

Teija Järvenpää

BIOKAASUN TUOTANNON SOVELTUMINEN NAMIBIAAN

Energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma

2017

## BIOKAASUN TUOTANNON SOVELTUMINEN NAMIBIAAN

Järvenpää, Teija  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma  
Joulukuu 2017  
Sivumäärä: 47  
Liitteitä: 0

Asiasanat: biokaasu, energiantuotanto, uusiutuva energia, Namibia

---

Opinnäytetyössä tutkittiin biokaasun tuotannon soveltumista Namibiaan. Tavoitteena oli tehdä selvitys, josta saadaan tietoa suomalaisille yrityksille biokaasun tuotannon mahdollisuuksista Namibiassa ja edistää suomalaisyritysten vientimahdollisuuksia. Opinnäytetyö toteutettiin osana NAMURBAN (Urban Resource Efficiency in Developing Countries –pilot study of Walvis Bay, Namibia) -tutkimusprojektia. Opinnäytetyötä voidaan käyttää tiedonlähteenä tutustuttaessa Namibian erityispiirteisiin energiantuotannon näkökulmasta ja suunniteltaessa biokaasuteknologian vientiä Namibiaan. Tiedoista on hyötyä myös muille uusiutuvan energian teknologioille, ja tietoja voidaan osittain soveltaa muihin kehittyviin maihin.

Opinnäytetyössä tutustuttiin Namibiaan ja biokaasun tuotannon teoriaan. Taustaselvityksen jälkeen selvitettiin Namibiaan soveltuvat syötemahdollisuudet sekä biokaasun tuotannon nykytila Namibiassa. Biokaasun tuotannon hyötyjen ja haasteiden pohdinnan jälkeen tehtiin arvioita biokaasun soveltuvuudesta Namibiaan. Lähdemateriaalina käytettiin luotettavia kirjallisuus- ja internet-lähteitä, NAMURBAN-hankkeen tutkimusaineistoa sekä yrityshaastatteluita.

Merkittävin johtopäätös opinnäytetyössä on, että biokaasu soveltuu Namibiaan, kun huomioidaan maan erityispiirteet. Tuloksena saatiin SWOT-analyysi siitä, mitä suomalaisten yritysten kannattaa ottaa huomioon harkitessaan biokaasuteknologian viemistä Namibiaan. Avaintekijöitä onnistuneen biokaasulaitoksen toteutuksessa Namibiassa ovat biokaasulaitoksen sopivuus paikallisiin olosuhteisiin, oikea laitoskoko sekä palveluiden, kuten koulutuksen tarjoaminen teknisen ratkaisun ohella. Potentiaalisena suomalaisena vientituotteena Namibian biokaasumarkkinoille nähdään kokonaisratkaisun kehittäminen, missä huomioidaan sekä soveltuva tuote että palvelu.

# THE APPLICABILITY OF BIOGAS PRODUCTION IN NAMIBIA

Järvenpää, Teija

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Energy and Environmental Engineering

December 2017

Number of pages: 47

Appendices: 0

Keywords: biogas, energy production, renewable energy, Namibia

---

The purpose of this thesis was to study the applicability of biogas production in Namibia. From the thesis Finnish companies can gain information about possibilities of biogas production in Namibia and promote the export opportunities of Finnish companies. The thesis was conducted as a part of the project NAMURBAN (Urban Resource Efficiency in Developing Countries –pilot study of Walvis Bay, Namibia). The thesis can be utilized as a source of information when exploring the special features of Namibia from an energy engineering point of view and when considering the export of biogas technology to Namibia. The information is valuable also to other renewable energy technologies and the knowledge can be partly applied to other developing countries.

In this thesis Namibia and the theory of biogas production were studied. After a background study, suitable feed material for biogas production was researched as well as the current state of biogas production in Namibia. After considering the benefits and challenges of biogas production, estimates were made on the suitability of biogas production in Namibia. The source material used in this thesis includes reliable literature and Internet sources, research material from the project NAMURBAN and also interviews from Finnish companies.

The most important conclusion of the thesis is that biogas is suitable for Namibia when the special features of the country are taken into consideration. The results include a SWOT analysis of issues that Finnish companies should consider when planning to export biogas technology to Namibia. Key factors for a successful implementation of a biogas plant in Namibia are the suitability of the biogas plant to the local circumstances, the right size of biogas plant and service offering such as training along with the technical solution. A potential Finnish export product for the biogas market in Namibia is seen as a comprehensive solution where the suitable product and service are taken into account.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	NAMIBIA .....	6
3	NAMIBIAN ENERGIASEKTORI.....	7
3.1	Energiankulutus .....	7
3.2	Sähkönkulutus.....	8
3.3	Energian- ja sähköntuotanto .....	10
3.4	Uusiutuva energia ja energiantuotantoprojektit lähitulevaisuudessa.....	11
4	NAMIBIAN SÄHKÖVERKKO .....	13
4.1	Sähköntuotanto, -siirto ja -jakelu.....	13
4.2	Sähköverkon laajuus ja kunto .....	15
4.3	Sähkönjakelun keskeytykset.....	17
5	BIOKAASU .....	19
5.1	Biokaasun tuotantoprosessi.....	19
5.2	Biokaasun muodostuminen kaatopaikoilla .....	20
5.3	Biokaasun tuotantoprosessin hallinta.....	21
5.3.1	Lämpötila .....	21
5.3.2	pH-arvo .....	22
5.3.3	Haitalliset aineet .....	22
5.3.4	Sekoitus .....	22
5.3.5	Viipymä .....	23
5.4	Biokaasun koostumus .....	23
5.5	Syöte .....	24
5.6	Kokoluokat.....	25
5.7	Biokaasun käyttö.....	26
5.7.1	Lämmön- ja sähköntuotanto.....	27
5.7.2	Liikennepolttoaine ja muu käyttö.....	29
5.8	Mädätysjäännös.....	29
5.9	Biokaasulaitoksen kannattavuus .....	30
6	BIOKAASUN TUOTANNON SOVELTUVUUS NAMIBIAAN.....	31
6.1	Syötemahdollisuudet Namibiassa .....	31
6.2	Biokaasun tuotannon nykytila Namibiassa ja Afrikassa.....	32
6.3	Hyödyt.....	33
6.4	Haasteet.....	35
6.5	Yrityshaastattelut .....	37
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA SWOT-ANALYYSI .....	38
8	YHTEENVETO .....	42
	LÄHTEET.....	44

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö toteutetaan osana NAMURBAN (Urban Resource Efficiency in Developing Countries –pilot study of Walvis Bay, Namibia) -tutkimusprojektia. Kaksivuotisessa projektissa (2015-2017) Satakunnan ammattikorkeakoulu (SAMK) ja paikallinen yliopisto Namibia University of Science and Technology (NUST) tutkivat resurssitehokasta kaupunkikehitystä. NAMURBAN-projektissa kehitetään kaupunkiolosuhteisiin resurssitehokas konsepti uusiutuvalle energialle, puhtaalle vedelle, kierrätykselle, asumiselle ja ICT-ratkaisuille Namibiassa. Projektin pilottikaupunkina on Walvis Bay, joka sijaitsee Atlantin rannikolla. Tutkimustulokset Namibiasta ovat sovellettavissa myös toisiin Afrikan maihin. Projektissa mukana olevien seitsemän suomalaisyrityksen osaamisalueita ovat uusiutuva energia, vesi, jätteiden kierrätys, konseptirakentaminen sekä IoT- ja ICT-sovellukset. Yritykset ovat Fimuskraft Oy, GA90 Recycling Oy, Naps Solar Systems Inc., Rannan Teollisuuskone Oy, Riffid Oy, Sansox Oy ja SWOcean Oy. NAMURBAN-projekti kuuluu Tekesin ja Suomen ulkoministeriön Business with Impact (BEAM) -ohjelmaan. (Nuutila 2017.)

Satakunnan ammattikorkeakoulun NAMURBAN-hankkeen projektipäällikön toimeksiannosta tässä opinnäytetyössä selvitetään biokaasun tuotannon soveltumista Namibiaan. Tavoitteena on tehdä selvitys, josta saadaan tietoa suomalaisille yrityksille biokaasun tuotannon mahdollisuuksista Namibiassa ja edistää suomalaisyritysten vientimahdollisuuksia. Työssä keskitytään biokaasun tuotantoon, mutta tiedot Namibian energiasektorista ja sähköverkosta ovat sovellettavissa myös muihin uusiutuvan energiantuotantomuotoihin. Lisäksi tietoja voidaan osittain soveltaa muihin kehittyviin maihin.

Aluksi tutustutaan Namibiaan ja maan erityispiirteisiin, kuten maan energiasektoriin, sähköverkon kuntoon sekä sähkön tuottamisen vaatimuksiin. Opinnäytetyötä varten tietoa haetaan luotettavista internet- ja kirjallisuuslähteistä, joissa kriittisesti arvioidaan lähteen soveltuvuutta tähän työhön sekä tiedon luotettavuutta. Lisäksi lähdemateriaalina käytetään NAMURBAN-hankkeen tutkimusaineistoja. Selvitettyjen tietojen pohjalta saadaan käsitys Namibian nykytilasta ja mitkä asiat ovat tärkeitä huomioida

biokaasun tuotannon kannalta. Opinnäytetyössä perehdytään biokaasun tuotannon teoriaan, jotta ymmärretään biokaasun tuotantoprosessin vaatimukset, biokaasun tuotantoon soveltuvat syötteet sekä biokaasun käyttökohteet. Lisäksi kartoitetaan biokaasun tuotannon tämänhetkinen tilanne Namibiassa ja selvitetään, mitä syötteitä Namibiassa voidaan käyttää biokaasun tuotantoon. Opinnäytetyöhön sisältyy myös suomalaisten biokaasulaitoksia toimittavien yritysten haastattelut, jotka täydentävät opinnäytetyötä ja tuovat työhön yritysnäkökulman. Biokaasun tuotannon hyötyjen ja haasteiden pohdinnan jälkeen tehdään arvioita biokaasun soveltuvuudesta Namibiaan.

## 2 NAMIBIA

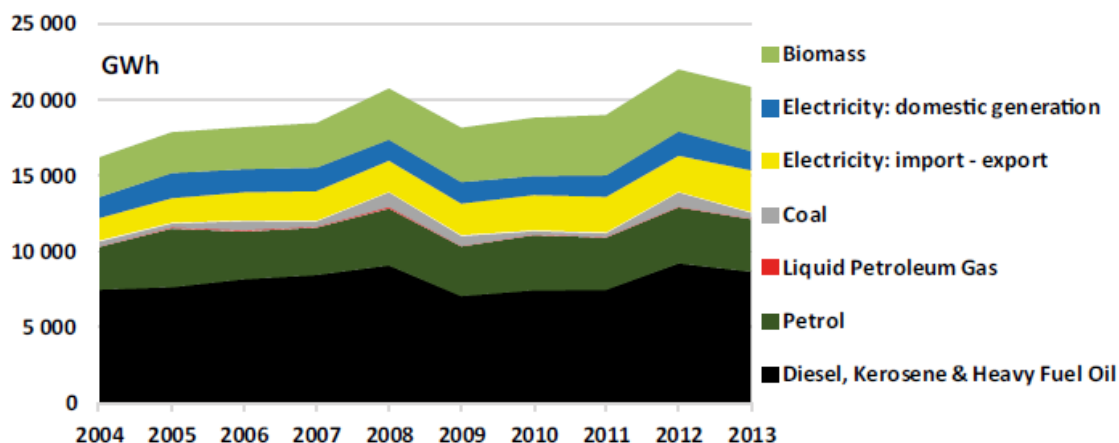
Namibia sijaitsee eteläisessä Afrikassa, Atlantin valtameren rannikolla ja sen naapurimaita ovat Etelä-Afrikka, Angola, Sambia ja Botswana. Pinta-alaltaan 824 000 km<sup>2</sup> valtiossa on asukkaita noin 2,5 miljoonaa. Namibia on yksi maailman harvaan asutuimmista maista ja maan väestötiheys 3 asukasta/km<sup>2</sup>, kun Suomessa väestötiheys on 18 asukasta/km<sup>2</sup>. Aavikkoisessa ja kuivassa maassa sateet ovat vähäisiä ja epäsäännöllisiä. Päivät ovat lämpimiä ja yöt viileitä kuukausittaisen keskimääräisen lämpötilan ollessa noin 14-24 °C. (Maailmanpankin www-sivut 2017; Namibia Trade Directory 2016, 8.)

Kaivosteollisuudella on merkittävä rooli Namibiassa, ja maan tärkeimpiin vientituotteisiin kuuluvat mineraalimalmit, timantit, kala ja liha. Virallisena kielenä puhutaan englantia, ja lukutaitoisia on 88 % väestöstä. Namibia itsenäistyi vuonna 1990 ja valtion poliittinen tilanne on vakaa, mutta korkea työttömyys, köyhyys ja epätasa-arvoisuus ovat edelleen suuria haasteita. (Maailmanpankin www-sivut 2017.)

