallistuvat bakteerit taas toimivat parhaiten neutraaleissa pH-oloissa. Mädätysprosessin aikana säiliön pH on noin 7–8. Jos pH laskee, syötemäärä on liian suuri eivätkä metaania muodostavat bakteerit kykene käyttämään kaikkea happea. pH:n lasku edelleen haittaa bakteerien aineenvaihduntaa. Mädätysprosessin muuttuessa happamaksi täytyy syötteen lisäämisessä pitää taukoa, kunnes metaania muodostavat bakteerit kerkeävät tehdä työnsä. Näin prosessi saadaan tasapainoon ja toimintaan. Runsastyypisellä valkuaisainepitoisella syötteellä voi olla herkästi pH-arvoa kohottava vaikutus (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

Mikro-organismit ovat biokaasuprosessin työläisiä, jotka tarvitsevat ravinteita energianlähteiksi ja solujen rakennusaineeksi. Pääravinteita ovat hiili (C), typpi (N), fosfori (P) ja rikki (S), lisäksi tarvitaan hivenaineita ja vitamiineja entsyymitoiminnan ylläpitämiseksi. Yhteiskäsittely on hyvä tapa saada seokseen optimaaliset ravinteet, mikäli niitä ei ole syötteessä jo valmiina. Näin vältetään ravinnelisäyksiltä (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

Hiilen ja typen suhde syötemateriaalissa tulee olla sopiva, sillä huonot suhteet estävät syötteen koko tuotantopotentiaalia toteutumasta. (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla). Hiili/typpi (C/N-suhde) suhteena sopivaksi biokaasuprosessiin on esitetty 10–30, ja optimaaliseksi 15–25. Matala suhdearvo eli korkea typpi suhteessa hiileen voi aiheuttaa inhiboivaa ammoniakkipitoisuutta, sillä ammoniakki on typen hajoamistuote. Korkea suhde ei sekään ole hyvä, typen puute on huonontamassa mikrobitoimintaa. Pelkästään C/N- suhteen perusteella ei voida kuitenkaan päätellä biokaasuprosessin toimintaa, sillä hiili ja typpi voivat olla sitoutuneina eri tavoin ja näin myös eri tavoin mikrobien käytettävissä. Jos syötteessä typpi on sitoutuneena hankalasti hajoavaan orgaaniseen ainekseen, ei se välttämättä aiheuta inhiboivia ammoniakkipitoisuuksia. Vastaavasti hiili voi olla hitaasti ja vaikeasti hajoavassa muodossa. Hyvin toimivista biokaasuprosesseista on saatu erilaisia suhdelukuja väliltä 5–50, tähän vaikuttaa muun muassa prosessin syöte (Kymäläinen 2015).

Myös mikroravinteita, eli hivenaineita tarvitaan rakennusaineiksi solutasolla. Suuret määrät voivat kuitenkin aiheuttaa inhiboivaa vaikutusta. Metanogeenille eli prosessin loppuvaiheen metaanintuottajille seuraavat hivenaineet ovat välttämättömiä: Ni, Co, Mo, Fe, Se ja Mn. Hydrosyylivaiheen mikrobeille välttämättömiä ovat Zn, Cu ja Mn. Syötteen sisältämä alkuainekoostumus voidaan analysoida laboratorikokein. Hyvät tulokset eivät kuitenkaan kerro biosaatavuudesta eli mikrobien kyvystä hyödyntää näitä alkuaineita. Käytännössä joudutaan siis lisäämään hivenaineita muodossa, jossa tiedetään niiden tulevan hyödynnetyksi. Tällä varmistetaan prosessin optimaalinen toiminta (Kymäläinen 2015).

Biokaasun tuotantoprosessia voivat haitata syötteiden mukana tulevat aineet kuten antibiootit, desinfiointiaineet, kasvimyrkyt, suolat ja raskasmetallit. Osa näistä jo pieninä pitoisuuksina voi tehdä prosessiin isoja haittoja. Esimerkiksi maitotilalla, jossa syötteenä on lanta, voi mittavan antibioottikuurin aikana tulla alennuksia biokaasun tuotannossa. Syötteessä olevat antibiootit kyllä hajoavat viikkojen aikana, mikäli sitä ei syötetä saman tien reaktoriin (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

3.7 Maatalouden raaka-aineet

Maataloudesta syntyy monia biokaasuprosesseihin soveltuvia sivutuotteita kuten lantaa, hävikkirehua ja kasvijätteitä. Lisäksi maataloudessa on mahdollista tuottaa biokaasuprosesseihin energiakasveja. Lanta ja kasvijätteet ovat kestävimpiä biokaasutuotannon raaka-aineita, sillä niiden käytöllä voidaan korvata fossiilista energiaa ja mineraalilannoitteita. Kestävyys ei ole itsestäänselvyys, muun muassa yksivuotiset energiakasvit eivät ole välttämättä kovin ekologisia: esimerkiksi maissi vuosittain uudistettaessa jättää maan paljaaksi talven ajaksi ja aiheuttaa siten ravinne- ja kaasupäästöjä (Luostarinen 2015).

Peltobiomassoissa on suuri energiantuotantopotentiaali, joka on pitkälti riippuvainen pinta-alasta, jolla sitä voidaan hyödyntää. Hehtaarilla peltomaata on mahdollista tuottaa jopa 20–40 MWh metaania (Pakarinen 2015.) Peltobiomassoja hyödynnetessä on kuitenkin hyvin tärkeää huomioida koko tuotantoprosessin elinkaari ympäristövaikutuksineen ja energiataseet eli tuotannon kestävyys. (Kinnunen & Rintala 2015)

Lanta on tyypillinen kasvituotannon lannoite maataloudessa. Olennaista lannassa on sen ravinnepitoisuus. Lannan koostumukseen ja määrään vaikuttaa eläinlajin lisäksi lannanpoistojärjestelmä eläinsuojassa. Lietelannan ja kuivalannan ero on virtsan keräämisessä ja kuivikkeen käytössä. Lietelantaan sekoittuu sonta ja virtsa sekä navetan pesuvedet, kuiviketta ei juurikaan. Kuivalanta on erikseen kerättyä kuivaa sontaa, jossa on hieman kuiviketta. Virtsa kerätään erilleen. Kuivikepohjalanta on taas kuivikepatjan pohja, jota käytetään eläinsuojissa vaihtoehtoisena kuivitusmenetelmänä. Tässä menetelmässä virtsa imeytyy täysin kuivikkeisiin, eikä patjaa vaihdeta kuin noin vuoden välein. Kuiviketta lisätään tarpeen mukaan (Luostarinen 2015).

Muodostuvaa lantamäärää arvioidaan eläinmäärän ja lajin perusteella. Eläinkohtaisten vuositaso lantamäärien tyypillisistä määristä voidaan päätellä tuotettu lantamäärä tilakokonaisuudessa. Nitraattiasetuksen osana vuoden 2014 laskelmien perusteella määräytyy lantaloiden kokoluokat eri eläinmäärille. Esimerkiksi tuotosta-

soltaan 8500 kg lypsylehmä tuottaa vuodessa 25,5 m³ lietelantaa tai kuivikepohjapihatossa 28,6m³ kuivikepohjalantaa. Kuivalantaa muodostuu 15,8m³ ja virtsaa 8,7m³ (Luostarinen 2015).

3.8 Laitoksen luvitus ja syötteiden käsittelyvaatimukset

Elintarviketurvallisuusvirasto Evira asettaa vaatimukset käsittelylaitoksille ja -prosesseille myös valvoen ja ylläpitäen rekisteriä hyväksytyistä laitoksista. Maatilakohmainen biokaasulaitos ei tarvitse laitoshyväksyntää, mikäli lopputuote käytetään tilalla eikä syötteinä käytetä erillistä käsittelyä vaativia materiaaleja. Jos laitoksessa käsitellään usean tilan materiaaleja ja lopputuote saatetaan markkinoille, luvat tarvitaan (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

Lopputuotteelle on omat vaatimuksensa, joista tavallisin on riittävän alhainen E. coli-pitoisuus (L 539/2006). Hygieniavaatimukset täyttyvät usein termofiilisella mädätyksellä eli 55 asteen lämpötilassa tapahtuvalla mädätyksellä. Eläinperäiset sivutuotteet tulee hygienisoida vähintään 70 asteessa tunnin ajan, kun palakoko on alle 12 mm (L 1069/2009). Itsestään kuolleiden tai teurastettujen eläinten ruhot tulee steriloida 133 asteen lämpötilassa 3 barin paineessa 20 minuutin ajan palakoon ollessa alle 50 mm (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

Laitoshyväksynnän lisäksi biokaasulaitos tarvitsee ympäristöluvut kokoluokasta riippuen joko kunnan ympäristöviranomaiselta tai aluehallintovirastosta. Rakennusviranomaisen myöntää rakennusluvat, ja Turvatekniikan keskukselle täytyy ilmoittaa kemikaali-ilmoitus. Suuremman kokoluokan laitoksissa tulee hakea lupaa kemikaalin eli biokaasun varastointiin ja kaikkia biokaasulaitoksia koskee asetus maakaasun käsittelyn turvallisuudesta (L 551/2009). (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

3.9 Biokaasun tuotto ja kaasun laatu

Biokaasun tuotantoon vaikuttaa käytettävän syötteen koostumus ja biokaasupotentiaali lasketaan usein kuiva-ainepitoisuuden mukaan. Esimerkiksi lietelannan kuivaainepitoisuus on välillä 5–8 %, ja apilasäilörehun noin 35 %. Märkämädätyksessä

kuiva-aineen määrää rajoitetaan lähinnä sen takia, että kovin sakeana sitä on hankala siirtää ja käsitellä. Käytännössä pumpppaamisen mahdollistava notkeus syötteessä on ehdoton (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