### 3 NAMIBIAN ENERGIASEKTORI

#### 3.1 Energiankulutus

Namibian energiasektori perustuu öljytuotteiden, sähkön sekä puun ja puuhiilen käyttöön. Kuvassa 1 on esitetty Namibian kokonaisenergiankulutus sektoreittain vuosina 2004-2013. Tuona aikana energian kokonaiskulutus on kasvanut arvioidusta 16 000 GWh:sta 21 000 GWh:iin. Lisääntynyttä energiankulutusta selittää osaltaan väestönkasvu, kaupungistuminen sekä teollisuuden kasvu. Kuvan mukaan Namibiassa kulutetaan eniten energiaa öljypohjaisten polttoaineiden, kuten bensiinin ja dieselin, muodossa. Toistaiseksi Namibialla ei ole omia öljy- tai kaasuvaroja eikä Namibiassa ole öljynjalostamoja, jolloin kaikki öljytuotteet tuodaan valmiiksi käyttöön. Namibia on voimakkaasti riippuvainen tuontienergiasta niin öljytuotteiden kuin sähkönkin osalta. (von Oertzen 2015, 16; Chiguvare & Ieka 2016, 24.)



Kuva 1. Kokonaisenergiankulutus sektoreittain Namibiassa 2004-2013. Kuvassa ylhäältä alas: biomassa; sähkö, kotimainen tuotanto; sähkö, tuonti – vienti; hiili; neste-kaasu; bensiini; diesel, kerosiini, raskas polttoöljy. (von Oertzen 2015, 16.)

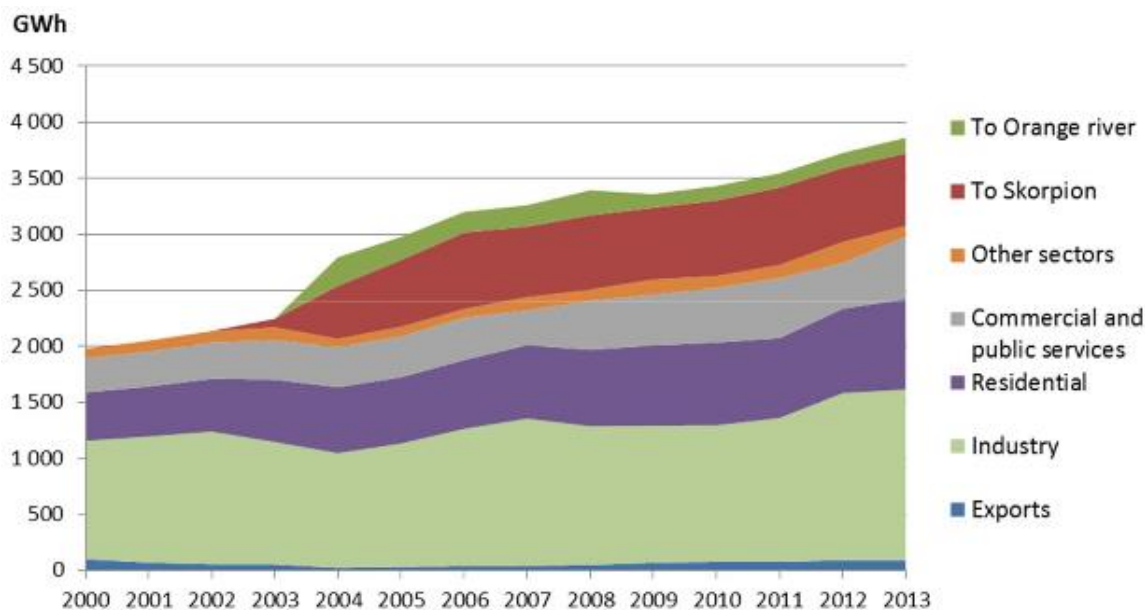
Kuvassa biomassan osuuden on arvioitu olevan lähes saman suuruinen kuin sähkön yhteenlaskettu osuus. Biomassan eli puun ja puuhiilen kulutuksen arviointi on haasteellista, sillä puupolttoaineiden käyttö rajoittuu pääasiassa kotitalouksiin eikä niiden energiankulutuksesta ole tarkkoja tietoja. Vuonna 2011 tehdyssä tutkimuksessa on kuitenkin selvitetty puun ja puuhiilen käytön yleisyys kotitalouskohtaisesti Namibiassa. Tutkimuksen mukaan namibialaisista kotitalouksista noin puolet käyttää puuta tai puuhiiltä ruuanlaittoon ja lämmitykseen. Maaseudulla käytetään huomattavasti

enemmän puuta, kun taas kaupungissa on useimmiten saatavilla sähköä. On myös hyvä huomata, että lämpimässä maassa 22 prosentilla kotitalouksista ei ole lainkaan pääasialliseksi katsottavaa lämmitysmuotoa. Namibiassa ei ole maakaasuverkostoa, mutta kaasua käytetään etenkin ruuanlaittoon. Kaasua lämmittämiseen käyttää 3 % kaupunkien ja 1 % maaseudun kotitalouksista. Kaasua ruuanlaittoon käyttää 13 % kaupunkien ja 3 % maaseudun kotitalouksista. Pieni määrä maaseudun kotitalouksia käyttää eläinten lantaa lämmitykseen ja ruuanlaiton energialähteenä. (Namibia Statistics Agency 2011, 75-77; von Oertzen 2015, 16.)

### 3.2 Sähkönkulutus

Kuvassa 2 on esitetty Namibian sähkönkulutus sektoreittain vuosina 2000-2013. Kuvasta nähdään, että sähkönkulutus on kasvanut noin 2000 GWh:sta lähes 4000 GWh:iin tuona aikana. Sähkönkulutus on lisääntynyt lähes kaikilla sektoreilla, mutta erityisesti Skorpionin kaivos on nostanut Namibian kokonaissähkönkulutusta vuoden 2003 jälkeen. Skorpionin kaivos usein eritellään tilastoissa, koska kaivos ei kuormita Namibian energiahuoltoa, sillä kaivos saa sähkön suoraan eteläafrikkalaiselta sähköyhtiöltä, Eskomilta, erityisen sopimuksen kautta (NamPower 2016, 88; Eskomin www-sivut 2017). Vaikka sähkönkulutus on kasvanut, sähköntuotantokapasiteetti ei ole olennaisesti kasvanut ja maa on voimakkaasti riipuvainen tuontisähköstä. (Rämä & Koponen 2016, 5.)



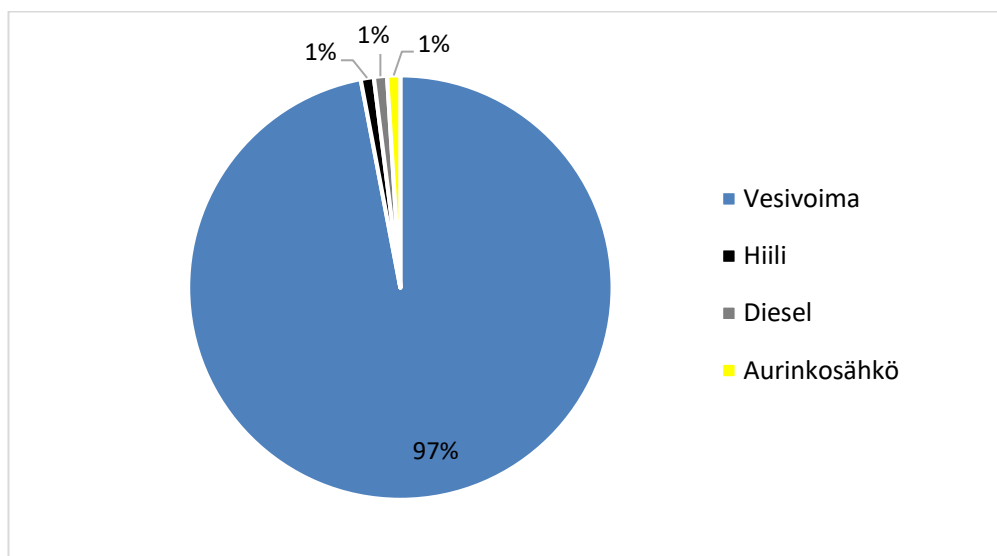


Kuva 2. Sähkönkulutus sektoreittain Namibiassa 2000-2013. Kuvassa ylhäältä alas: Orange-joki, Skorpionin kaivos, muut, kaupalliset ja julkiset palvelut, asukkaat, teollisuus, vienti. (Rämä & Koponen 2016, 5.)

Asukkaiden sähkönkulutus on lisääntynyt väestönkasvun ja sähköverkon laajentamisen myötä. Maaseudun sähköistämiprojektista huolimatta suuri osa namibialaisista on edelleen sähköverkon ulkopuolella ja erityisesti maaseudun asukkaat ovat riippuvaisia puupolttoaineista energian tarpeen tyydyttämiseksi. Sähköliittymä on 30 prosentilla maaseudun ja 70 prosentilla kaupungin kotitalouksista. (Ruppel & Ruppel-Schlichting 2016, 155.) Sähkön saatavuus vaikuttaa merkittävästi kotitalouden lämmitysmuotoon, ruuanlaiton sekä valaistuksen energialähteeseen. Kaupungeissa 49 % kotitalouksista lämmittää asuntoa sähköllä ja vastaavasti maaseudulla vain 7 % käyttää sähköä lämmittämiseen. Ruuanlaiton pääasiallisena energialähteenä 33 % käyttää sähköä valtakunnan verkosta. Valaistukseen käytetään kaupungeissa pääasiassa sähköä, kun taas maaseudulla puolet kotitalouksista käyttää kynttilöitä. Aurinkosähköä käytetään enemmän maaseudulla (2 %) kuin kaupungeissa (0,4 %). (Namibia Statistics Agency 2011, 75-77.) Jos sähköä on saatavilla, on sen kulutus vähäistä, sillä keskituloinen namibialainen kotitalous käyttää tyypillisesti sähköä noin 5-15 kWh vuorokaudessa (Electricity Control Board 2009, 2).

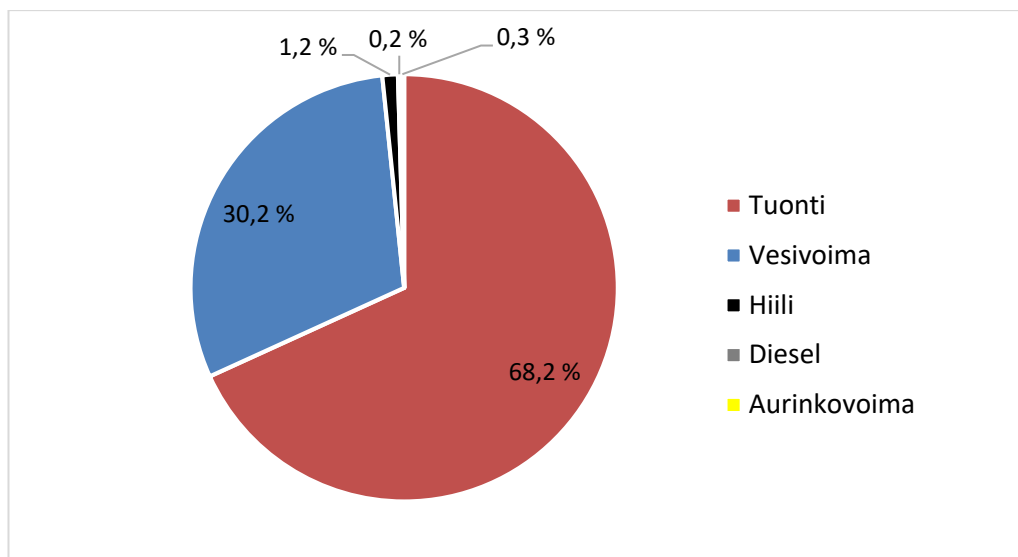
### 3.3 Energian- ja sähköntuotanto

Tärkein kotimainen sähkönlähde Namibiassa on vesivoima. Vesivoimalla tuotettiin 97 % maan sisällä tuotetusta sähköstä kesäkuun 2015 ja heinäkuun 2016 välisenä aikana (Kuva 3). Muita sähköntuotantolaitoksia ovat hiilivoimala- sekä diesel-laitokset. Hiilen ja dieselin osuudet ovat normaalia vuotta pienemmät johtuen käynnissä olevista huolto- ja tehonkorotustoimenpiteistä (NamPower 2016, 7; NamPower 2016, 61-62).



Kuva 3. Namibian oman sähköntuotannon jakautuminen ajalla kesäkuu 2015 - heinäkuu 2016 (NamPower 2016, 58).

Koska Namibian oma sähköntuotanto ei kata kokonaissähkönkulutusta, tuodaan sähköä ulkomailta, pääasiassa Etelä-Afrikasta, Zimbabwesta ja Sambiasta. Tuontisähkön osuus vaihtelee 40-80 prosentin välillä riippuen kotimaan sähköntuotantokapasiteetista, joka puolestaan vaihtelee ilmasto- ja vesiolosuhteiden sekä muiden tekijöiden mukaan. (Chiguvare & Iлека 2016, 29; Rämä & Koponen 2016, 6.) Kuvasta 4 nähdään, mistä Namibiassa käytettävä sähkö oli peräisin vuonna 2016. Namibian sähköverkkoon toimitettiin yhteensä 4505 GWh sähköä, josta tuonnin osuus oli 68,2 %, vesivoiman 30,2 %, hiilen 1,2 %, aurinkovoiman 0,3 % ja dieselin 0,2 % (NamPower 2016, 88).



Kuva 4. Käytetyn sähkön alkuperä vuonna 2016 Namibiassa (NamPower 2016, 88).

### 3.4 Uusiutuva energia ja energiantuotantoprojektit lähitulevaisuudessa

Namibiassa on mahdollista hyödyntää uusiutuvaa energiaa, kuten aurinkoenergiaa, bioenergiaa ja tuulivoimaa. Lisäksi tutkimattomia energianlähteitä ovat aaltoenergia, merivirrat ja geoterminen energia. Teknisesti olisi mahdollista tuottaa kaikki Namibiassa käytettävä energia uusiutuvista energialähteistä ja hajautetulla tuotannolla. (Schütt 2016, 46-47.) Käytännössä esimerkiksi poliittisilla päätöksillä on vaikutusta uusiutuvan energian kannattavuuteen. Namibia suunnittelee vähentävänsä tuontienenergiatarvetta pääasiassa valmisteilla olevalla maakaasuvoimalaitoksella sekä lisäämällä uusiutuvan energian määrää kehittämällä aurinkosähkövoimaloita (PV), keskitetyn aurinkoenergian voimaloita (CSP) sekä tuulivoimaloita (Chiguvare & Ileka 2016, 27).

Merkittävänä energiaprojektina Namibiassa on maakaasuvoimalaitoksen rakentaminen. Merellä Namibian edustalla sijaitsee Kudun kaasukenttä, jonka maakaasuvarantojen hyödyntämistä Namibia valmistelee. Noin 170 kilometriä pitkällä kaasuputkella maakaasu johdetaan voimalaitokseen, joka sijaitsee Oranjemundin kaupungista pohjoiseen. Laitoksen on määrä tuottaa sähköä 800 MW teholla, josta Namibia käyttää 400 MW ja ylijäämä aiotaan myydä. Kaasukentän on arvioitu tuottavan noin 23 vuotta. Kudun kaasuvoimalahanke on viivästynyt, ja tällä hetkellä valmistumisen arvioidaan olevan vuonna 2020 (Savela 2017, 80). (Renkhoff 2016, 237.)

Namibian olosuhteet aurinkoenergian hyödyntämiselle ovat hyvät vähäisen pilvisyyden ja korkean auringonsäteily määrän ansiosta (Renkhoff 2016, 233). Aurinkoenergiajärjestelmien määrä Namibiassa on viime vuosien aikana kasvanut nopeasti ja kasvun odotetaan jatkuvan myös tulevaisuudessa. Arvioiden mukaan eri puolilla Namibiaa on kytketty verkkoon yli 200 aurinkosähköjärjestelmää (Roedern 2015). Yhteensä asennettua aurinkosähkön tuotantokapasiteettia arvioitiin olevan noin 31 MW vuonna 2016, minkä joukossa on myös suuria 5 MW:n voimaloita. Aurinkosähkön lisäksi Namibiassa käytetään myös aurinkolämpöä, esimerkiksi käyttöveden lämmitykseen. Tällä hetkellä suunnitteilla on useita hankkeita liittyen erityisesti sähköntuotantoon aurinkoenergialla.

Uusiutuvan energian projektit Namibiassa keskittyvät pääasiassa aurinkoenergiaan, mutta myös tuulivoimahankkeita on suunnitteilla. Namibian ensimmäinen tuulivoimapuisto on rakenteilla Lüderitzin rannikkokaupunkiin. Kolmen tuulivoimalan nimellisteho on 5 MW, jonka lisäksi Namibiaan on suunnitteilla myös lisää tuulivoimaa. (Lüderitz enters new age 2017.) Tuulivoimaa on käytössä Namibiassa myös pienessä kokuokassa, esimerkiksi maatiloilla käytetään veden pumppaamiseen tuulimyllyjä (Renkhoff 2016, 262).

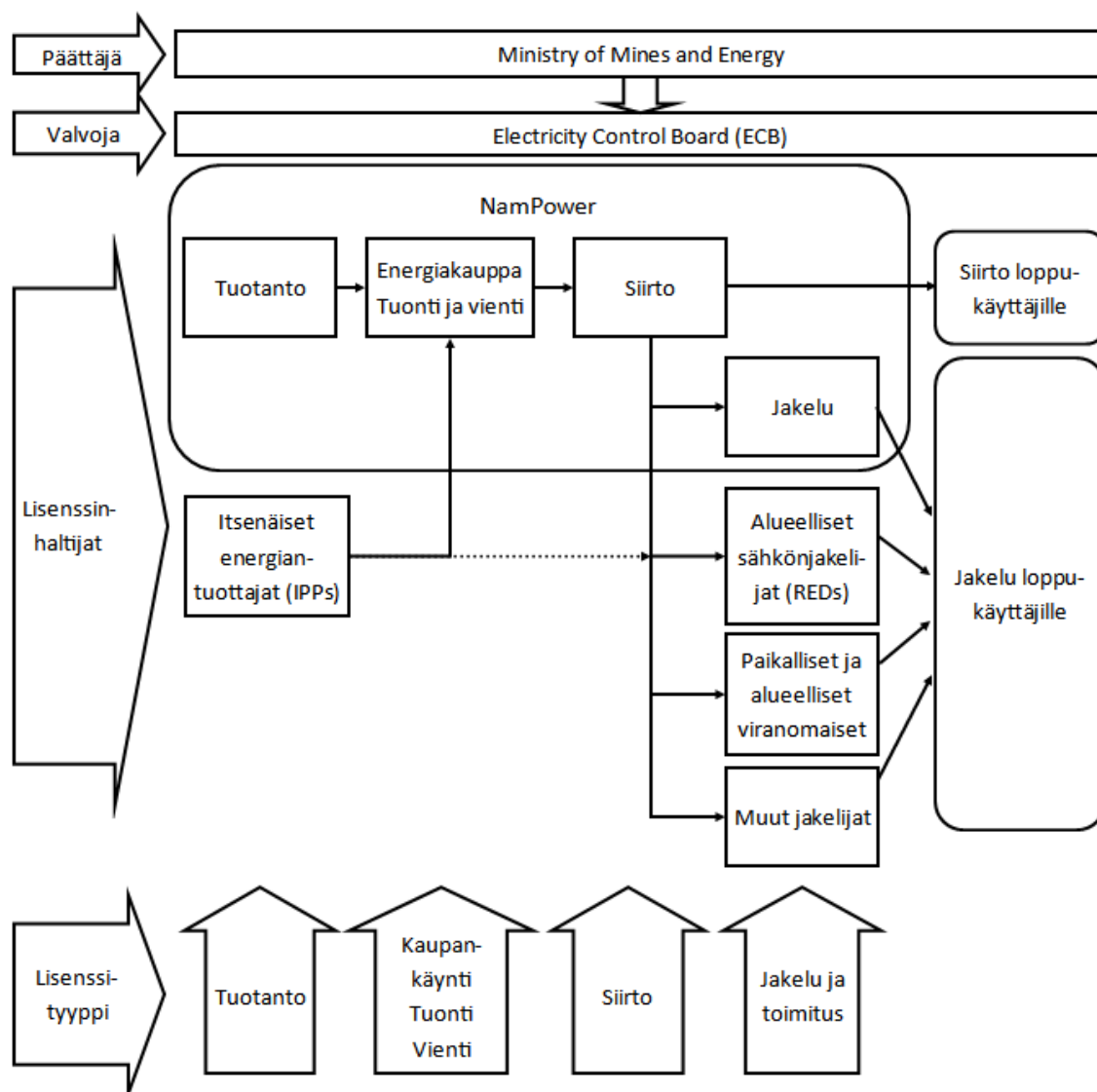
Makean veden niukkuudesta kärsivässä maassa on mahdollisuuksia myös vesivoimalle. Tällä hetkellä Namibian oma sähköntuotanto perustuu yhden suuren vesivoimalan sähköntuotantoon. Pitkän aikavälin projektina Namibiassa on Baynesin vesivoimalan yhteishanke Angolan kanssa. Vesivoimalan arvioidaan tuottavan 350-400 MW ja tuotto jaettaisiin tasan Namibian ja Angolan välillä. Vesivoimalan arvioitu valmistuminen on vuonna 2024. (Renkhoff 2016, 237.)

Namibian biomassavaroja ei ole vielä tunnistettu monipuolisena ja kestäväenä paikallisena energialähteenä kotitalouksien puunpoltoa lukuun ottamatta (von Oertzen 2015, 81). Aavikkoisen maan pohjoisosat ovat kasvillisuudeltaan rehevämpiä kuin eteläosat, ja akaasiapensaat tarjoavat erityisesti pohjoisosissa potentiaalisen biomassan lähteen energiantuotantoon (Krause 2013, 18). Akaasiapuskat ovat nopeasti kasvavia pensaita, joilla on negatiivisia vaikutuksia viljelysmaahan, biodiversiteettiin ja vesivarantoihin Pohjois-Namibiassa. Akaasiapensaiden hyödyntämistä energiantuotantoon tutkitaan. (Krause 2013, 12-13.)

## 4 NAMIBIAN SÄHKÖVERKKO

### 4.1 Sähköntuotanto, -siirto ja -jakelu

Kuvassa 5 nähdään Namibian sähkömarkkinoiden ja eri toimijoiden kokonaisuus. Sähkösektoria säätelevät Ministry of Mines and Energy ja Electricity Control Board (ECB). ECB on itsenäinen sääntelyelin, joka on vastuussa sääntelystä liittyen sähköntuotantoon, tuontiin, vientiin sekä sähkönsiirtoon ja -jakeluun. Lisäksi ECB hyväksyy sähkötariffit ja kehittää tariffijärjestelmiä. Jos haluaa tuottaa, siirtää, tuoda tai viedä sähköä, täytyy olla lisenssi ECB:ltä. Päälisenssinhaltijoita ovat valtionyhtiö NamPower, alueelliset sähköjakelijat (Regional Energy Distributors, REDs) sekä paikalliset ja alueelliset viranomaiset. NamPower on valtion omistama ja sen ydintoimintaan kuuluu sähköntuotanto ja -siirto sekä energiakaupankäynti. NamPower hallinnoi kaikkea sähköntuotantoa ja vientiä sekä toimii järjestelmänvalvojana. Yhtiö toimittaa sähköä mm. kaivoksille ja sähköjakelusta vastaaville tahoille, joista pääasiassa alueelliset sähköjakelijat ovat vastuussa sähköjakelusta loppukäyttäjille. Jos ei ole alueellista sähköjakelijaa, sähköjakelijana toimii paikallinen viranomainen. NamPowerin ja alueellisten sähköjakelijoiden kanssa sovitaan sähköntoimitamisesta verkkoon. (Renkhoff 2016, 240-241; Chiguvare & Iieka 2016, 25-26.)



Kuva 5. Sähköntuotanto, -toimitus ja -jakelu Namibiassa (Chiguvare & Ileka 2016, 26).

Lisäksi kuvaan on merkitty lisenssihaltijoiksi itsenäiset energiantuottajat (Independent Power Producers, IPPs), jotka ovat yksityisiä energiantuottajia. Itsenäinen energiantuottaja voi hakea väliaikaiseen uusiutuvan energian syöttötariffi (Renewable Energy Feed-in Tariff, REFiT) -ohjelmaan, joka on tarkoitettu 500 kW - 5 MW uusiutuvan energian projekteille. Jos tuotanto ylittää 5 MW, itsenäisen energiantuottajan täytyy neuvotella energianostosopimus (Power Purchase Agreement, PPA) NamPowerin tai muun jakelutoimijan kanssa. Tariffit ovat erilaisia eri uusiutuville energiamuodoille.

Toistaiseksi tariffit eivät ole yksistään riittäviä houkuttelemaan itsenäisiä energiatuottajia, joten tariffijärjestelmässä on edelleen kehitettävää. (Renkhoff 2016, 256-257; von Oertzen 2015, 117.)

Nettomittaussäännöt pätevät pieniin, alle 500 kW:n, uusiutuvan energian järjestelmiin. Nettomittaus on kuluttajaperusteinen uusiutuvan energian kannustin kuluttajille, jotka ovat kytketty verkkoon ja jotka omistavat uusiutuvan energian laitteistoja. Mekanismi mahdollistaa sähkön siirtymisen sekä verkosta asiakkaalle että asiakkaalta verkkoon. Kun asiakkaan oma sähköntuotanto ylittää kulutuksen, ylijäämä sähkö syötetään verkkoon. Rahallista kompensatiota ei ole hyväksytty, mutta ylijäämä sähkö siirto verkkoon hyvitetään sähkön ostossa. Tästä johtuen Namibian nykyiset hajautetun tuotannon järjestelmät ovat mitoitettu siten, että ne kattavat vain 60-90 % käyttäjien omasta kulutuksesta. Nettomittauksen säännöt on tarkoitus yhtenäistää koko maassa, sillä toistaiseksi vain osa alueellisista sähköjakelijoista tarjoaa asiakkailleen nettomittausta. (Renkhoff 2016, 260-261; Schütt H. 2016, 45.)

Uusiutuvan energian tukimekanismit ovat yhä kehitteillä Namibiassa. Hallitus on kehittämässä uusiutuvan energian lainsäädäntöä, missä otetaan huomioon uusiutuvan energian edistäminen, markkinoille pääsyn helpottaminen, markkinatukirakenteet ja kannustimet uusiutuvan energian laitoksiin investoiville. (Renkhoff 2016, 255.)