Korkean metaanipitoisuuden ja täten korkeamman lämpöarvon kaasulle tuottavat paljon rasvaa sisältävät syötteet. Esimerkiksi lietelannan mädätys tuottaa enemmän metaania kuin peltokasvien mädätys. Rikkivety on biokaasun ongelmallinen ainesosa, vaikka sitä esiintyy yleisesti vähän prosessissa. Ennen kuin biokaasua voidaan polttaa moottorissa, on rikkivedyn pitoisuutta alennettava. Tämä tapahtuu happea lisäämällä, mutta aina se ei käy laatuun. Reaktoriin voidaan lisätä erilaisia rautasuoloja, jotka sitovat rikkiä (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

Biokaasulaitos investointina vaatii usein kompromisseja syötteen mädätyksen laadun ja investointi kustannusten suhteen, sillä täydellinen mädättäminen vaatii pitkää viipymäaika reaktorissa ja näin ollen reaktoritilavuuden on oltava suuri. Tämä kasvattaa investointikustannuksia ja käyttökuluja. Viipymäaika lasketaan jakamalla mädätyssäiliön tilavuus poistetun aineksen tilavuudella. Kun mädätetään pelkkää lantaa laitoksessa, jossa on yksi reaktori, viipymäaika on noin kuukausi. Energiakasvien viipymäaika voi olla 80–120 päivää, ja yleisesti jälkimädätyssäiliöllä varustettujen laitosten viipymäajat ovat yli 100 päivää. Mitä enemmän syötteitä lisätään reaktoriin vuorokaudessa, sitä pienemmät viipymäajat ovat. Liika materiaalin syöttö laitoksen kokoon nähden aiheuttaa metaania muodostavien pieneliöiden liiallista poishuuhtoutumista verraten niiden lisääntymiseen (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

Kuormituskäsitteellä ilmaistaan, paljonko eloperäistä materiaalia voidaan syöttää mädätyssäiliöön aikayksikköä kohti. Kuormitus on siis eloperäisen materiaalin määrä vuorokaudessa jaettuna reaktorin koolla. Tyypillisen täyssekoitus laitoksen kuormitus on vuorokautta kohti noin 3 kg eloperäistä ainesta per reaktorin kuutiometri (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

Biokaasun tuotanto reaktorissa vaatii sekoittamista. Jos syötteitä ei sekoiteta, ne kerrostuvat niin, että eliömassa painuu pohjaan ja syöte nousee pintaan. Liika sekoittaminenkin haittaa prosessia, ja voimakkaaseen sekoittamiseen kuluu myös turhaa energiaa. Hitaasti liikkuva sekoitin, jonka nopeutta voidaan tarvittaessa säätää,

on paras ratkaisu. Sekoittaminen estää myös esimerkiksi hiekkasaostumien synnyn. Hiekkasaostumat vievät reaktoritilavuutta, ja ne täytyy erikseen poistaa. Mädätys säiliön pohja voidaan rakentaa kartiomaiseksi tai säiliöön voidaan asentaa mekaanisia raappoja tai kuljetusruuveja. Nämä kuitenkin maksavat huomattavasti ja ovatkin siksi käytössä vain suurimmissa biokaasulaitoksissa (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

3.10 Mädätysjäännös

Mädätysjäännös on arvokas lannoite ja maanparannusaine. Reaktorista tultuaan siinä on edelleen tallella kaikki ravinteet ja sen ravintosisältö vaihtelee sen mukaan, mitä materiaalia on mädätetty, millaisella tekniikalla ja kuinka kauan syöte on viipynyt reaktorissa. Biokaasuprosessin läpikäyneen lannan levittämisessä pelloille on monia etuja: lannan hajotessa osa valkuaiseen sitoutuneesta typestä hajoaa tai mineralisoituu ammoniumtypeksi, jota kasvien on helpompi käyttää ja mädätetyn lannan typen huuhtoutuminen viljelysmaasta vähenee. Hajuhaitat vähenevät, kun orgaaninen aines on hajonnut biokaasuprosessissa. Jos mädätysjäännös erotellaan, voidaan nestemäistä jäännöstä käyttää typpilannoitteena ja kiinteää fosforilannoitteena, sillä fosfori on pääosin kiinteään ainekseen sitoutuneena (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).



Kuva 7. Määtysjäännös (Biokaasun tuotanto maatilalla. Motiva.)

3.11 Biokaasulaitoksen tekniikka

Biokaasun tuotantoon ei ole olemassa vain yhtä tapaa. Metaania muodostuu aina, jos orgaanista ainetta on lähes tai kokonaan hapettomassa tilassa. Spontaani metaanin muodostuminen on mahdollista esimerkiksi tilanteessa, jossa roskapussi sidotaan tiukasti kiinni. Jonkin ajan kuluttua pussiin alkaa muodostua metaania (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

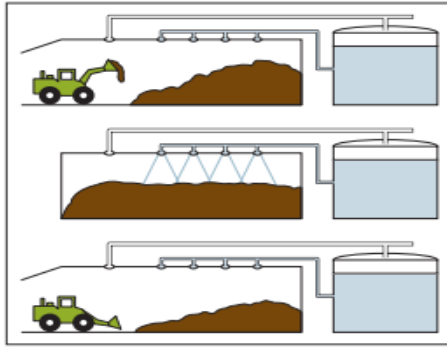
Hyvin yksinkertainen on myös maailmalla yleinen pieni biokaasulaitos, jossa kaksi kaasutiivistä astiaa on asetettu sisäkkäin. Alempi on suurempi ja avoin ylöspäin ja sisempi on pienempi ja avoin alaspäin. Astioiden pohjien välinen tila on täytetty esimerkiksi vesi-lantaseoksella tai biojätteellä. Syötteen hajotessa muodostaa biokaasua, joka kerääntyy ylempään astiaan, kaasukelloon. Järjestelmä tiivistyy vesilukoperaatteella, ja kaasukellosta biokaasu johdetaan letkulla käyttökohteeseen. Kaasun määrä kellossa voidaan todeta sillä, kuinka korkealla kaasukello kelluu. Syötteen tulee hienontaa tarpeeksi pieniksi ja ilmaston on oltava lämmin, jotta prosessi toimii (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

Märkämädätyslaitokset ovat kehittyneempiä tekniikaltaan verrattuna yksinkertaiseen biokaasun tuotantoon. Jakeita pumpataan jatkuvatoimisiin täyssekoitteisiin biokaasureaktoreihin, jotka ovat usein muodoltaan sylinterimäisiä. Reaktorien materiaaleina käytetään terästä tai teräsbetonia, jonka päälle tulee kaksinkertainen kalvo. Suomen sääolosuhteissa reaktorin lisäeristys on tärkeää. Kehittyneissä lai-

toksissa onkin hyvä eristys, sekoitin ja lämminvesiputket lämmitystä varten. Materiaalia lisätään ja poistetaan kaiken aikaa, ja poistettu tuote siirretään jälkikaasualtaaseen odottamaan pellolle levitystä. Noin 10–25 % biokaasun kokonaistuotannosta tapahtuuakin mädätysjätealtaassa. Keski-Euroopassa edellytetään, että mädätysjäännökselle on omat katetut säiliöt, jotta metaanipäästöiltä vältyttäisiin. Suomessa ei vielä tällaista sääntöä ole, mutta ilman peitettyä jälkimädätys säiliötä menetetään merkittävä määrä biokaasun tuotannosta (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

Tyylejä materiaalien syötössä märkämädätyksessä on kahdenlaisia. Lanta ja kiinteät biomassat voidaan sekoittaa erillisessä sekoitussäiliössä ja pumpata reaktoriin. Kiinteät biomassat voidaan myös siirtää erilaisilla syöttöruuveilla suoraa reaktoriin. Kiinteälle materiaalille tulee olla hyvät käsittelymahdollisuudet, jotta biokaasun tuotanto voi käytännön tasolla toimia. Hyvin tyyppillisesti esimerkiksi maitotiloilla käytetään apevaunua kiinteiden jakeiden hienontamiseen, josta sitten edelleen jakeet syötetään ruuvilla reaktorin nestepinnan alle (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

Kuivamädätys nimenä on harhaanjohtava, sillä kuten märkämädätyksessä, myös kuivamädätyksessä vesi on hyvin tärkeä elementti. Kuivamädätyksessä jakeiden kuiva-ainepitoisuus on 30 % luokkaa. Kuivamädätystekniikka on lähtöisin kaatopaikalta, jossa jätteiden läpi valunut vesi koottiin ja ohjattiin takaisin jätteiden päälle. Biokaasun tuotanto kaatopaikalla ja kuivamädätyksessä ei eroa juurikaan toisistaan, joskin syntyvän kaasun metaanipitoisuus on alhaisempi ja hajoamisprosessi on pidempi. Kuivamädätyslaitoksiakin on erilaisia, mutta yleisin on autotallimainen mädätyskammio, jossa kierrätettävää nestettä pumpataan mädätettävän materiaalin päälle kammion katossa olevien suihkusuukappaleiden kautta. Neste ja sen liotamat aineet valuvat uudestaan ja uudestaan syötteen läpi, kun ne kerätään ja pumpataan uudelleen kiertoon (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).