Suunniteltaessa sähkön tuottamista Namibian sähköverkkoon on huomioitava lisäksi laitoksen rakentamiseen liittyvät lupa-asiat, kuten ympäristösertifikaatti (Environmental Clearance Certificate), joka tarvitaan sähköntuotantoon rakennettavalle laitokselle (Van der Berg & Koep 2016, 231).

#### 4.2 Sähköverkon laajuus ja kunto

Namibiassa on melko hyvin kehittynyt sähköverkko verrattuna muihin Afrikan maihin, sillä Namibian on täytynyt mahdollistaa suurten sähkömäärien tuonti maahan. Sähköä tuodaan Namibiaan Etelä-Afrikasta kahden korkeaajännitteisen 400 kV ja 300 kV linjan kautta, joiden kapasiteetit ovat 500 MW ja 200 MW. Kansallisen voimansiirtolinjan

pituus on 15 500 km. Sähköasemat muuntavat sähkön korkeammasta jännitteestä matalampaan jännitteeseen. Jännite on sitä matalampi, mitä lähempänä lopullista sähkökäyttäjää ollaan. (Chiguvare & Iлека 2016, 30.) Sähkövirta Namibiassa on 220 VAC 50 Hz (Namibia Trade Directory 2016, 8).

Sähköverkon laajentaminen harvaan asutulle seudulle on kallista, kun asukkaita on vähän ja heidän sähkönkulutuksensa on vähäistä. Namibian sähkönjakeluverkosto on vanha, ja sähkön hinta nousee jatkuvasti. Syrjäisillä alueilla asuvien ihmisten varallisuus on yleensä rajallinen, jolloin heillä ei ole varaa maksaa sähköstä, mikä entisestään alentaa sähköverkon kannattavuutta. (Schütt 2016, 47; Schütt 2016, 58.) Kuvassa 6 on kartta Namibian sähkönjakelun runkoverkosta, ja kartassa näkyy verkon lisäksi sähköntuotantolaitokset.



Kuva 6. Namibian sähkönjakelun runkoverkko (NamPower 2016, 46).



Hajautettu sähköntuotanto harvaan asutuilla seuduilla voisi olla vaihtoehto yhtenäisen sähköverkon rakentamiselle. Esimerkiksi biokaasu voisi paikata energiantarvetta, kun tuulivoima ja aurinkosähkö eivät tuota riittävästi. Toistaiseksi maaseudun hajautetun sähköntuotannon yleistymisen haasteina ovat palvelun luotettavuus, pitkäaikaishuolto sekä jatkuva maksujen keräys. (Schütt 2016, 42; Electricity Control Board 2009, 13.)

#### 4.3 Sähkönjakelun keskeytykset

Yleisesti Saharan eteläpuolisessa Afrikassa sähköntoimitus on epäluotettavaa ja sähkökatkoja ilmenee usein. Namibiassa sähkökatkoksia tapahtuu kuitenkin harvemmin kuin keskimäärin Saharan eteläpuolisessa Afrikassa (Taulukko 1). Namibian yrityksistä 27 % raportoi sähkökatkoista, kun keskimäärin vertailualueella vastaava luku oli 80 %. Sähkökatkoja Namibiassa tapahtuu 0,6 kertaa tyypillisenä kuukautena ja sähkökatkoksen kesto on keskimäärin 5,8 tuntia. Sähkökatkoksiin on varautunut 18 % Namibian yrityksistä omalla tai jaetulla generaattorilla. Namibian yrityksistä vain 14 % nimesi sähkön merkittäväksi rajoitteeksi, kun vastaava luku Saharan eteläpuolisessa Afrikassa oli 40 %. (World Bank Group: Enterprise Surveys www-sivut 2017.)

Taulukko 1. Yritysten kokemukset sähkökatkoista Namibiassa ja Saharan eteläpuolisessa Afrikassa (World Bank Group: Enterprise Surveys www-sivut 2017).

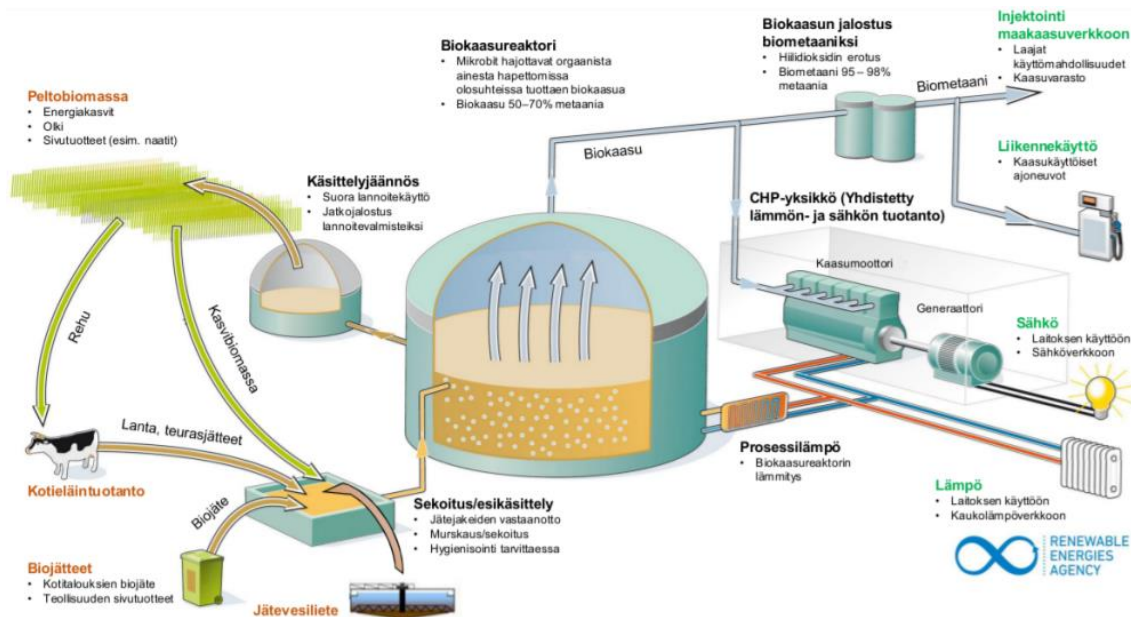
<b>Indikaattori</b>	<b>Namibia</b>	<b>Saharan eteläpuolinen Afrikka</b>
Yritykset, jotka kokevat sähkökatkoja (%)	26,9	80,4
Sähkökatkojen määrä tyypillisenä kuukautena	0,6	8,3
Tyypillisen sähkökatkon keskimääräinen kesto, jos sähkökatkoja esiintyy (tuntia)	5,8	5,4
Keskimääräinen menetys sähkökatkojen takia, jos sähkökatkoja esiintyy (%:vuosittaisesta myynnistä)	4,8	8,2
Yritykset, jotka omistavat tai jakavat generaattorin (%)	18,0	50,9
Generaattorilla tuotetun sähkön osuus keskimäärin, jos generaattoria käytetään (%)	25,5	26,2
Sähköliittymän saamiseen kuluva aika hakemuksen jättämisestä (päiviä)	20,3	36,8
Yritykset, jotka nimesivät sähkön merkittäväksi rajoitteeksi (%)	14,2	39,3

## 5 BIOKAASU

Biokaasua tuotetaan mädättämällä, jolloin orgaaninen aines hajoaa anaerobisissa eli hapettomissa olosuhteissa. Mikro-organismit hajottavat orgaanista ainesta muodostaen biokaasua. Oleellista on mädätysprosessin hapettomuus, sillä jos happea on läsnä, alkaa massa kompostoitua ja hajota biologisesti sitä kautta. Biokaasua muodostuu hallitun laitostuotannon lisäksi myös luonnossa, esimerkiksi soilla, vesistöjen pohjasedimenteissä ja märehitijöiden pötteissä. Lisäksi kaatopaikoilla syntyy biokaasua, kun orgaaninen aines hajoaa hapettomissa oloissa. (Motiva 2013, 3; Kinnunen & Rintala 2015, 10.)

### 5.1 Biokaasun tuotantoprosessi

Biokaasun tuotantoprosessi on havainnollistettu Kuvassa 7. Aluksi syöte yleensä esikäsitellään, minkä tarkoitus on tasata massan koostumusta. Biokaasun tuotanto paranee, kun syötettä murskataan ja hienonnetaan, jolloin pieneliöt saavuttavat hajotettavan aineen paremmin. Esikäsitteilyn jälkeen syöte hygienisoidaan tarvittaessa, ja aines siirretään biokaasureaktoriin, jossa biokaasu tuotetaan. Useat hapettomissa oloissa elävät mikrobit toimivat reaktorissa yhdessä lopulta muodostaen biokaasua (Kymäläinen 2015a, 60). Muodostunut biokaasu kerätään reaktorista ja hyödynnetään energiantuotantoon tai jalostetaan liikennepolttoaineeksi. Prosessin sivutuotteena syntyvää mädätysjäännöstä voidaan käyttää lannoitteena. (Kinnunen & Rintala 2015, 10.)



Kuva 7. Biokaasun tuotantoprosessi (Kinnunen & Rintala 2015, 10).

Biokaasua voidaan tuottaa erilaisissa biokaasureaktoreissa, jotka on suunniteltu optimoimaan anaerobinen hajoamisprosessi. Mädätysprosessit voidaan jakaa eri tyyppisiin syötön (jatkuva tai panostaminen), raaka-aineen kosteuspitoisuuden (kuiva- tai märkämädätys) ja prosessin lämpötilan (psykrofiilinen, mesofiilinen tai termofiilinen) perusteella. Mädätysprosessia voidaan kuvata myös kokoluokan perusteella, esimerkiksi pienet kotitalouslaitokset tai suuret teollisuuslaitokset. (Roopnarain & Adeleke 2017, 1163-1164.)

## 5.2 Biokaasun muodostuminen kaatopaikoilla

Kaatopaikat voidaan mieltää suuriksi biokaasulaitoksiksi sillä erotuksella, että hajoamisprosessi ei ole jatkuva ja hajoamisprosessi riippuu kaatopaikan iästä. Kaatopaikalla orgaaninen jäte hajoaa anaerobisissa oloissa muodostaen metaania ja hiilidioksidia. Kaatopaikoilla muodostuvan biokaasun koostumus on samankaltainen kuin biokaasureaktoreissa tuotetun biokaasun, mutta kaatopaikalla hajoavista jättemateriaaleista muodostuvan kaasun koostumus on vaikeammin hallittavissa. Keräämällä kaatopaikoilta saatava biokaasu talteen voidaan vähentää metaanipäästöjä, kun kaasu hyödynnetään energiantuotannossa. (Al Seadi ym. 2008, 39.)

### 5.3 Biokaasun tuotantoprosessin hallinta

Korkea ja tasainen biokaasuntuotto saavutetaan hyvällä prosessin hallinnalla. Prosessin hallinta lähtee syötetuntemuksesta sekä sopivan syöteseoksen valinnasta. (Kymäläinen 2015a, 71.) Biokaasulaitoksen prosessin hallinnan keskeisin tehtävä on suotuisien olosuhteiden ylläpito mikrobeille, sillä muuten biokaasun tuotantoprosessi pysähtyy. Toimiva biokaasun tuotantoprosessi vaatii suotuisat olosuhteet, joihin kuuluvat prosessin hapettomuus, sopiva pH-arvo ja tasainen lämpötila (Gustafsson & Stoor 2008, 8; Kymäläinen 2015a, 63).

#### 5.3.1 Lämpötila

Biokaasun tuotantoprosessit voidaan jakaa lämpötilan perusteella psykrofiilisiin, mesofiilisiin ja termofiilisiin prosesseihin. Psykrofiilisessä prosessissa lämpötila on alle 25 °C, mesofiilisen prosessin lämpötila on 35-45 °C ja vastaavasti termofiilisen 50-55 °C. (Kymäläinen 2015a, 63-64.) Korkea lämpötila yleensä nopeuttaa biologisia ja kemiallisia reaktioita, kuten biokaasun muodostumista. Alle 25 °C lämpötilassa metaanintuotto on hidasta ja kaasua syntyy vähän. Termofiilinen prosessi korkeamman lämpötilansa vuoksi on nopeampi kuin mesofiilinen prosessi, jossa materiaali hajoaa hitaammin. Termofiiliset prosessit ovat kuitenkin herkempiä häiriöille kuin mesofiiliset. Vaikka lämpötilalla on merkitystä prosessin toiminnalle, niin etenkin lämpötilan tasaisuus on tärkeää biokaasua tuottaville mikrobeille. Hitaisiin olosuhdemuutoksiin mikorbit ehtivät sopeutua paremmin kuin nopeisiin muutoksiin. (Motiva 2013, 5-6.)

Biokaasureaktorin eristäminen ja lämmittäminen saattavat olla tarpeen riippuen ulkoilman lämpötilasta. Käytännössä lämmittäminen voidaan toteuttaa esimerkiksi reaktorilämmityksellä ja/tai syötteen esilämmityksellä. Lämpimän ilmaston alueilla reaktorista on mahdollista tehdä itsestään lämpiävä hyvällä eristyksellä sekä syötteen korkealla hiilihydraatti- ja kuiva-ainepitoisuudella. (Motiva 2013, 5; Kymäläinen 2015a, 64.)

### 5.3.2 pH-arvo

Biokaasureaktorin pH-arvo on yleensä lähellä neutraalia, noin 7-8. Eri mikrobien erilaisten optimaalisten pH-arvojen vuoksi koko prosessin pH on sellainen, jossa kaikki mikrobit kykenevät toimimaan. Samoin kuin lämpötilamuutosten kanssa, mikrobit eivät siedä suuria pH-arvojen vaihteluita. pH pysyy tasaisena hyvin toimivassa biokaasureaktorissa, sillä hyvin toimivalla reaktorilla on kyky neutraloida happoja eikä pH pääse nousemaan. pH-arvoon biokaasureaktorissa vaikuttaa syöte ja siitä syntyvät hajoamistuotteet sekä hiilidioksidin osapaine. Käytännössä biokaasureaktorin pH asettuu sopivalle tasolle luonnostaan, mutta häiriötilanteissa voidaan tarvita pH-säätöä. (Kymäläinen 2015a, 65-66.)

### 5.3.3 Haitalliset aineet

Anaerobiselle hajoamiselle haitallisia aineita tulee prosessiin syötteen mukana tai syötteen biologisen hajoamisen seurauksena. Biokaasun muodostumisprosessia voivat haitata liian suuret pitoisuudet esimerkiksi antibiootteja, kasvimyrkkyjä, desinfiointiaineita, suoloja ja raskasmetalleja. Raskasmetallit voivat aiheuttaa ongelmia prosessissa jo pieninä pitoisuuksina. Antibiootit hajoavat lannasta päivien tai viikkojen kuluessa, jolloin lyhyehkö säilytys riittää ennen lannan syöttämistä reaktoriin. Aineiden haitallisuuteen vaikuttavat lopulta aineen sitoutuminen, mikrobien kyky sopeutua haitallisiin pitoisuuksiin sekä ympäristön olosuhteet, kuten reaktorisäädön koostumus, lämpötila ja pH. (Kymäläinen 2015a, 67; Motiva 2013, 7.)

### 5.3.4 Sekoitus

Mädätettävän materiaalin sopiva sekoittaminen parantaa biokaasun tuotantoa päästäten mikrobit kosketuksiin hajotettavan materiaalin kanssa. Toisaalta liiallinen sekoitus saattaa jopa heikentää kaasuntuottoa ja lisäksi sekoittaminen kuluttaa energiaa. Sekoittaminen ehkäisee kuitenkin saostumien muodostumista biokaasureaktorin pohjalle. Raskaampi materiaali, kuten hiekka, painuu pohjalle reaktorissa ja ajan myötä ylimääräinen aines pienentää reaktorin tilavuutta, ellei materiaalia poisteta. (Motiva 2013, 12-13.)

### 5.3.5 Viipymä

Jotta orgaaninen aines hajoaisi täydellisesti, vaatii se aineksen pitkän viipymäajan biokaasureaktorissa. Tämä kuitenkin tarkoittaa suurta säiliötilavuutta, mikä kasvattaa investointi- ja käyttökuluja. Biokaasulaitos on siis kompromissi investointikustannusten ja aineksen mädätysasteen suhteen. Viipymäaikaan vaikuttaa ennen kaikkea syötteen koostumus. Helposti hajoavalle syötteelle, kuten jätevesille, riittää 1-2 vrk viipymä halutun hajoamisasteen ja biokaasuntuoton saavuttamiseksi. Kuitumainen aines, kuten peltobiomassa, hajoaa hitaasti ja viipymäaika on yleensä 30-50 vrk. Biojätteen, lietteen ja lannan hajoaminen kestää noin 15-30 vrk. Sopivaan viipymäaikaan vaikuttavat syöte, olosuhteet, reaktortyyppi ja prosessin tavoite. (Kymäläinen 2015a, 74.)

### 5.4 Biokaasun koostumus

Biokaasu koostuu pääosin metaanista ja hiilidioksidista, mutta se sisältää pieniä määriä muita kaasuja, kuten typpeä, happea ja rikkivetyä. Taulukosta 2 nähdään biokaasun tyypillinen koostumus. Biokaasun koostumus kuitenkin riippuu voimakkaasti syötteestä, ja esimerkiksi kaatopaikkakaasun koostumus on erilainen kuin biokaasulaitoksessa tuotetun reaktorikaasun. (Lampinen & Rautio 2015, 127-128.)

Taulukko 2. Tyypillinen reaktorikaasun koostumus (Lampinen & Rautio 2015, 128).

Yhdiste	Raaka reaktorikaasu
Metaani (CH <sub>4</sub> )	45-75 til-%
Hiilidioksidi (CO <sub>2</sub> )	20-55 til-%
Typpi (N <sub>2</sub> )	0-2 til-%
Hiilimonoksidi (CO)	0-0,2 til-%
Happi (O <sub>2</sub> )	0-1 til-%
Vety (H <sub>2</sub> )	0-0,5 til-%
Rikkivety (H <sub>2</sub> S)	< 0,8 til-%
Ammoniakki (NH <sub>3</sub> )	0-3 mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>
Siloksaanit	0-5 mg/m <sup>3</sup> <sub>n</sub>

Kaasumaisten aineiden lisäksi biokaasussa saattaa esiintyä esimerkiksi siloksaaneja, jotka aiheuttavat ongelmia kaasun moottorikäytössä. Siloksaaneja käytetään mm. hius- ja kosmetiikkatuotteissa, joista niitä kulkeutuu esimerkiksi jätevesiin. Tyypillisesti siloksaaneja esiintyy biokaasussa, jonka syötteenä on käytetty lietettä jätevedenpuhdistamoilta. (Latvala 2009, 40.) Lisäksi kaatopaikkakaasu sisältää siloksaaneja (Lampinen & Rautio 2015, 132).

## 5.5 Syöte

Biokaasun tuotannon syötteenä soveltuvat erilaiset orgaaniset raaka-aineet, kuten maatalouden, teollisuuden ja yhdyskunnan jätteet ja sivutuotteet. Biokaasun tuotantoon sopivia syötteitä voidaan yhdistää, jolloin saadaan hyödynnettyä pieniäkin biomassalähteitä. Esimerkiksi peltobiomassat, karjan lanta, elintarviketeollisuuden jätteet ja paikallinen vedenpuhdistus voidaan yhdistää tuottamaan biokaasua yhteiskäsittelylaitoksella. (Gustafsson & Stoor 2008, 7, 22.)

Vaikka periaatteessa kaikki orgaaninen aines on mahdollista mädättää, biokaasuteknologia soveltuu parhaiten helposti hajoaville materiaaleille. Hiilihydraatteja, rasvoja ja proteiineja sisältävät materiaalit hajoavat suhteellisen nopeasti, jolloin ne soveltuvat hyvin biokaasun tuotantoon (Kymäläinen 2015b, 21). Puu sopii huonosti biokaasun tuotantoon sen sisältämän runsaan ligniinin vuoksi. Ligniini ei hajoa mädätysprosessissa, mutta se voidaan kuitenkin esikäsittelyvaiheessa hajottaa entsyymien, happojen ja emästen tai lämmön avulla. Esimerkiksi olkea voidaan hyödyntää biokaasulaitoksissa, mutta se hajoaa hitaammin kuin biojäte, sillä olki sisältää hieman ligniiniä. (Lampinen 2015, 194-195.)

Biokaasulaitoksen syötteen valintaan vaikuttavat pääasiassa niiden sopivuus ja saatavuus. Sopivaa syötettä on hyvä olla saatavilla lähistöltä ympäri vuoden. Syötteen valinta on merkittävä tekijä prosessin toimivuuden, biokaasutuoton ja mädätysjäännöksen laadun kannalta. (Kymäläinen 2015b, 23.) Prosessin toimivuuteen vaikuttaa olosuhteiden tasaisuus, sillä mikrobien toiminta häiriintyy olosuhteiden muuttuessa. Esimerkiksi syötteen koostumus vaikuttaa mikrobistoon, jolloin muutokset syötteenä



häiritsevät prosessia (Kymäläinen 2015a, 60). Biokaasutuotto ja kaasun metaanipitoisuus riippuvat syötteen koostumuksesta. Esimerkiksi syöte, joka sisältää paljon rasvaa, tuottaa korkeamman metaanipitoisuuden kuin paljon hiilihydraatteja sisältävä syöte. Ruuantähteet, teurasjäte tai lietelanta tuottavat suuremman biokaasun metaanipitoisuuden mädätysprosessissa kuin peltokasvit. (Motiva 2013, 10.)

## 5.6 Kokoluokat

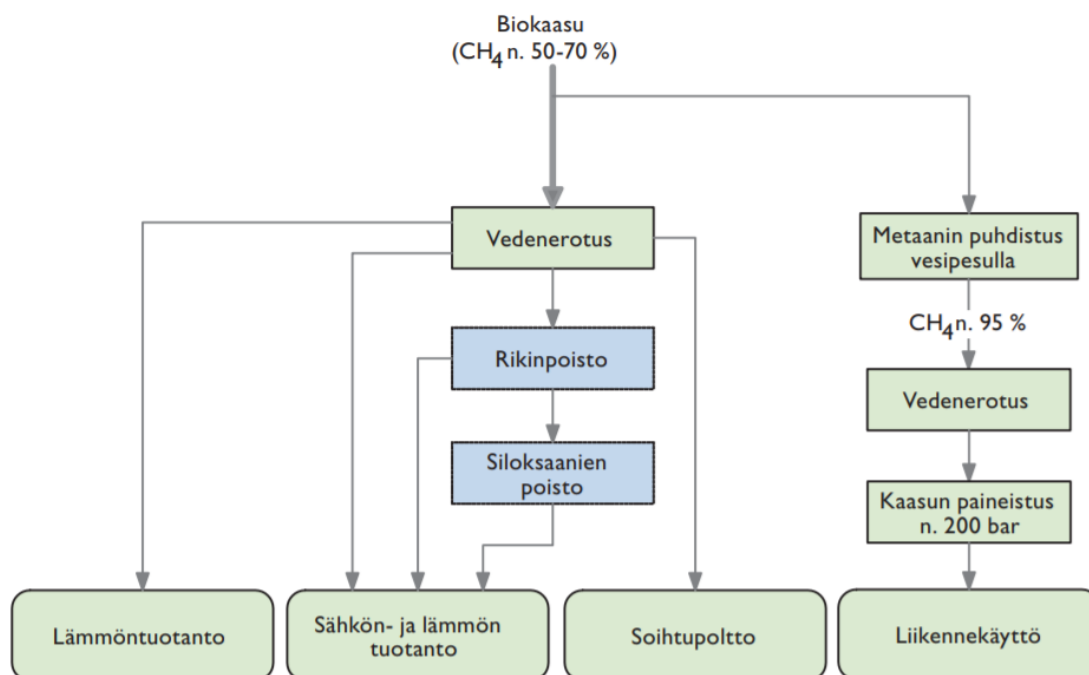
Biokaasulaitos on mahdollista toteuttaa useissa eri mittakaavoissa. Kehittyvissä maissa yleisiä ovat kotitalouskohtaiset pienlaitokset, joissa kotitalouden, pienviljelyn ja kotieläinten jätteet johdetaan pieneen biokaasureaktoriin. Tuotetusta biokaasusta saadaan energiaa ruuanlaittoon sekä valaistukseen, ja mädätysjäännös hyödynnetään lannoitteena pienviljelyssä. (Luostarinen 2015, 89.) Nepalissa, Kiinassa ja Intiassa, on toiminnassa miljoonia kotitalouskokoluokan biokaasulaitoksia, joissa hyödynnetään yksinkertaista tekniikkaa. Biokaasureaktorit ovat yksinkertaisia, edullisia, helppoja käyttää sekä huoltaa, ja ne voidaan rakentaa paikallisesti tuotetuista materiaaleista. Yleensä laitoksissa ei ole säätölaitteita eikä prosessilämmitystä, vaan prosessi on psykoofiilinen tai mesofiilinen toimintalämpötilaltaan. Useat näistä reaktoreista toimivat lämpimissä ilmastoissa ja pitkillä viipymäajoilla. (Al Seadi ym. 2008, 30-31.) Näillä reaktoreilla on kuitenkin rajoituksensa, kuten sekoituksen puuttuminen sekä hiekan ja muun hajoamatonta materiaalia poiston puuttuminen, jolloin prosessi täytyy pysäyttää materiaalin poistoa varten. (Amigun ym. 2012, 43-44.)

Maatilakohtainen biokaasulaitos on kotitalouslaitosta suurempi. Maatilalaitoksilla syötteenä käytetään yleensä oman tilan lantaa sekä kasvintuotannon jätteitä ja sivuvirtoja. Biokaasu ja mädätysjäännös hyödynnetään tilalla. Maatilat voivat perustaa myös yhteisen biokaasulaitoksen. Suuren kokoluokan keskitetyt biokaasulaitokset ovat usein erillisen toimijan, joka ottaa maksua vastaan erilaisia syötteitä ja myy tuotetun energian sekä myy tai jatkojalostaa mädätysjäännöksen. (Luostarinen 2015, 89.)

## 5.7 Biokaasun käyttö

Monikäyttöisellä biokaasulla voidaan tuottaa esimerkiksi lämpöä, sähköä ja liikennepolttoainetta. Metaanin korkean energiasisällön takia biokaasua hyödynnetään yleensä energiantuotannossa. Tärkeää on huomioida biokaasun käyttömahdollisuudet laitoksen sijoituspaikan läheisyydessä. (Latvala 2009, 44.)