Kuva 8. Kuivamädätyksen idea (Biokaasun tuotanto maatilalla. Motiva.)

Valumaveden tulee olla riittävän karkeaa, jotta se leviää kunnolla syötteeseen. Samalla kuitenkin hienojakoisuus loisi hyvät olosuhteet bakteereille, joten tästä syntyy ristiriita. Kuivamädätys vaatii pidemmän viipymäajan, kuin märkämädätys, jotta aines kerkeää kunnolla hajota. Kaksi metriä on mädätyskerrosten maksimi korkeus, sillä muuten pohja alkaa tiivistyä liikaa. Tästä huolimatta on yleistä, että materiaaliin muodostuu huonosti hajonneita kohtia, jotka usein tyhjennysvaiheessa huomataan ja toimitetaan uudelleen kiertoon (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

Kuivamädätyslaitoksia on pieni vähemmistö kaikista biokaasulaitoksista. Tavallinen kuivamädätyksen ongelma on jakeiden huono sekoittuvuus ja siihen ratkaisuna käytetään karkeita sekoitusjärjestelmiä. Nyt markkinoilla on kuiva- ja märkämädätyksen välimuotoja, joissa korkean kuiva-ainepitoisuuden omaavaa jätettä pumpataan reaktoriin ruuvipumpulla (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

3.12 Biokaasun käyttökohteet

Biokaasu on ekologinen ja arvokas polttoaine. Sitä voidaan hyödyntää lukuisiin käyttökohteisiin, kuten sähkön ja lämmön tuotantoon, yhdistettyyn sähkön ja lämmön tuotantoon, jalostettuna liikennepolttoaineeksi tai maakaasuksi maakaasuverkkoon (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

Lämmöntuotannossa järkevin hyödynnystapa on polttaa kaasua lämpimän veden tuottamiseen tarkoitettussa kaasukattilassa lämmitystarpeisiin tai hyödyntää kaasu keittiössä. Useimmiten biokaasulaitoksen energiantuotto ylittää moninkertaisesti

maatilan oman lämmitystarpeen, joten siksi tiliolla on siirrytty yhdistettyyn lämmön ja sähkön tuotantoon (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

Yhdistetty sähkön ja lämmöntuotanto CHP on mahdollista toteuttaa monin tavoin. Yleisin tuotantomuoto perustuu biokaasun polttamiseen ottomoottorissa, joka puolestaan pyörittää sähköverkkoon tahdistettua generaattoria. Generaattori on tahdistettu vakiokierrosluvulla. Mikroturbiinit ja stirling-moottorit ovat myös jonkin verran käytettyjä CHP tekniikassa. Stirling-moottori on mäntämoottori, jossa palaminen tapahtuu moottorin ulkopuolella. Se vie kuitenkin paljon tilaa ja on kallis, joten se ei ole yleinen. Mikroturbiinissa on vain yksi liikkuva osa, joten sen huolto on helppoa ja huollon tarvetta ilmenee harvemmin. Sen mekaaninen hyötysuhde on kuitenkin mäntämoottoriin verraten heikompi (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

Mäntämoottorit ovat hyötysuhteiltaan parhaita yhdistettyyn sähkön ja lämmön tuotantoon, joskin niissäkin ilmenee haittapuolia. Useat liikkuvat osat kuluvat ja vaativat huoltoa. 5–10 vuoden moottori jatkuva käyttö vaatii perusteellisen kunnostuksen tai koko moottorin vaihdon (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

Polttomoottori, joka toimii biokaasulla voi tuottaa biokaasun energiasisällöstä 30 % sähköenergiaa, loppu on lämpöä. On yleistä, että etenkin kesäisin, kun lämmöntarve on pientä, jää biokaasulaitoksen lämmöntuotantokapasiteetti hyödyntämättä. Tähän olisi hyvä yrittää kehittää jotain ratkaisua, jolla lämpö saataisiin hyödynnettyä (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

Liikennepolttoaineeksi jalostettavasta biokaasusta puhdistetaan rikkivety ja hiukkaset, sen jälkeen hiilidioksidi. Hiilidioksidi ei haittaa kaasun käyttöä liikennepolttoaineena, mutta alentaa kaasun lämpöarvoa (Motiva 2013, Biokaasun tuotto maatilalla).

3.13 Biokaasulaitoksen energialaskelma

Lypsävä lehmä tuottaa keskimäärin 65 kg lietelantaa vuorokaudessa. Lannasta kuiva-ainetta on 10 % ja kuiva-aineesta 80 % on orgaanista ainetta. Esimerkkitalan lypsävät tuottavat (175 * 65 kg) noin 11 400 kg lietelantaa vuorokaudessa, ja vuodessa se tekee 4 161 000 kg olettaen, että naudat ovat sisällä koko vuoden tai lanta

saadaan kerättyä kokonaisuudessaan. Orgaanista ainetta tuotetaan siis $11\,400\text{ kg} * 10\% * 80\% = 912\text{ kg}$ vuorokaudessa ja vuodessa noin $333\,000\text{ kg}$. Tuhannesta kilosta orgaanista ainetta saadaan 360 kuutiota biokaasua, jonka metaanipitoisuus on 55 %. (Demeca Oy [Viitattu 13.9.2020.]) Näin ollen metaanin tuotantokapasiteetti on $333\,000\text{ kg} * 360\text{ m}^3\text{ biokaasua/tonni} * 55\% \text{ metaania/biokaasu} = 66\,000\text{ m}^3$ metaania. Metaanin energia sisältö on $9,9\text{ kWh/m}^3$. (Demeca Oy [Viitattu 13.9.2020.]) Tuotantokapasiteetista voidaan johtaa noin $653\,000\text{ kWh:n}$ vuosituotos. Lisäksi on teknisesti mahdollista käyttää biokaasulaitoksen syötteinä hävikkirehuja tai energiakasveja. Tässä työssä oletetaan, että syötteenä käytetään pelkkää lietelantaa.

Laitos itsessään käyttää osan tuotetusta sähköstä ja lämmöstä, lämmön kulutus tuotetusta kokonaisenergiasta on 21 % ja sähkön kulutus 3,5 %. Laitoksen oma sähkön kulutus on siis 22855 kWh/v ja lämmön kulutus $137\,130\text{ kWh/v}$ (Demeca Oy [Viitattu 13.9.2020.]). Muuhun käyttöön energiaa jää siis $457\,000\text{ kWh/v}$. Kun tarkastellaan tilan kokonaisenergian tarvetta ja biokaasulaitoksen tuottamaa energiamäärää, huomataan että ylituotantoa on paljon.

3.14 Investoinnin suunnittelu ja laskentamenetelmät

Biokaasuvoimala investointina on rahallisesti suuri ja ajallisesti pitkäkestoinen hankinta tukemaan yrityksen kehittymistä. Investointipäätös vaatii tarkkaa harkintaa, laskelmia ja suunnittelua. Väärä investointipäätös voi olla kohtalokas koko yrityksen toiminnalle. Keskeiset ongelmat investoinnin suunnittelussa ovat epävarmuuden huomioon ottaminen, mittausongelmat ja erilaisten suoritusten samankaltaistaminen (Tenhunen 2013).

Lähtöarvoja investoinneissa ovat perushankintakustannus, vuotuinen kassavirta eli nettotuotto, pitoaika, jäännösarvo ja laskentakorkokanta. Perushankintahintaan sisältyvät investointikohteen hankintahinta, käyttöönottoon liittyvät kustannukset sekä käyttöpääoman tarve. Investoinnin seurauksena syntyvät tuotot tai kustannusten ja tuottojen välinen erotus ovat nettotuottoja, jäännösarvo taas on investointikohteen käyttöajan umpeutuessa sen mahdollisesta myynnistä saatavaa tuloa. Jäännösarvo

voi olla myös negatiivinen, mikäli kohteen hävittämisestä koituu kuluja. Laskentakorkokannan avulla saatetaan eri vuosina saadut nettotuotot vertailukelpoiksi. Laskentamenetelmiä kannattavuuden ovat nettonykyarvo, sisäinen korkokanta, annuiteettimenetelmä, takaisinmaksuajan menetelmä ja pääoman tuottoastemenetelmä (ROI, Return on Investment) (Tenhunen 2013).

Nettonykyarvon (NVP) menetelmää käytettäessä nettotuotot ja jäännösarvo diskontataan nykyhetkeen sovitulla korkokannalla, verraten näiden summaa hankintahintaan. Jos nettonykyarvo on positiivinen, on investointi kannattava. NVP:tä pidetään hyvänä laskentamenetelmänä investointien kannattavuutta arvioitaessa, koska se ottaa aikatekijän huomioon (Tenhunen 2013).

Sisäinen korkokanta tarkoittaa korkokantaa, jolla investoinnista kertyvien nettotuotosten nykyarvo on vähintään yhtä suuri kuin perushankintahinta. Tätä laskentamenetelmää käytettäessä määritetään haluttu tuottoprosentti omalle pääomalle, nettotuotot ja jäännösarvo diskontataan nykyhetkeen ja haetaan investoinnille oikea sisäinen korkokanta. Jos tuottotavoite täyttyy, on investointi kannattava, ja useista vaihtoehdoista paras on se, jolla on suurin sisäinen korkokanta (Tenhunen 2013).

Annuiteettimenetelmässä hankintahinta jaetaan pitovuosille yhtä suuriksi pääomakustannuksiksi sisältäen poiston ja korkokustannuksen. Jos nettotuotto on yhtä suuri kuin vuotuinen pääomakustannus, investointi on kannattava. Mahdollinen jäännösarvo diskontataan hankintahetkeen ja vähennetään hankintamenosta (Tenhunen 2013).

Takaisinmaksuajan menetelmässä mietitään, millä ajalla investointi maksaa itsensä takaisin. Kun yhteenlasketut nettotuotot ovat vähintään yhtä suuret, kuin hankintahinta, katsotaan investoinnin maksaneen itsensä takaisin. Menetelmää käytetään laajasti, vaikka ongelmana on sisäisen korkokannan puuttuminen. (Tenhunen 2013).

Pääoman tuottoastemenetelmä (ROI) on sisäisen korkokannan yksinkertaistettu muoto. Tuottoaste lasketaan hankintamenolle tai sitoutuneelle pääomalle (Tenhunen 2013).

Valitsin laskentamenetelmäksi NVP:n eli nettonykyarvomenetelmän sen luotettavuuden ja käyttökelpoisuuden vuoksi. Lisäksi laskin sisäisen korkokannan.

Seuraavassa taulukossa esitän biokaasulaitoksen laskelmien lähtötiedot. Maatila-kohteissa maatyöt tehdään tyypillisesti itse, jolloin hankintahinnassa säästetään noin 25 000 €. Jäännösarvoa ei enää 30 v käyttöiän jälkeen ole, joten laskemassa se on 0 €. Vuotuiset kulut ja noin viiden vuoden välein tehtävät perusparannuskustannukset nostavat investoinnin vuotuiset menot 17 500 €:n suuruisiksi. Lisäksi laskelmassa on huomioitu lannoitehyöty, eli ostolannoitteen vähenevä määrä, sekä tyypilliset muuttuvat kustannukset, kuten vikakorjaukset, huolto, oma työ sekä moottoriöljyt ja suodattimet. Laskelmassa on huomioitu laitoksen oma sähkönkulutus, joka on 3,5 % kokonaistuotosta, sekä laitoksen kuluttama lämpöenergia, mikä on 21 % kokonaistuotosta. Laskelmassa on otettu 40 %:n investointituki huomioon.

Taulukko 1 Biokaasulaitoksen lähtötiedot

hankintahinta alv 0 %	273 000 €
käyttöikä	30 v
vuotuiset kustannukset	17 500 €
jäännösarvo	0 €
tuotot /v	26 497 €
korkovaatimus	4 %

3.15 Biokaasulaitoksen investointilaskemien tulokset

Laskin Excel laskentaohjelmaa apuna käyttäen Demeca Oy:n esittämälle biokaasulaitokselle NVP:n ja sisäisen korkokannan. 4 %:n korkovaatimuksella ja edellä esitetyillä laskenta-arvoilla. Tulos oli negatiivinen, joten investointi ei kannata.

3.16 Kannattavuutta biokaasun myynnillä, yhteistyöllä tai itse tehden?

Laskelmissa huomattiin kannattamattomuus ja valtava ylituotanto tilan omiin tarpeisiin nähden. Onkin mielenkiintoista pohtia, olisiko jonkinlainen jatkojalostus ja biokaasun myynti ratkaisu pulmaan. Keski-Suomessa sijaitsee Metener Oy niminen perheyritys, jolla on oma biokaasun tankkausasema ja satoja vakituisia asiakkaita. (Kestävä Energiatalous 2018, Biokaasun tuotanto Suomessa etenee vaikeuksista huolimatta) Etelä-Pohjanmaalla Alavudella on selvitelty mahdollisuutta rakentaa biokaasulaitos jonkin tilan tai tilojen yhteyteen, jonne useat maatalousyrittäjät toisivat jakeita. (Tikkala 2016) Tämän kaltaiset yhteishankkeet voisivat antaa tarpeellista potkua biokaasun yleistymiselle Suomessa.

Suomessa toimii myös biokaasulaitoksia, joissa omatoiminen rakentaminen tehdasvalmisteisen laitoksen sijaan on ollut osa kannattavuuden saavuttamista. Tällainen biokaasulaitos löytyy Pohjois-Karjalasta, Valtimolta. Lasse Kähkösen tilalla toimii usean ammattiryhmän kanssa yhteistyössä toteutettu laitos, jonka suunnitteluvaihe on ollut pitkä ja toteutus erittäin harkittu. (Energiaraitti 2017, Maatilan biokaasulaitos Pohjois-Karjalassa) Tällainen ratkaisu vaatii suurta mielenkiintoa aiheeseen, rohkeutta ja pitkäjänteisyyttä.

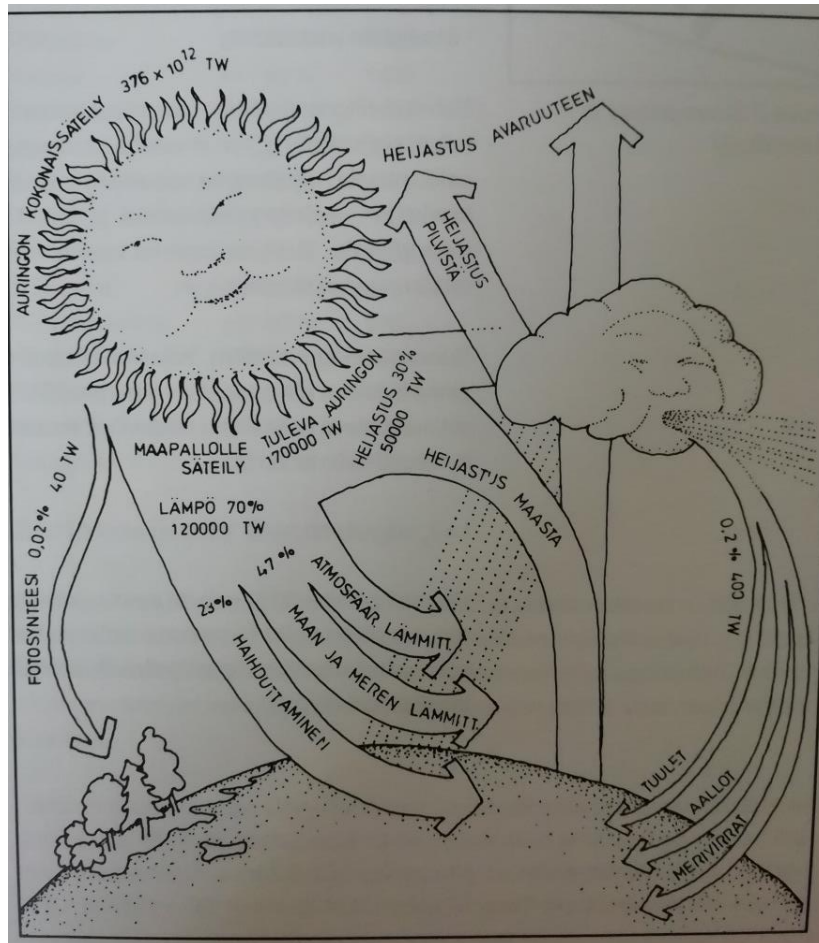
4 AURINKOENERGIAN SUUNNITTELU

4.1 Perusasiaa auringosta

Aurinko koostuu nykytietämyksen mukaan pääasiassa vedystä ja heliumista, pienempinä määrinä auringossa on myös muun muassa natriumia, rautaa, kalsiumia, magnesiumia, bariumia, kuparia, typpeä ja hiiltä. Auringossa tapahtuu fuusiota, jossa kaksi vetyatomia yhdistyy heliumatomiksi, josta purkautuu paljon energiaa. Esimerkiksi heliumkilon muodostuminen vedystä vapauttaa energiaa 180 miljoonaa kWh. Auringossa 654 miljoonaa tonnia vetyä muuttuu joka sekunti 650 miljoonaksi tonniksi heliumia. Näiden erotus, 4 tonnia, muuttuu energiaksi. Yhden vetygramman lämpöarvo vastaa 27 tonnia hiiltä (Erat, Erkkilä & Nyman 2008).

Ilmakehä koostuu molekyyleistä ja vesihöyrystä. Sen tehtävä on suojata meitä haitalliselta UV-säteilyltä, mutta se toimii myös esteenä auringon säteilylle, jolloin emme saa auringon kokonaissäteilyä hyödynnettyä. Säteilyä on suoraa, hajasäteilyä (diffuusinen) ja ilmakehän vastasäteilyä. Pilvisinä päivinä suunnilleen 80% valosta on hajasäteilyä, aurinkoisena päivänä sen osuus on noin 20%. Suomessa noin puolet kokonaissäteilystä on hajasäteilyä. Auringonsäteily mitataan yleensä aina vaakatasolla (Erat ym. 2008).

Maapallon ilmakehän ulkopinnalle tulevalle 1m²:n alalle auringon kohtisuora säteily vastaa 1,35–1,39 kW. Tästä saadaan käsite aurinkovakio. Aurinkovakio tarkoittaa siis energiamäärää, jonka aurinko säteilee sekunnissa 1m² alalle ilmakehän ulkopinnalla. Maan ja auringon välimatkavaihteluiden takia tässä on +/- 3,5 % heittoa, ja ilmakehä vähentää 60 % säteilymäärästä ennen kuin se saadaan hyödynnettyä maan pinnalla (Erat, ym. 2008). Välitön aurinkovakio tarkoittaa sitä energiamäärää, joka ilmakehän vaikutuksen jälkeen kohtaa sekunnissa maanpinnalla tietyn pinta-alan. Keskellä kirkasta päivää se on noin 0,8–1,0 kWh/m². Kun esimerkiksi 0,9kW lämpöteho osuu pintaan tunnin ajan, saatu energiamäärä on 0,9 kWh. (Erat, ym. 2008)



Kuva 9. Aurinkoenergian pääsy maapallolle (Aurinko-opas.)