Biokaasu sellaisenaan raakakaasuna ei yleensä sovellu hyödynnettäväksi vaan biokaasu puhdistetaan ennen sen hyötykäyttöä, jotta sen laatu täyttää hyödyntämislaitteiston vaatimukset. Biokaasu sisältää aina kosteutta, joka poistetaan ennen hyötykäyttöä. Sähkön ja lämmön yhteistuotannossa ongelmia aiheuttavat siloksaanit sekä rikkivety. (Latvala 2009, 41.) Rikkivedyn pitoisuutta on yleensä pienennettävä ennen biokaasun polttamista, sillä kaasukattiloihin ja moottoreihin tulee syöpymisvaurioita korkeista rikkivetypitoisuuksista (Motiva 2013, 11). Kuvassa 8 nähdään biokaasun yleisimmät käsittelytavat eri käyttötarkoituksia varten.



Kuva 8. Yleisimmät käsittelytavat ja käyttötarkoitukset biokaasulle (Latvala 2009, 42).

Rikkivetyä voidaan poistaa lisäämällä pieni määrä ilmaa biokaasureaktoriin, jolloin bakteerit hapettavat rikkivedyn alkuainerikiksi. Toisena keinona rikkivedyn poistamiseen voidaan käyttää rautaa, joka lisätään prosessiin sitomaan rikkiä. Siloksaanien poistaminen biokaasusta on kuitenkin hankalaa. Vesipesu poistaa siloksaaneja, mutta ainoastaan siloksaanien poistoon vesipesuri on kallis investointi. Kun biokaasua jalostetaan liikennekäyttöön, on vesipesu yksi jalostustekniikoista, ja vesipesu poistaa muiden epäpuhtauksien yhteydessä myös siloksaaneja. (Latvala 2009, 42-43.)

Soihtupolttot on biokaasulaitoksella vararatkaisu häiriö-, huolto- tai ylituotantotilanteisiin. Kun biokaasu poltetaan soihdussa eikä päästetä suoraan ilmakehään, vähennetään metaanin kasvihuonekaasuvaikutuksia. (Latvala 2009, 48.)

#### 5.7.1 Lämmön- ja sähköntuotanto

Yksinkertaisimmillaan biokaasu voidaan polttaa kaasukattilassa lämmitystarkoitukseen tai kaasua voidaan käyttää ruuanlaiton energialähteenä. Lämpökattiloilla voidaan tuottaa keskuslämpöä tai kaukolämpöä, mutta myös prosessilämpöä teollisuuteen. Lisäksi muita sovelluksia ovat veden lämmitys, veden puhdistus ja viljan sekä muiden tuotteiden kuivaaminen. Maailmanlaajuisesti yleisin biokaasun hyödyntämislaitte on kaasua polttava keitin (Kuva 9), jossa poltetaan kylä- ja kotitalouskokoluokan biokaasureaktoreiden kaasua. Keittimet ovat yleisiä kehittyvissä maissa. (Lampinen & Rautio 2015, 150-151.)



Kuva 9. Biokaasun keitinkäyttöä kotitalouskokoluokan biokaasureaktorin yhteydessä Nepalissa. Kuva: Ari Lampinen (Kuva julkaistu Ari Lampisen luvalla). (Lampinen & Rautio 2015, 151.)

Pelkän lämmöntuotannon lisäksi biokaasu soveltuu lämmön ja sähkön yhteistuotantoon CHP-laitoksissa (Combined Heat and Power), joissa sähköntuotannon hukkalämpö hyödynnetään. CHP-laitoksissa biokaasu poltetaan kaasukäyttöön soveltuvassa moottorissa, ja moottori pyörittää sähköverkkoon kytkettyä generaattoria. Lämpöä voidaan ottaa talteen moottorin jäähdytysjärjestelmästä sekä pakokaasuista. CHP-laitoksissa käytetään yleensä moottoreita tai turbiineja. Raakakaasun puhdistusvaatimukset vaihtelevat eri moottoreiden ja turbiinien välillä. (Lampinen & Rautio 2015, 153.)

CHP-voimalaitoksen tuottamasta energiasta noin 65 % on lämpöä ja 35 % sähköä. Laitoksen taloudellisen kannattavuuden ja energiatehokkuuden takia tuotetun lämmön hyödyntäminen kannattaa suunnitella. Esimerkiksi biokaasureaktorin lämmittämiseen voidaan käyttää osa lämmöstä, ja loppuosa lämmöstä voidaan käyttää laitoksen ulkopuolella. Pelkkä sähkön myyminen ei useimmiten ole taloudellisesti kannattavaa. Näin ollen CHP-laitos kannattaa sijoittaa sinne, missä lämmölle on tasaisesti käyttöä. (Al Seadi ym. 2008, 42-43.)

Kun biokaasu hyödynnetään lämpönä tai sähköinä, energia muuttuu muotoaan ja syntyy häviöitä. Biokaasun lämmöntuotannon hyötysuhde on yleensä korkea, kun taas sähköntuotannon hyötysuhde on matala. Hyötysuhde riippuu kuitenkin käytettävästä laitteistosta. Biokaasua liikennekäyttöön jalostettaessa lopulliseen hyötysuhteeseen vaikuttavat myös ajoneuvon ominaisuudet. (Latvala 2009, 45-46.)

### 5.7.2 Liikennepolttoaine ja muu käyttö

Biokaasusta saadaan kaasukäyttöisiin ajoneuvoihin soveltuvaa polttoainetta, kun se jalostetaan biometaaniksi. Jalostusprosessissa biokaasusta poistetaan hiilidioksidi ja epäpuhtauksia, jolloin kaasun metaanipitoisuus nousee 95-98 prosenttiin. Biometaani on verrattavissa maakaasuun, sillä molemmat koostuvat suurelta osin metaanista. Käyttöä varten biometaani yleensä paineistetaan ja se voidaan syöttää joko paineistettuun säiliöön tai maakaasuverkkoon. (Kinnunen & Rintala 2015, 17; Gustafsson & Stoor 2008, 7.)

Lämmityksen, sähköntuotannon ja liikenteen polttoainekäytön lisäksi biokaasua voidaan käyttää valaistukseen, jäädytykseen, mekaanisena energiana, kaasuseoskäyttöön sekä epäsuoraan energiakäyttöön (Lampinen & Rautio 2015, 161). Mekaanisena energiana biokaasua voidaan käyttää esimerkiksi puhaltimiin ja pumppuihin suoraan kytkettyjen moottoreiden avulla. Sähköttömällä alueilla suora mekaaninen käyttö on etu, kun biokaasua voidaan hyödyntää ilman sähköä. (Lampinen & Rautio 2015, 163.)

### 5.8 Määtysjäätös

Biokaasun tuotannossa syntyy biokaasun lisäksi määtysjäätöstä, joka sisältää prosessissa hajoamatonta materiaalia sekä mikrobimassaa. Syötteen sisältämät ravinteet, kuten fosfori ja typpi, ovat määtysjäätöksessä. Ravinteikas määtysjäätös soveltuu hyödynnettäväksi maanparannusaineena ja lannoitteena. (Kinnunen & Rintala 2015, 18.)

Mädätysjäännöksen koostumukseen vaikuttavat biokaasuprosessin syötettävät raaka-aineet, prosessiolosuhteet sekä käytetty tekniikka. Syötteen ominaisuudet, kuten ravinnepitoisuudet, mahdolliset haitta-aineet ja biologinen hajoaminen pitää tuntea mädätysjäännöksen käyttökohteita harkittaessa. Biokaasuprosessi on myös hygienisointiprosessi: se tuhoaa rikkakasvien siemeniä ja taudinaiheuttajia. (Luostarinen 2015, 94-95.) Mädätysjäännöksen käyttömahdollisuuksia saattavat rajoittaa lannoitekäytön laatuvaatimukset, jolloin on huomioitava esimerkiksi syötteen sisältämät mahdolliset haitalliset aineet. Erityisesti jätepohjaiset syötteen saattavat sisältää haitallisia aineita, ja esimerkiksi raskasmetallit kertyvät mädätysjäännökseen. (Kymäläinen 2015b, 22-23.)

## 5.9 Biokaasulaitoksen kannattavuus

Biokaasulaitoksen taloudellinen kannattavuus koostuu suurista investointikuluista, joistakin käyttö- ja kunnossapitokuluista, ilmaisista tai edullisista syötemateriaaleista sekä biokaasun, sähkön ja lämmön sekä lannoitteen myyntituloista. Biokaasulaitoksen kannattavuudelle tärkeää on biokaasun käyttö mahdollisimman lähellä tuotantopaikkaa, sillä kaasun siirtäminen putkissa aiheuttaa häviöitä ja paineistaminen tuo lisäkustannuksia. Kotitalouksissa käyttö tapahtuisi talossa ja biokaasureaktori olisi lähellä taloa. Syötettä olisi hyvä olla saatavilla läheltä vuoden ympäri, jotta voidaan minimoida syötteen kuljetuksesta aiheutuvia kustannuksia. Jos biokaasua käytetään lämmön ja sähkön yhteistuotantoon, on kannattavuuden kannalta tärkeää, että lämpö hyödynnetään.

Biokaasun tuotannon kannattavuuteen vaikuttavat lisäksi vastaavan fossiilisen polttoaineen hinta sekä tuodun polttoaineen korvaamisesta saatava hyöty (Amigun ym. 2012, 42). Muita arvoja ovat esimerkiksi mädätysjäännöksen lannoitekäyttö. Jos taloudellisen kannattavuuden rinnalle otetaan huomioon muita asioita, kuten työllistäminen, tuonnin korvaaminen, energiavarmuus ja ympäristön suojeleminen, on biokaasuteknologia yleensä kannattavaa (Amigun ym. 2012, 45). Yksittäisen laitoksen kannattavuus vaihtelee voimakkaasti ja kannattavuuden arviointi vaatii selvityksen kustannusten ja tulojen jakautumisesta.

## 6 BIOKAASUN TUOTANNON SOVELTUVUUS NAMIBIAAN

### 6.1 Syötemahdollisuudet Namibiassa

Namibian teollinen elintarvikeala keskittyy lihan- ja kalanjalostukseen, maidontuotantoon sekä panimotoimintaan (Namibia Trade Directory 2016, 10). Biokaasun tuotantoon voitaisiin hyödyntää Namibiassa esimerkiksi teurastamojätettä, jätevesiä sekä jätevesilietteitä, panimojätettä sekä karjanlantaa maitotiloilta ja karjan juomapaikoilta. (Nehrenheim, Klintenberg & Odlare 2011.)

Maatalouden orgaaniset jätteet soveltuvat biokaasun tuotannon syötteeksi. Orgaanisia jätteitä ja sivuvirtoja syntyy niin kasvinviljelyssä kuin karjataloudessa. Namibiassa yleisin maanviljelysmuoto vuonna 2011 oli kasvinviljely, jota harjoitti 33 % kaikista kotitalouksista (Namibia Statistics Agency 2011, 69). Viljelykasveina ovat mm. maissi, helmihirssi, vehnä, durra, maapähkinät, auringonkukan siemenet ja puuvilla. Viljeltäviin hedelmiin ja vihanneksiin kuuluvat mm. sitruhedelmät, taateli, viinirypäle, kaali, tomaatti ja peruna. Lisäksi Namibiassa kasvatetaan lehmii, nautoja, lampaita, vuohia sekä siipikarjaa. Karjan kasvatus perustuu yhteisillä alueilla laiduntamiseen. Laiduntavien eläinten jätöksien kerääminen biokaasun tuotannon syötteeksi on haastavampaa kuin esimerkiksi navetoista, joissa lanta kerätään yhteen paikkaan. (Government of the Republic of Namibia.) Karjan lannassa on kuitenkin biokaasupotentiaalia, sillä maassa oli noin 222 000 lehmää vuonna 2012 (Roopnarain & Adeleke 2017, 1174).

Suurimmat kaupungit Namibiassa tuottavat kymmeniä tuhansia tonneja biohajoavaa jätettä vuosittain, mutta orgaaninen jäte päätyy kaatopaikoille, aavikolle tai kunnalliselle jätevedenpuhdistamolle. Biojäte soveltuu biokaasun tuotannon syötteeksi, mutta erilliskeräilyn puute tekee biojätteen hyödyntämisestä hankalaa. Kaatopaikoilta on kuitenkin mahdollista kerätä kaatopaikkakaasua, joka voidaan muuntaa energiaksi. (Nehrenheim, Klintenberg & Odlare 2011; Electricity Control Board 2009, 8.)

Kala on Namibian tärkeimpiä vientituotteita ja esimerkiksi satamakaupunki Walvis Bayssä toimii seitsemän suurta kalankäsittelylaitosta ja lisäksi pieniä tehtaita on useita

(Keinänen-Toivola 2016, 10). Kalanjalostuslaitokset tuottavat jonkin verran biokaasun tuotantoon soveltuvaa orgaanista perkuujätettä, jota löytyy esimerkiksi laitoksen jätevesistä. Tehokkaan biokaasuntuotannon saavuttamiseksi kalajätteeseen tulisi sekoittaa muuta orgaanista jätettä, joka voi tulla esimerkiksi panimoista tai muusta elintarviketeollisuudesta. Yhteistyö eri toimijoiden kesken mahdollistaisi riittävän syötteen saatavuuden. (Rämä & Koponen 2016, 19-20.)