4.2 Aurinkoenergia Suomessa ja suomen maataloudessa

Positiivinen hintakehitys on vaikuttanut siihen, että aurinkoenergiasta on tullut suosittua ja siitä puhutaan ja kirjoitetaan paljon. Suomessa aurinkopaneelit yleistyivät ensin kesämökeillä, joissa niitä käytettiin ilman verkkoon kytkemistä akkujen varassa. Suomessa on noin 80 000 mökkiä aurinkosähköllä, ilman sähköverkkoon kytkemistä. Täysin sähköttömän mökin mukavuustasoa on saatu näin nostettua, joskin Suomessa on edelleen noin 400 000 täysin sähköttöntä kesämökkiä. (Isomäki 2016)

Yleisesti taloudelliset syyt ovat painavimmat, kun mietitään aurinkoenergiainvestointia, mutta muut syyt ovat myös nousseet esille. Oikein mitoitettuna omalta katolta on mahdollista saada yhtä edullista sähköä, kuin sähköyhtiöltä. Kiinteistön arvo nousee aurinkoenergiainvestoinnin myötä, jolloin laskennallinen takaisinmaksuaika ei

ole ihan kaikki kaikessa (Isomäki 2016). Verrataan ko. investointia esimerkiksi kiinteistön pihan asfaltoimiseen, niin ymmärretään mitä tässä haetaan.

Maataloudessa aurinkoenergian hyödyntäminen on yleistymässä. Mahdollisuudet aurinkoenergian hyödyntämiseen ovat nykyistä toteutumaa paljon suuremmat Suomessa niin sähkön, kuin lämmönkin tuotannossa. Vain keskitalven aikaan, kun aurinko on matalalla tai kokonaan horisontin takana, ei auringon energiaa saada juurikaan talteen. (Erat, ym. 2008)

Aurinkosähköjärjestelmä voidaan asentaa maatalon rakennuksiin, jolloin osan rakennuksen tarvitsemasta sähköstä voidaan korvata aurinkosähköllä. Kattopinta-alasta, joka soveltuu tähän tarkoitukseen, ei useinkaan ole puutetta. Aurinkosähköjärjestelmät kytketään useimmiten sähköverkkoon, jolloin ”liikatuotto” saadaan syötettyä sähköverkkoon. Tähän tarvitaan aina sopimus sähköyhtiön kanssa. (Erat, ym. 2008).

4.3 Auringon säteily Suomessa

Etelä-Suomessa auringonsäteily vuositasona on noin 1000 kWh/m². Tämä tarkoittaa 600–700 kWh lämpöä/neliö vuodessa. (Erat, ym. 2008) Aurinkoenergilaitteeseen eli keräimeen, paneeliin tai kennoon osuvan säteilyn määrään vaikuttaa sen voimakkuuden lisäksi suuntaus. Suuntaukseen liittyy kaksi kulmaa, kallistus- ja atsimuuttikulma. Kallistuskulma kertoo laitetaso ja vaakataso välisen kulman, atsimuuttikulma poikkeaman etelästä. Atsimuuttikulman määrittäminen tapahtuu siten, että suuntaus etelään on 0 astetta, länteen +90 astetta ja itään -90 astetta. Maapallon pyöriessä akselinsa ympäri aurinko näyttää siirtyvän taivaalla ja täten sisään tuleva säteily osuu laitteeseen koko ajan eri kulmasta. Sisään tulevan säteilyn ja aurinkolaitteen pinnan välistä kulmaa kutsutaan tulokulmaksi. Kun säteily osuu aurinkolaitteen pintaan kohtisuorasti, on tulokulma nolla. Tämä tulokulma on paras ja tehokkain. (Erat, ym. 2008)

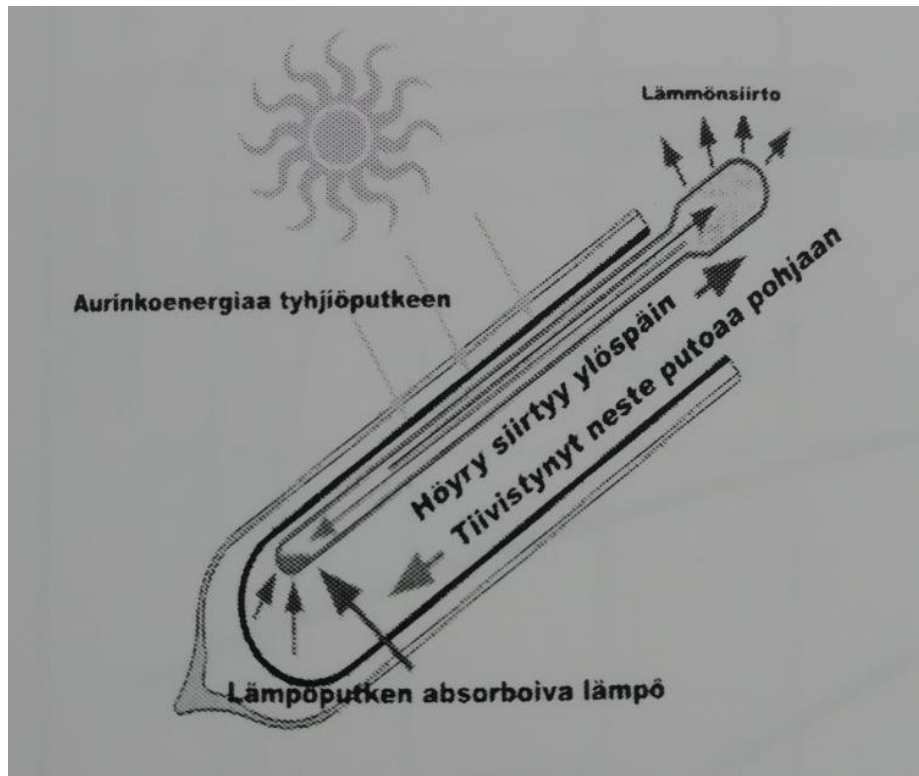
4.4 Aurinkolämpö, aurinkokeräimet

Perinteisen lämmitysjärjestelmän ja aurinkoenergiaa hyödyntävän järjestelmän suurin ero on se, että aurinkoenergiaan pohjaava on säästä, vuoden ajasta ja maantieteellisestä sijainnista riippuvainen. Näin ollen sen tuottama energia ei ole tasaista. Perinteinen järjestelmä hyödyntää aurinkoenergiaa aina jossain muodossa, mutta sen polttoaine otetaan varastosta, kun taas aurinkoenergiaan pohjaava ottaa aurinkoenergiaa suoraan talteen ja siirtää sen lämpövarastoon, josta se voidaan edelleen jakaa käyttökohteisiin (Erat, ym. 2008).

Aurinkokeräin joko kerää tai vastaanottaa auringonsäteilyä ja muuttaa sen lämmöksi. Lämpö voidaan kuljettaa varastoon ilman tai nesteen avulla tai se voidaan ohjata suoraan käyttöön. Kennoja on olemassa sekä neste-, että ilmakiertoisia ja nestekiertoiset jaetaan taso-, ja tyhjiöputkikeräimiin. Tyhjiöputkikeräimet jaetaan edelleen kahteen alatyypin: Tyhjiöputkiin, joissa lämmitysneeste kiertää tyhjiöputkessa absorboivan mustan pinnan alla, u-muotoisessa putkessa ja "heat-pipe" lämpöputkella varustettuihin tyhjiöputkiin. "Heat-pipe" tyyppisessä keräimessä kiertävä neste höyrystyy ja kuljettaa sitomaansa lämpöä lämmönsiirtimeen. Tyhjiöputkien lasit voivat olla yksin-, tai kaksinkertaisia ja tyhjiöputkia voidaan käyttää myös keskittämissä keräimissä, joissa koverilla ja heijastavilla pinnoilla lisätään absorbaattoripintaan tulevaa säteilyä. Nestekeräimet ovat lämmönsiirtimiä, joissa virtaavalla nesteellä on hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet. Lämpö siirtyy säteilystä absorptioelementin kautta nesteeseen, jossa se kuljetetaan varastoon tai suoraan käyttöön. Ilmakeräimet taas ovat lämmönsiirtimiä, joissa ilma toimii lämmönsiirtoaineena. Ilman lämpökapasiteetti ja lämmönsiirtokyky ovat huonommat, kuin nesteen. Suurella lämmönsiirtopinta-alalla absorptioelementeissä saadaan kuitenkin hyvin toimivia laitteita. Säteilyhäviöitä voidaan ilmakeräimissä estää selektiivisillä pinnoilla, konvektiohäviöitä estetään ilman imemisellä. Huomiona kuitenkin, että ilman avulla lämpöä siirrettäessä tarvitaan noin 4000 kertaa suurempi ilmamassa verrattuna veteen. Tämä tarkoittaa myös samassa suhteessa suurempia kanavia, sillä veden ja ilman virtausnopeus on sama (Erat, ym. 2008).

Karkaistulla lasilla päällystetty tasokeräin on aurinkolämpöjärjestelmissä yleinen. Sen absorptiopinta on tasainen levy, joka eroaa tyhjiöputkesta olennaisesti siten,

että se päästää jonkin verran lämpöä hukkaan. Tyhjiöputkikeräin on näin ollen parempi valinta kylminä vuodenaikoina, kesäaikaan eroa ei havaita. Tasokeräimissä säteilyä kerätään tumman keräilypinnan avulla. Suurin osa keräimeen osuvasta säteilystä absorboituu ja kuumenee. Valoenergia muuttuu muotoaan lämpöenergiaksi (Erat, ym. 2008).



Kuva 10. Heat-pipe putken rakenne. (Aurinko-opas.)

4.5 Aurinkokeräimien hyötysuhteista

Ilmakehän vaikutuksen jälkeen auringonsäteilyä, joka kennoon osuu, saadaan hyödynnettyä vain osa. Tekniikan ja olosuhteiden vaikutus on huomattava. Hyvillä laitteilla ja esimerkiksi oikealla suuntauksella päästään jopa 70 %:n hyötysuhteeseen. Koko järjestelmän hyötysuhteen selvittämiseksi on kuitenkin katsottava laajempaa kuvaa, muun muassa lämpöenergian varastointikapasiteettia ja käytännön lämpötilaolosuhteita (Motiva. Aurinkokeräinten hyötysuhteet.) Hyvin tavallista on,

että esimerkiksi varhain aamulla aurinko paistaa, mutta hyötyä ei silti saada. Auringonsäteilyteho ei vielä riitä tai käyttö-, ja ulkolämpötilan ero on liian suuri. Suurilla lämpötilaeroilla on myös suurimmat lämpöhäviöt. Tähän ratkaisuna on mahdollisimman alhaisen lämpötilan salliva lämmön jakotapa ja tasokeräin suurella absorptiopinnalla on teknisesti järkevin ratkaisu kylmän ilman alueilla (Erat ym. 2008).

Käytännössä hyötysuhde siis kertoo kuinka paljon kohtisuoraan keräimeen tulevasta auringonsäteilystä saadaan hyödynnettyä, kun muuttujina ovat säteilyteho ja lämpötilaero keräimen ja ulkoilman välillä. Aurinkokeräimelle voidaan laskea lämpöteho ja hyötysuhde, kun tunnetaan keräimen pinta-ala, keskimääräinen lämpötila, ympäristön lämpötila ja säteilyn määrä. Hyötysuhdetta heikentää kennon ja ulkolämpötilan välinen eroavaisuus sekä heikko auringon säteilyteho. (Motiva 2013, Bio-kaasun tuotto maatilalla).

Itse aurinkoenergiajärjestelmän ominaisuuksista hyödynnettävissä olevaan aurinkoenergian määrään vaikuttavat eniten keräimen katteen ominaisuudet, lämmön eritys ja tiiviys. Lisäksi vaikuttavat kaltevuus ja suuntaus, sekä keräimen käyttölämpötila. Lämmönsiirtoaineen ominaisuuksista lämmönsiirto-, ja absorptiokyky ovat tärkeimmät seikat. Etäisyys keräimestä varaajaan ja lämmönsiirtoputkien lämmöneristys sekä varaajan lämpötila ovat keskeisiä seikkoja. Ulkoisista tekijöistä säätila, tuulisuus, varjot ja vuodenaika vaikuttavat eniten (Erat, ym. 2008).

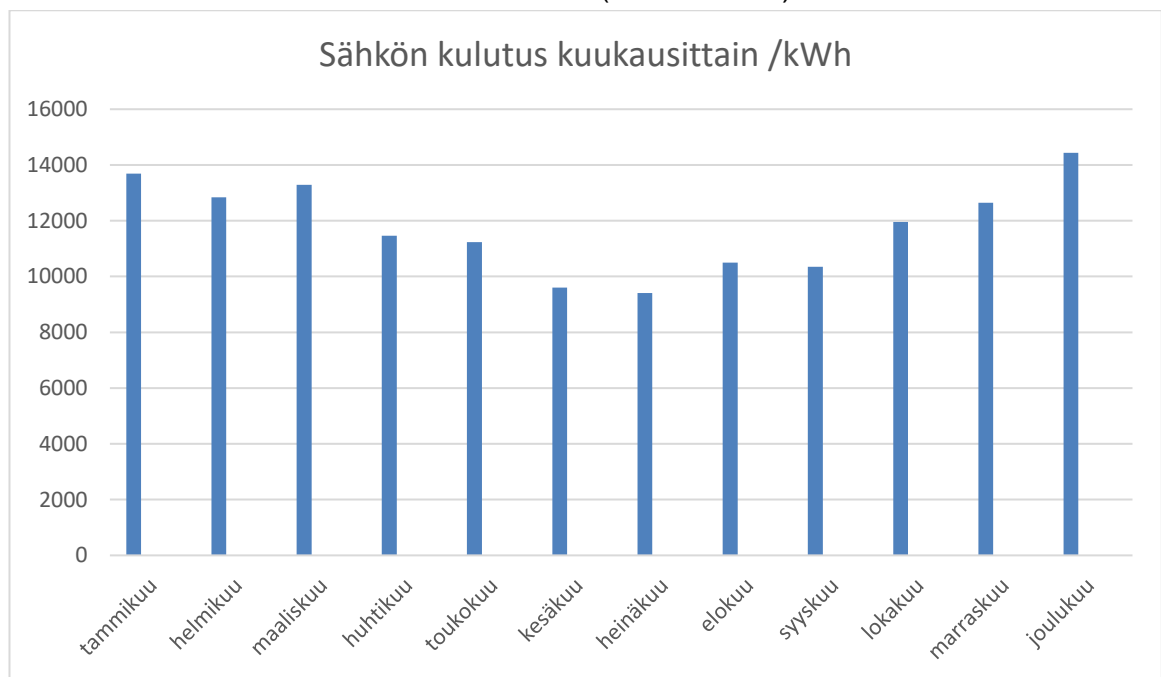
4.6 Mitoitus

Jotta investointi olisi kannattava, on mitoitus hyvin tärkeää. Ensin tulisi selvittää kulu, eli lämmitykseen ja lämpimään käyttöveteen kuluva energiamäärä. Seuraavaksi selvitetään, mikä on tämänhetkinen päälämmitysjärjestelmä ja paljonko varaajatilavuutta on ja tuleeko siihen tehdä muutoksia. Seuraavaksi olisi hyvä tietää, minne laitteiston eri komponentit sijoitellaan. Keräintyyppin, pinta-alan ja virtausnopeuden päättäminen ovat seuraavat askeleet. Lämmönvaihdin, putkilinjojen mitoittaminen ja pumpun ja säätimen valinta jäävät viimeisiksi. (Erat, ym. 2008)

Tarkka mitoittaminen perustuu siihen, että kohteen energian kulutus tunnetaan. Pitkän ajan säätilastojen perusteella saadaan tarpeeksi selkeä kuva odotettavissa olevista sääolosuhteista (Erat, ym. 2008).

Tässä työssä ei keskitytä ollenkaan aurinkolämpöjärjestelmiin, asia jää teoriatasolle. Seuraavassa luvussa perehdytään aurinkosähköjärjestelmiin ja lasketaan mitoitusta tarkemmin.

Taulukko 2. Sähkönkulutus kuukausittain (Elenia-Aina.)



4.7 Aurinkosähkö

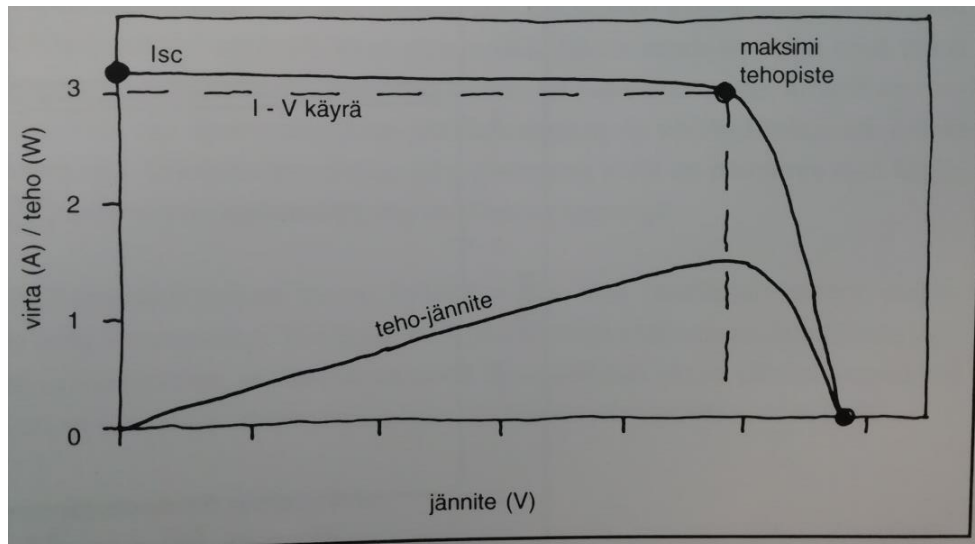
Aurinkosähkötekniikalla on mahdollista sähköistää erilaisia kohteita, joista yleisimpiä ovat verkkosähköttömät mökit, veneet ja asuntovaunut. Aurinkosähkö voidaan liittää myös omakotitaloon, jolloin on mahdollista tuottaa omaa 230 V:n vaihtosähköä vaihtosuuntaajaa käyttämällä. Pienemmissä aurinkosähkösovelluksissa käytetään yleensä 12 V:n akkua ja järjestelmän tuottamaa tasavirtaa. Tyypillisesti aurinkosähkölaitteistoon kuuluu säätöjärjestelmä ja akku, jolloin on mahdollista tuottaa tehoa ilman polttoainetta sähköverkon ulkopuolella (Erat, ym. 2008).