Etelä-Namibiassa on riittävästi syötteitä saatavilla yhden tai useamman biokaasulaitoksen toimintaa varten vuonna 2011 tehdyn tutkimuksen mukaan. Tutkimus tehtiin kolmessa kaupungissa (Keetmanshop, Mariental ja Reboth), joissa tarkasteltiin alueen biokaasun tuotantoon soveltuvien syötteiden lähteitä. Kolme potentiaalista biokaasun tuotantopaikkaa olivat tutkimuksen mukaan maitotila, teurastamo sekä yhdyskuntajätteen keräyspaikka. (Nehrenheim, Klintonberg & Odlare, 2011.)

## 6.2 Biokaasun tuotannon nykytila Namibiassa ja Afrikassa

Biokaasun tuotantolaitoksia on Namibiassa toistaiseksi (2017) hyvin vähän ja tietoa laitosten määrästä tai toimivuudesta on heikosti saatavilla. Tiedetään, että Namibiassa on rakennettu joitakin biokaasun tuotantolaitoksia mm. kaupallisille maatiloille, jätevedenpuhdistamolle ja kyläyhteisön käyttöön. Kaupallisten maatilojen biokaasulaitokset ovat kokoluokaltaan pieniä, mutta tietoa niiden toiminnasta ei ole saatavilla (Roopnarain & Adeleke 2017, 1165).

Jätevedenpuhdistamolla Windhoekissa on metaanin talteenotto toiminut vuodesta 2013 alkaen. Aiemmin syntynyt biokaasu on vapautunut suoraan ilmakehään. Biokaasun keräyssysteemi korjattiin ja uusittiin, jonka jälkeen viisi umpinaista biokaasureaktoria tuottaa noin 3000 m<sup>3</sup>/vrk biokaasua. Kahden CHP-moottorin on arvioitu tuottavan noin 245 kW sähköä ja 500 kW lämpöä. Tuotettua sähköä ja lämpöä hyödynnetään jätevedenpuhdistamon toimintaan. Kaupungin kaatopaikalla on suunniteltu kerätyn metaanin hyödyntämistä sähköksi. Kaatopaikalla on kaasun keräysputkisto ja kaatopaikkakaasu poltetaan, jolloin metaani muuttuu vähemmän haitalliseksi hiilidioksidiksi. Tulevaisuudessa on suunniteltu, että kaasulla tuotetaan sähköä valtakunnan verkkoon. (Krause 2013, 9-10.)



Pienituloisen väestön asuinalueelle Hentis Bayn kaupunkiin toteutettiin biokaasulaitosprojekti. Hankkeessa koulutettiin paikallisia biokaasureaktoreiden tärkeydestä ja kunnossapidosta sekä yksi yhteisön jäsen koulutettiin rakentamaan kotitalouskokuolo-kan biokaasureaktori. Neljässä biokaasureaktorissa käytettiin syötteenä keittiöjätettä sekä jätevettä sakokaivosta. Haasteena projektissa ilmenivät hajuhaitat, vaihtoehtoisen syötteen puuttuminen yhteiskäyttöön jäteveden kanssa sekä omistajuuden puute, mitkä johtivat lopulta reaktoreiden rappeutumiseen. (Namwoonde 2013.)

Namibian biokaasun tuotantotilanne on melko samanlainen naapurimaiden ja koko Afrikan tilanteen kanssa. Joitakin biokaasulaitoksia on rakennettu useisiin eteläisen Afrikan maihin, ja nämä laitokset hyödyntävät teurastamojätettä, yhdyskuntajätettä, teollisuuden jätteitä, eläinten lantaa sekä ihmisten jätöksiä. Kotitalouskokuolo-kan biokaasulaitoksissa syötteenä käytetään yleensä kotieläinten lantaa, ja tuotettu biokaasu käytetään useimmiten ruuanlaittoon sekä jonkin verran myös valaistukseen. Vaikka pieniä biokaasulaitoksia on rakennettu ympäri Afrikkaa, vain harvat niistä ovat yhä toiminnassa. On olemassa joitakin maakohtaisia esimerkkejä esimerkiksi Tansaniasta, Norsunluurannikolta ja Burundista, missä biokaasua tuotettiin eläinten ja ihmisten jä-töksistä käyttäen yksinkertaisia ja edullisia reaktoreita. Monissa tapauksissa nämä re-aktorit eivät olleet luotettavia, ja laitokset toimivat vain lyhyen ajan heikon teknisen laadun vuoksi. Afrikassa on siis tarvetta tehokkaille biokaasureaktoreille, jotka sekä parantavat biokaasun tuottoa että biokaasuteknologian mainetta. Suuren mittakaavan biokaasulaitosteknologia on Afrikassa vielä alkuvaiheessa, mutta paljon potentiaalia on myös suurille laitoksille. (Amigun ym. 2012, 39-40; Amigun ym. 2012, 51.)

### 6.3 Hyödyt

Biokaasun tuotanto ja sen hyödyntäminen tarjoavat etuja niin talouden, yhteiskunnan kuin ympäristönkin näkökulmasta. Biokaasun tuotanto parantaa elintasoja ja vaikuttaa taloudelliseen ja sosiaaliseen kehitykseen, esimerkiksi lisäämällä työpaikkoja.

Biokaasua voidaan käyttää monipuolisesti kaasuna, hyödyntää lämmöksi, muuntaa sähköksi sekä jalostaa liikennepolttoaineeksi. Biokaasu on uusiutuvaa energiaa ja, kun

biokaasulla korvataan fossiilisia polttoaineita, voidaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja sitä kautta hillitä ilmaston lämpenemistä. Uusiutuvan energian, kuten biokaasun, lisäämisellä Namibia voi kasvattaa energiaomavaraisuuttaan ja vähentää riippuvuutta tuontienergiasta. Energian saannin turvaaminen on merkittävä etu myös yksittäisten ihmisten kohdalla, ja biokaasu voi olla yksi vaihtoehto maaseudun energian tarpeen kattamiseksi. Kotitaloudet, joilla on kokemusta kaasun käytöstä ruuanlaitossa ja lämmityksessä, ovat potentiaalinen kohderyhmä vaihtamaan aiemmin käyttämänsä kaasu biokaasuun. Puunpolton vaihtamisella biokaasuun kotitalouksissa on terveydelisiä hyötyjä, sillä kaasu palaa puhtaammin, kun puolestaan avoimessa tulipesässä puunpolton pienhiukkaset kertyvät sisäilmaan (Maailman terveysjärjestö WHO:n www-sivut 2017).

Energiantuotannon ja jätehuollon yhdistämisellä on useita positiivisia ympäristövaikutuksia. Orgaaniset jätteet ja sivuvirrat voidaan hyödyntää biokaasulaitoksella energiaksi sen sijaan, että jätteet kuljetetaan kaatopaikalle, missä hapettomissa olosuhteissa hajoava orgaaninen jäte tuottaa joka tapauksessa metaania. Jos metaania ei kerätä talteen, vapautuu se kasvihuonekaasuna ilmakehään. Afrikassa noin 69 % yhdyskuntajätteestä sijoitetaan kaatopaikoille (Roopnarain & Adeleke 2017, 1163). Kaatopaikoilta on mahdollista kerätä muodostuva kaatopaikkakaasu talteen ja hyödyntää se energiana. Kaatopaikat ja jätteen läjityspaikat muodostavat Namibiassa ja muualla Afrikassa suuren ja jo toiminnassa olevan biokaasun tuotantokokonaisuuden, joka on heikosti hyödynnetty energiantuotannossa.

Namibian maatalous, elintarviketeollisuus sekä jätevedenpuhdistamot tuottavat tois-taiseksi heikosti hyödynnettyjä orgaanisia jätevirtoja, joista on mahdollista tuottaa biokaasua. Jätteen käyttäminen biokaasun tuottamiseen on hyödyllistä ja se vähentää myös hajuhaittoja verrattuna luonnolliseen hajoamiseen jätteen läjityspaikoilla. Lisäksi biokaasun tuotannosta syntyvää mädätysjäännöstä voidaan hyödyntää lannoitena, jolloin ravinteet päätyvät takaisin kiertoon.

Namibian lämpimässä ilmastossa biokaasulaitos saattaa toimia ilman lämmitystarvetta, kunhan biokaasureaktori on eristetty. Myös maa voi toimia eristeenä, jos biokaasureaktori sijoitetaan maan pinnan alapuolelle. Lämpötilan tulee kuitenkin pysyä

tasaisena, muutoin biokaasun tuotanto saattaa keskeytyä. Suuret, maan päälle sijoitettavat biokaasureaktorit tarvitsevat lisälämmitystä Namibiassa, jotta lämpötila on riittävän korkea ja se saadaan pysymään tasaisena. Biokaasun tuotannon etuna aurinko- ja tuulienergiaan on riippumattomuus säästä. Säätila ei vaikuta biokaasun tuotantoon, kun on huolehdittu reaktorin eristyksestä ja mahdollisesta lisälämmityksestä. Reaktoria on kuitenkin helppo lämmittää tuotetulla biokaasulla, joka voidaan polttaa lämpöenergiaksi ja johtaa osa lämmöstä reaktoriin.

#### 6.4 Haasteet

Monissa Saharan eteläpuolisissa maissa biokaasun kaupallistamisen ongelmat liittyvät taloudellisiin näkökulmiin ja poliittiseen tahtoon, joiden lisäksi on useita paikkakohittaisia haasteita (Amigun ym. 2012, 41). Namibiassa ihmisten tulot jakautuvat epätasaisesti, maassa on paljon työttömiä sekä matala koulutustaso. Biokaasulaitoksen investointikulut ovat kohtuuttomat useimmille maaseudun kotitalouksille Saharan eteläpuolisessa Afrikassa (Amigun ym. 2012, 43). Uusiutuvalla energialle on tyypillistä korkea alkuinvestointi, jonka jälkeen käyttökulut ovat pienet. Suurina haasteina uusiutuvan energiankäytön lisäämiselle Namibiassa ovat korkeat asennuskulut, edullisten ja helposti saatavilla olevien rahoitusratkaisujen puuttuminen investoinnille sekä varmuuden puuttuminen hintojen vakaudesta itsenäisille energiatuottajille. Namibiassa uusiutuvan energian investointien rahoittamiseen tarvitaan usein lainarahoitusta. (Renkhoff 2016, 253.) Rahoituksen järjestely on yksi merkittävimmistä haasteista niin biokaasuteknologian kohdalla kuin muissakin uusiutuvan energian sovelluksissa.

Toistaiseksi Namibian valtio ei tarjoa taloudellista tukea tai kannustimia biokaasun tuotantoon. Jos Namibian valtio tulevaisuudessa uudistaa lainsäädäntöä uusiutuvan energian suhteen ja myöntää kannustimia biokaasun tuotannolle, tulee biokaasusta houkuttelevampaa ja kannattavampaa nykytilanteeseen verrattuna. Kannustimien puute kuitenkin on yksi nykyisistä haasteista, kun puhutaan biokaasun tuotannosta Namibiassa.

Afrikassa biokaasuteknologiaan liittyviä tunnistettuja haasteita yhdistää kokemattomuus ja tiedonpuute. Esimerkiksi urakoitsijoiden kokemattomuus aiheuttaa heikkolaituisia biokaasulaitoksia ja operaattoreiden kunnollisen koulutuksen puuttuminen heikentää laitoksen toimintaa. Tiedonpuute ei koske vain yksityisiä, vaan myös viranomaisilla ja päättäjillä on havaittu olevan heikosti tietoa biokaasun tuotannosta. Tämä vaikuttaa valtion tukimekanismien puutteeseen biokaasun osalta. Kun tietoa uudesta energiantuotantomuodosta ei ole, vaivaa sitä uskottavuuden puute ja epäilyt tekniikan toimivuudesta. Ylipäätään Namibiaan ja Afrikkaan tarvitaan lisää onnistuneita biokaasun pilottilaitoksia ja tietoa niiden toiminnasta. (Amigun ym. 2012, 42.)

Kaikki orgaaninen aines ei sovellu biokaasun tuotantoon. Ligniinipitoiset syötteen puu, ovat ilman esikäsittelyä huonosti hajoavia. Syötteen sopivuuden lisäksi haasteena voi olla sen saatavuus. Namibiassa esimerkiksi on haasteena biojätteen erilliskeräyksen puutteellisuus – biojätettä on hankala käyttää biokaasun tuotantoon, kun se pitäisi erotella muusta yhdyskuntajätteestä.

Karjan lannan käytössä on koettu haasteena sen riittävä saatavuus sekä sen kerääminen, varastointi ja kuljettaminen biokaasureaktoriin. Lisäksi eläinten on oltava aidattuna, jotta lannan kerääminen on tehokasta, ja maanviljelijän on omistettava riittävä määrä karjaa jatkuvaan biokaasun tuotantoon. Ihmisten jätöksien käyttäminen biokaasun tuotantoon ja myöhemmin mädätysjäännöksen käyttö lannoitteena on herättänyt Afrikassa kulttuurista ja terveydellistä vastustusta. Vaikka biologinen hajoamisprosessi voi vähentää taudinaiheuttajia, biokaasun syötteen käsittely, etenkin ihmisten jätökset ja mädätysjäännöksen lannoitekäyttö aiheuttavat infektoriskin. (Amigun ym. 2012, 46.)