Aurinkosähköjärjestelmä voi olla omavarainen tai sähköverkkoon liitetty tai näiden välimuoto. Hybridijärjestelmästä puhutaan, kun aurinkosähkölaitteistolla on varavoi- malähde, koska tehontarvetta ei voida täysin täyttää aurinkovoimalla. Aurinkosäh- kön etuja ovat polttoaineettomuus, modulaarisuus eli helppo laajennettavuus, luot- tettavuus ja helppohuoltoisuus, ekologisuus, pitkäikäisyys, asennuksen nopeus ja yksinkertaisuus (Erat, ym. 2008).

4.8 Aurinkosähköjärjestelmän toimintaperiaate

Aurinkosähköjärjestelmissä käytetään aurinkokennoja, joiden materiaalina on puo- lijohde. Puolijohde on eriste normaaleissa oloissa, mutta muuttuu sähköjohteeksi, kun siihen osuu energiaa. Tavallisimmin kennoissa käytettävät puolijohdeet ovat piitä. Aurinkosähkökenno on siis puolijohdekomponentti, joka tuottaa tasasähköä lähes säteilytehonsa verran (Erat, ym. 2008).

Kennon rakenne koostuu kahdesta puolijohdekerroksesta, joiden välillä on raja- pinta. Rajapinnan toisella puolella on n-tyyppinen ja toisella puolella p-tyyppinen puolijohde. Elektronit kerääntyvät toiselle puolelle, toiselle puolelle jää aukkoja. Näin syntyy kennon sisäinen sähkökenttä. Valo synnyttää kennon puolijohdemateriaa- lissa elektroniaukkopareja, joita kennon oman sähkökentän ansiosta voidaan erot- taa toisistaan ja käyttää virran tuottoon kennon ulkopuolelle. Auringonvalo irrottaa elektroneja ja metallijohtimiin syntyy sähkövirta. Esimerkiksi kooltaan 10 cm x 10 cm ja paksuudeltaan 0,1–0,4 mm kenno tuottaa valaistuna 0,5V tasavirran. Säteilyteho ja pinta-ala vaikuttavat saadun virran määrään (Erat, ym. 2008).



Kuva 11. Esimerkkikennon ominaisuuksikäyrä eli I-U käyrä (Aurinko-opas.)

Aurinkokenno tuottaa tasasähköä, mutta virtaa epäsäännöllisesti. Aurinkokennon jännite muuttuu tasaisessa valonmäärässä, mutta virta pysyy lähes samana tiettyyn pisteeseen asti. Kennon ominaiskäyrä (I-U-käyrä) kertoo virran (I) ja jännitteen (U) yhteyden kennossa. Jos kennoa ei ole kytketty mihinkään, virta ei kulje ja käyrällä virran arvo on 0A. Kuten kuvasta nähdään (kuva 11), käyrällä tämä vastaa 0,6 V:n jännitettä. Tämä on ns. kennon tyhjäkäyntijännite, ja korkein jännite minkä kenno saavuttaa tietyssä lämpötilassa ja valointensiteetissä. Jos kennoon aiheutetaan oikosulku, jännite on 0V ja käyrältä nähdään, että virta on silloin 3,2 A luokkaa. Tämä on suurin virta, joka kulkee kennossa tietyssä valointensiteetissä ja lämpötilassa. Tätä kutsutaan oikosulutilaksi (Erat, ym. 2008).

Kun virta ja jännite ovat nollassa tyhjäkäynti- tai oikosulutilan takia, teho on nolla. (Kuva 11.) Tämä ei ole järkevää vaan piirit suunnitellaan sopimaan I-U-käyrälle niin, että kennosta saadaan tehoa oikein. Paras virta-jännitearvopiste MPP eli maksimi-tehopiste löytyy tässä tapauksessa, kun virta-arvo on n. 3A ja jännite 0,5V luokkaa (Erat, ym. 2008).

4.9 Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus

Elenialta saadun tuntisarjan mukaan 1.4–31.8 välisenä aikana sähkön kulutuksen keskiteho on ollut 14,2 kW. Tämä aikaväli on valittu siitä syystä, että auringon säteilyteho on Suomessa suurimmillaan tällä ajalla ja mitoitus kannattaa tehdä tämän ajan sähköntarpeen mukaan.

4.10 Tuotot ja kustannukset

Sain KotiWatti Oy:ltä kahden erikokoisen järjestelmän tarjoukset. Toinen 30 kWp:n nimellistehon järjestelmä sai Euroopan Komission laskurilla 23 255 kWh sähkötuotto arvon vuodessa Reisjärvellä. Seuraavassa taulukossa esitetään kannattavuuslaskeman lähtötiedot.

30,3kWp aurinkosähköjärjestelmä

Taulukko 3. 30,3 kWp:n järjestelmän lähtötiedot

Hankintameno alv 0 %	19 020 €
Arvioitu käyttöikä vuosina	30
Vuotuiset muuttuvat kustannukset	19 €, 15.vuosi 6359 €
Tuotto kWh/vuosi	23 255 kWh
Tuotto keskimäärin €/vuosi	2414 €
Jäännösarvo	13 300 €
Korkovaatimus	6 %

Laskennassa on käytetty 800 kWh/kWp auringonsäteilyä ja laitteiston nimellistehoa. Kennojen tehokkuus laskee 0,5 % vuodessa ja tämä on huomioitu laskennassa.

Hankintamenosta on vähennetty investointitukien osuus 40 %. Tuotto keskimäärin on laitteiston tuottama energia vuodessa kerrottuna ostosähkön hinnalla (0,08 €) ja tähän on lisätty itse tuotetun sähkön myynnistä saatavat tulot. Oletetaan, että 90 % tuotetusta sähköstä tulee omaan käyttöön, loppu menee myyntiin. Korkovaatimus on 6 %, se sisältää rahoituksen koron (2 %) ja sijoitetulle pääomalle halutun tuoton (4 %). Vuotuiset kustannukset yleisesti ovat pienet, 15. käyttövuoden invertterin vaihdosta tulee isommat kulut. Laskelmat on toimitettu Excel-ohjelmaa apuna käyttäen.

Taulukko 4. 30,3 kWp:n järjestelmän laskutulokset

NVP	7862 €
Sisäinen korkokanta	9,37 %
takaisinmaksuaika	10 v

Laskelmissa saatiin hyvin positiivinen tulos. NVP on positiivinen ja takaisinmaksuaika on vain 10 vuotta. Sisäinen korkokanta on huomattavan korkea, kyse on siis kannattavasta investoinnista tässä mittakaavassa. Seuraavassa taulukossa esitän isomman, 41,2 kWp:n aurinkosähköjärjestelmän lähtötiedot.

41,2 kWp:n järjestelmä

Taulukko 5. 40,2 kWp:n järjestelmän lähtötiedot

Hankintameno alv 0 %	23802 €
Arvioitu käyttöikä vuosina	30 v
Vuotuiset muuttuvat kustannukset	24 €, 15.vuosi 7957 €
Tuotto kWh/v	32 000 kWh
Tuotto keskimäärin €/v	2560 €

Jäännösarvo	5830 €
korkokanta	6 %

Laskentaperusteet ovat samat, kuin pienemmässä kokoluokassa. Myös tämän kokoluokan aurinkosähköjärjestelmä on kannattava tilakokonaisuudessa. Euroopan Komission laskurilla sain tälle järjestelmälle 32 000 kWh:n vuosituoton.

Taulukko 6. 40,2 kWp:n järjestelmän laskutulokset

NVP	9850 €
sisäinen korkokanta	9,9 %
takaisinmaksuaika	9 v

Isomman järjestelmän NVP oli myös positiivinen, 9850 € ja takaisinmaksuaika on 9 v.

4.11 Aurinkosähkö investoinnin laskelmien tulokset

Kumpikin kokoluokka osoittautui kannattavaksi, isompi oli kannattavampi. Sanoisin, että kannattaa investoida, jos innokkuutta ja mielenkiintoa löytyy. Isommalla järjestelmällä näillä lähtötiedoilla säästettäisiin ostosähkössä 2560 € vuodessa, pienemmällä noin 2400€.

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Biokaasulaitos maatilalla voisi olla luonteva osa tuotantoketjua, sillä sen avulla voitaisiin hyödyntää ja käsitellä tilalla joka tapauksessa syntyvät jätteet. Jätteistä lanta ja viljelyn sivutuotteet hyödynnettäisiin energiana ja myös ravinnekierto parantuisi. Haasteena työni tilan kokoluokassa, jos ei isommassakin tilakokonaisuudessa on kannattavuus. Vaikka ajatus kaikista hyödyistä on mielenkiintoinen ja innostava, kertainvestoinnin korkea hintaa ei välttämättä ole helppo saada kannattavaksi tarkallakaan laskemisella.

Muut energiamuodot paremman kannattavuutensa takia ovat edelleen nousemassa biokaasulaitosten edelle. Tässä työssä verrattiin biokaasulaitoksen kannattavuutta nykytilanteeseen, jossa tilan ostosähkön hinta on korkea vuositasolla. Maatilakokoluokan biokaasulaitoksissa pyritään korkeaan energiaomavaraisuuteen välttämällä ostosähkön käyttöä. Käsittelyjäännöksen liukoisen tyyppien pitoisuuden ja mahdollisesti kasveille käyttökelpoisemman fosforin ja typen suhteen kautta haetaan hyötyä mineraalilannoitteiden ja raakalannan käytön vähentämisenä. Lisähyödyksi voidaan lukea myös pienemmät hajuhaitat, tasalaatuinen ja siten helpommin levitettävä jäännös, parempi tilakohtainen hygienia ja rikkakasvin siementen tuhoutuminen biokaasuprosessissa. Näille on kuitenkin vaikea asettaa rahallisia määreitä investointilaskelmissa.

Aurinkoenergian hyödyntäminen tilalla osoittautui kannattavaksi ja kahdesta kokoluokasta kannattavampi oli isompi. Ostosähköön joudutaan silti jatkossakin turvautumaan, mutta säästöä saataisiin noin 2560 €/v tämänhetkisellä sähkön hinnalla isommalla järjestelmällä.

Kun mietitään yrityksen kasvua, ovat investoinnit riskeineen lähes poikkeuksetta kuvassa mukana. Aktiivinen riskien hallinta, tuotanto-osaaminen ja oikeanlainen johtaminen yrityksessä johtavat usein maltillisiin riskeihin. Investointeja suunniteltaessa laaditaankin aina laskelmia kannattavuuden selvittämiseksi, ja yleisesti laskelmissa käytetään sen hetken tuotteiden tai tuotantopanosten hintoja, joiden oletetaan pysyvän samana (Jaakkola 2013.) Markkinariskien maailmassa hinnat kuitenkin vaihtelevat ja riski on sitä suurempi, mitä pidempi takaisinmaksuaika on. Herkkyysanalyysissä selvitetään, miten tuotantopanosten hinnanmuutokset vaikuttavat

investoinnin kannattavuuteen. Jos analyysissä sovelletaan 20 %:n hinnan muutosta ylös tai alaspäin, ja investoinnin kannattavuuden kannalta se on neutraali, voidaan investoimaan yleensä lähteä kohtuullisen rauhallisin mielin (Jaakkola 2013.)

Maatalousyrityksen kannattava pyöritys vaatii yrittäjältä suurta tietotaitoa tuotannon ja talouden osalta, mutta myös uusien asioiden omaksumista ja käyttöön jalostamista on tapahduttava jatkuvasti, jos mieli pärjätä, kasvaa ja kehittyä. Siinäpä onkin haastetta riittämiin. Tätä työtä tehdessä olen saanut perehtyä investointien kannattavuuden arviointiin ja kahteen erilaiseen investointivaihtoehtoon uusiutuvan energian saralla.

LÄHTEET

- Ahokas, J. Maatalouden energiankäyttö. ENPOS-hanke. 2013. Helsingin Yliopisto. [Verkkojulkaisu.] [Viitattu 17.10.2018.] Saatavana: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40241/energian_sst.pdf?sequence=1
- Cederlöf, M. Euroopan Unionin ilmastopolitiikka. [Verkkojulkaisu.] [Viitattu 17.10.2018.] Saatavana: http://www.ymparisto.fi/FI/Ymparisto/Ilmasto_ ja_ ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Euroopan_unionin_ilmastopolitiikka
- Demeca Oy. Ei päiväystä. [Verkkosivu.] [Viitattu 13.9.2020.] Saatavana: <https://demeca.fi/>
- Erat, B, Erkkilä, V ym. Aurinkoenergiaa rakennuksiin. 2008.
- European Commission. Photovoltaic geographical information system. Ei päiväystä. [Verkkosivu.] [Viitattu 11.10.2019.] Saatavana: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html
- Huovari, N & Rautanen, J. Biokaasulaitosten energiatase biomassoja hyödyntävissä laitoksissa. Motiva Oy. 2008. [Verkkojulkaisu.] [Viitattu 13.9.2020.] Saatavana: https://www.motiva.fi/files/4005/Biokaasulaitosten_energiatase_maatilojen_biomassoja_hyodyntavissa_laitoksissa.pdf
- Ilmasto-opas.fi. 2019. Maatalouden mahdollisuudet muuttuvat ilmaston muuttuessa. [Verkkojulkaisu.] [Viitattu 15.8.2020.] Saatavana: https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/vaikutukset/-/artikkeli/ca96c048-a654-492e-b20a-f2ac8c394adf/maatalouden-mahdollisuudet-muuttuvat-ilmaston-muuttuessa.html#h_Suomen_maataloustuotanto_voi_kasvaa_jos_muutoksiin_varaudutaan
- Jaakkola, T, Kilpeläinen, S, Korkman, R, Kärpänen, P, Liesvaara, P, Myyrä, S, Niemi, J, Niemi, J, Nurkka, M, Peltonen, S, Rantala, J, Riikonen, P, Storberg, J & Österman, P. 2013. Markkinariksien hallinta maatilalla. Tieto tuottamaan 138. Pro Agria Keskusten liitto. [Kirja.] [Viitattu 11.11.20.]
- Kestävä Energiatalous. Biokaasun tuotanto Suomessa etenee vaikeuksista huolimatta. 2018. [Verkkojulkaisu.] [Viitattu 11.11.20.] Saatavana: <https://www.energiatalous.fi/?p=2234>
- Kari, M. 2009. Maatilayrityksen energiaopas. Tieto tuottamaan 130. [Kirja.] [Viitattu 15.8.2020.]
- Käpylehto, J, Isomäki R, ym. 2016. Auringosta sähköt kotiin, kerrostaloon ja yritykseen. [Kirja.] [Viitattu 17.10.2018.]

- Kymäläinen, M, Pakarinen, O, Luostarinen, S, Kinnunen, V & Rintala, J. Biokaasuteknologia. Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Suomen Biokaasuyhdistys ry. 2015. [Verkkojulkaisu.] [Viitattu 18.5.2020]. Saatavana: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Lehtonen, S. Maaseudun Tulevaisuus 2018. Maatalous kuluttaa kolme prosenttia energiasta Suomessa. [Verkkojulkaisu.] [Viitattu 17.10.18.] Saatavana: <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/artikkeli-1.232998>
- Luonnonvarakeskus Luke. 2018. Maa- ja puutarhatalouden energiankulutus 2016. [Verkkojulkaisu.] [Viitattu 17.10.18.] Saatavana: <http://stat.luke.fi/maa-ja-puutarhatalouden-energiankulutus>
- Luonnonvarakeskus Luke. 2020. Maatalous ja ilmastonmuutos. [Verkkojulkaisu.] [Viitattu 18.5.20.] Saatavana: <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/maatalous-ja-maaseutu/maatalous-ja-ilmastonmuutos/>
- Maaseudun Tulevaisuus. 2014. Maatilojen energiakustannuksissa eroja. [Verkkojulkaisu.] [Viitattu 17.10.18.] Saatavana: <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/maatalous/maatilojen-energiakustannuksissa-eroja-1.66358>
- Maatilan biokaasulaitos Pohjois-Karjalassa. Energiaraitti. Poweria Biomassastahanke. Case-kortti: Lasse Kähkösen tila, Valtimo. 18.12.2017. [Verkkojulkaisu.] [Viitattu 15.11.20.] Saatavana: https://www.pikes.fi/documents/89838/353163/Maatilan+biokaasu_julkaisu+new.pdf/47764c5f-9918-b985-7fd0-a4e596a4380f
- MML. Karttapaikka. [Viitattu 25.10.18.] [Verkkopalvelu.] Saatavana: <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/>
- Muurman, J. 2018. Ympäristöministeriö. Ilmastonmuutoksen hillitseminen. [Verkkojulkaisu.] [Viitattu 15.8.2020.] Saatavana: https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilmastomuutoksen_hillitseminen
- Motiva Oy. 2013. Biokaasun tuotanto maatilalla. [Verkkojulkaisu.] [Viitattu 9.9.2020.] Saatavana: https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf
- Motiva Oy. 2020. Aurinkokeräinten hyötysuhteet. [Verkkoartikkeli.] [Viitattu 15.8.2020.] Saatavana: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/aurinkokerainten_hyotysuhteet
- Niskanen, A, Donner-Amnell, J, Häyrynen, S & Peltola Taru. 2008. Metsän uusi aika. Kohti monipuolisempaa metsäalan elinkeinorakennetta.

Posio, M. 2014. OAmk Power-Point esitys. Maatalouden energiankulutus. [Verkojulkaisu.] [Viitattu 17.10.18.] Saatavana: https://www.oamk.fi/hankkeet/bioelogia/docs/materiaalit/Mikko_Posio-Energiatehokkuus-Oamk.pdf

Seppänen, M. 2010 Maailma muuttuu – muuttuuko maatalous?

Tenhunen, M. 2013. Tilisanomat. Johdon laskentatoimi eri laskentatilanteissa. Osa 4. [Verkojulkaisu.] [Viitattu 1.9.2020.] Saatavana: <https://tilisanomat.fi/koulu/johdon-laskentatoimen-koulu-koulut/johdon-laskentatoimi-eri-laskentatilanteissa>

Tikkala, H. 2016. Yle Uutiset. Poliitikka. Hallitus laittoi ilmasto- ja energiatavoitteet uusiksi – jatkossa lähes kolminkertainen määrä uusiutuvaa tankkiin. [Verkojulkaisu.] [Viitattu 2.11.18.] Saatavana: <https://yle.fi/uutiset/3-9314034>

Vattenfall. Kodin sähkönkulutus. Ei päiväystä. [Verkkosivu.] [Viitattu 15.8.2020.] Saatavana: <https://www.vattenfall.fi/energianeuvonta/sahkonkulutus/>