Turvallisuuskulmasta biokaasun tuotannossa on huomioitava, että biokaasuvuoto voi synnyttää hetkellisesti räjähdysvaarallisen tilanteen. Jos metaania vapautuu ilmaan, seos saattaa leimahtaa kipinästä. Käytännössä metaani kohoaa korkeammalle ilmaa kevyempänä ja laimenee, mutta riski on kuitenkin olemassa ja se on otettava huomioon. (Latvala 2009, 67.)

## 6.5 Yrityshaastattelut

Opinnäytetyötä varten toteutettiin yrityshaastattelut puhelimitse 28.8-14.9.2017 välisenä aikana. Haastateltava kohderyhmä rajattiin Suomessa toimiviin yrityksiin, jotka myyvät ja toimittavat biokaasulaitoksia. Haastatteluun osallistui kuusi suomalaista biokaasulaitoksia toimittavaa yritystä. Yrityksiltä kysyttiin kaksi ennalta mietittyä kysymystä. Yritysten edustajilta kysyttiin mitä haasteita he kokevat liittyvän kehittyvien maiden markkinoihin ja nouseeko jokin haaste ylitse muiden. Haastattelulla ei ollut tiukkaa runkoa vaan puhelun aikana saatettiin keskustella joskus laajemmin aiheesta, riippuen haastateltavan ajasta keskustella. Puolella yrityksistä oli jo kokemusta kehittyvien maiden markkinoista ja useimmat olivat kuitenkin kiinnostuneita kehittyvien maiden biokaasumarkkinoista. Yritykset, joita haastateltiin, olivat BioGTS Oy, Demeca Oy, Doranova Oy, Envor Group Oy, Fimuskraft Oy ja Metener Oy.

Haasteiksi kehittyvien maiden markkinoilla useimmat haastatelluista yrityksistä mainitsi rahoitusasiat, kumppanin löytämisen ja paikallisen infrastruktuurin tilan. Suurin osa haastateltavista nosti merkittävimmäksi haasteeksi raha-asiat, johon liitettiin rahoituksen järjestely, biokaasulaitosinvestoinnin suuruus, paikallisen varallisuuden taso, pankkien ja rahoituslaitosten luotettavuus, korkea korkotaso sekä ulkopuolisen rahoituksen tarve. Luotettavien toimijoiden ja päätöksentekijän löytäminen sekä yhteiskuntien järjestäytymättömyys nostettiin myös haasteiksi ylitse muiden.

Haastateltavat nostivat esiin haasteita, jotka liittyvät Suomen ja kehittyvien maiden erilaisuuteen. Kaupankäyntikulttuuri, joka sisältää korruptiota ja lahjontaa, on erilainen. Yritykset mainitsivat myös toimintatapoihin liittyvät kulttuurierot ja paikallisten liiketoimintaosaamisen haasteina. Lisäksi mietityttivät päivittäiseen toimintaan liittyvät asiat, kuten varaosien saatavuus. Haasteiksi kerrottiin kumppanin löytyminen, organisaation rakentaminen sekä päätöksentekijän löytyminen.

Kehittyvien maiden infrastruktuuriin liitettiin haasteiksi esimerkiksi sähköverkon kunto, talousvesi- ja jätevesiverkosto, tuotteiden sopiminen kohdemaan infrastruktuuriin ja oikeanlaisen tekniikan vieminen kohdemaahan. Muita haasteiksi koettuja asioita olivat biojätteen erilliskeräyksen puuttuminen, luvitusasiat, oikean myynti- ja markkinakanavan löytäminen sekä etäisyys ja mahdollinen aikaero. Lisäksi mietitytti, mikä

on paikallisten ihmisten osaamistaso, esimerkiksi tekniikan tietämyksen taso sekä englannin kielen ymmärtämisen taso.

Haastatteluissa tuli myös ilmi, että ennalta tuntematon liiketoiminta-alue vaatii uuden opettelua sekä hankkeiden loppuun saattaminen vie aikaa. Tämän selvitystyön tarkoituksena on antaa alkutietoja Namibiaan suuntaaville biokaasualan yrityksille.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA SWOT-ANALYYSI

Biokaasun tuotanto soveltuu Namibiaan, mutta maan erityispiirteet on osattava huomioida. Avaintekijöitä onnistuneen biokaasulaitoksen toteutuksessa Namibiassa ovat biokaasulaitoksen sopivuus paikallisiin olosuhteisiin, oikea laitospääte sekä palveluiden, kuten koulutuksen tarjoaminen pelkän teknisen ratkaisun ohella. Biokaasulaitosta ei kannata toimittaa maahan ilman koulutuspakettia käyttäjille. Namibiassa ei ole yleensä riittävästi tietämystä biokaasulaitoksen toiminnasta, vaan tarvitaan koulutusta ja perehdytystä laitoksen käyttöön ja huoltoon. Potentiaalisena suomalaisena vientituotteena Namibian biokaasumarkkinoille nähdäänkin kokonaisratkaisun kehittäminen, missä huomioidaan sekä soveltuva tuote että palvelu.

Eri tyyppiset biokaasulaitokset soveltuvat eri kohderyhmille. Yrityksen, joka kehittää pienen kokoluokan laitoksia, kannattaa Namibiassa suunnata maaseudulle kotitalouksiin ja yhteisöihin erittäin edullisella ja yksinkertaisella biokaasureaktorilla. Tällaisella laitoksella saadaan biokaasua kotitalouden tai yhteisön käyttöön, missä biokaasua käytetään ensisijaisesti ruuanvalmistuksessa. Syötteenä voidaan käyttää karjan lantaa, keittiöjätettä sekä sakokaivolietettä. Lähellä asutusta toimivan biokaasulaitoksen on tärkeää toimia luotettavasti hajuhaitat minimoiden, sillä yksi tunnettu biokaasulaitosprojekti namibialaiseen kyläyhteisöön epäonnistui osittain hajuhaittojen takia. Käyttäjät eivät enää halunneet huolehtia laitoksesta, joka tuotti hajuhaittoja ympäristöönsä. Haasteena onkin kehittää riittävän edullinen, mutta kuitenkin toimiva biokaasureaktori. On otettava huomioon, että Aasiassa tehdään edullisesti kaikkea, myös biokaasureaktoreita. Kilpailuvaltti olisikin tehokkaampi ja käyttäjäystävällisempi malli, joka

huomioisi käyttäjän koulutuksen ja reaktorin huollon. Toimivaa biokaasuprosessia on tärkeää ylläpitää ja se onnistuu vain osaavilta käyttäjiltä tai ulkopuoliselta kunnossapitäjältä. On myös hyvä huomioida mahdollisten varaosien saatavuus alueella. Kokonaisratkaisun kehittämisessä on potentiaalia kaiken kokoisiin biokaasuteknologian investointeihin Namibiassa.

Keskikokoisia ja suuria laitoksia valmistavien yritysten kannattaa etsiä asiakkaita Namibiassa elintarviketeollisuudesta, kaupallisilta maatiloilta ja jätevedenpuhdistamoilta. Kalanjalostamoiden, teurastamoiden, panimoiden ja muiden elintarvikeryitysten jätteissä ja jätevesissä on hyödyntämätöntä biokaasupotentiaalia Namibiassa. Biokaasun tuotantoon soveltuu parhaiten melko tasaisesti syötettä tuottava yritys tai yritykset, jolloin syötteen varastointikulut voidaan minimoida. Hyödyntämällä erilaisia jätevesiä syötteenä voidaan vähentää talousveden tarvetta veden niukkuudesta kärsivässä Namibiassa. Syötteen saatavuuden ja koostumuksen kannalta hyvä vaihtoehto olisi usean elintarvikeryityksen yhteiskäsittelylaitos. Se, mikä taho yhteiskäsittelylaitosta operoisi ja rahoittaisi, on tutkimisen arvoinen asia. Teollisuuskokoluokan biokaasulaitoksen sijoittamisessa on hyvä huomioida riittävä etäisyys asutuksesta mahdollisten hajuhaittojen minimoiseksi. Biokaasun tuotanto soveltuu hyvin myös jätevedenpuhdistamoiden yhteyteen. Jätevedenpuhdistamot ovat yleensä etäällä asutuksesta ja jätevesilietettä on saatavilla tasaisesti ympäri vuoden.

Monipuoliselle biokaasulle on yrityksissä ja organisaatioissa useita hyödyntämismahdollisuuksia. Lämmöntuotanto on kuitenkin yksinkertaisempaa ja edullisempaa kuin sähköntuotanto. Lisäksi sähköntuottamisessa Namibian sähköverkkoon otettava huomioon lupa-asiat. Toisaalta oman sähköntuotannon kannattavuus kasvaa, jos sähkön hinta maassa nousee. Lämmön ja sähkön yhteistuotannossa on hyvä ottaa huomioon lämmön hyödyntäminen CHP-laitoksen kannattavuuden parantamiseksi. Lämpöä voidaan hyödyntää yrityksen toiminnoissa ja biokaasureaktorin lämmityksessä. Vaikka biokaasureaktori saattaa pärjätä Namibian lämpimässä ilmastossa jopa pelkällä eristämällä, takaa lisälämmitys tasaisen lämpötilan reaktorissa ja paremman biokaasun tuoton.

Namibiassa pienviljely on suosittua, mutta biokaasun tuotannon kannalta vapaana laiduntavan harvalukuisen karjalauman lannan käyttäminen syötteenä on haastavaa. Suurilla kaupallisilla tiloilla karja on yleensä aidattuna ja käyttäjillä saattaa olla enemmän kokemusta erilaisten teknisten laitteiden käytöstä kuin yksityisillä pienviljelijöillä. Maatiloilla kaasun käyttö kannattaa kuitenkin selvittää kunnolla. Maatiloilla biokaasua voidaan käyttää sähkön- ja lämmöntuotantoon tai mekaanisena energiana. Maatiloilla voidaan saavuttaa säästöjä myös mädätysjäännöksen lannoitekäytön avulla. Näistä syistä päädyttiin tulokseen, että kaupalliset maatilat ovat potentiaalisempi asiakasryhmä biokaasun tuotantoon kuin kotitarveviljelijät.

Namibiassa on potentiaalia myös kaatopaikkaratkaisujen kehittäjille. Kaatopaikkojen ja jätteen läjityspaikkojen kaatopaikkakaasun tuotantoa ei ole juurikaan vielä hyödynnetty Namibiassa. Aitaamattomat ja vartioimattomat jätteen läjityspaikat ovat kuitenkin haastava toiminta-alue. Tulevaisuudessa väestön kasvaessa jätettä syntyy yhä enemmän ja kaatopaikkakaasujen hyödyntäminen on yksi keino vähentää jätteiden aiheuttamia ympäristövaikutuksia.

Kaikenkokoisissa ja -tyyppisissä biokaasuratkaisuissa ovat haasteena niiden taloudellinen kannattavuus Namibiassa. Rahoitukseen liittyvät haasteet nousivat myös yritys-haastattelussa kaikkein merkittävimmäksi haasteeksi kehittyvien maiden markkinoilla. Namibiassa yksityisten ihmisten varallisuustaso vaihtelee ja yrityksetkin tarvitsevat yleensä tukea rahoitukseen. Kun valtio ei tarjoa taloudellista tukea biokaasulaitosinvestointiin, täytyy tukea yleensä saada jostain muualta, jotta investointi on kannattava. Uusiutuvan energian investointeja tukevia kansainvälisiä hankkeita ja kehittämisorganisaatioita onneksi on olemassa, ja lähes kaikki Namibiassa toimivat kehittämisorganisaatiot ovat mukana uusiutuvan energian projekteissa jollain tapaa (Renkoff 2016, 254).

Valmiin ratkaisun kanssa ei kannatta yrittää yksin etsiä asiakkaita vieraasta maasta. Namibiassa liiketoiminnan onnistumisen edellytyksenä on paikallisen kumppanin löytäminen. On tärkeää ymmärtää paikallinen markkina ja löytää oikeat yhteyshenkilöt tukemaan liiketoimintaa. Ei kannata myöskään väheksyä Suomen ja Namibian pitkää yhteistä historiaa ja Martti Ahtisaaren työtä Namibian itsenäistymiseksi (Paavola 2013).



Jokaisessa projektissa on vahvuuksia ja heikkouksia sekä uhkia ja mahdollisuuksia. Tämän opinnäytetyön tärkeimpiä tutkimustuloksia sekä päätelmiä on koottu tiivistetyksi SWOT-analyysin muotoon. SWOT-analyysi, mitä suomalaisten yritysten kannattaa ottaa huomioon harkitessaan biokaasuteknologian viemistä Namibiaan:

#### Vahvuudet

- Poliittisesti vakaa valtio
- Biokaasun tuotantoon soveltuvia syötteitä saatavilla
- Biokaasulle soveltuvia käyttötarkoituksia havaittu
- Biokaasun tuotantoon soveltuvia kohderyhmiä tunnistettu
- Lämmin ilmasto
- Kasvava ja vähän kilpailtu markkina-alue
- Suomen ja Namibian pitkät maiden väliset suhteet

#### Heikkoudet

- Puuttuu tukimekanismit biokaasuteknologialle
- Tiedon puute biokaasuteknologiasta
- Namibialaisten suuret tuloerot
- Rahoituksen järjestäminen

#### Mahdollisuudet

- Namibialaisten työllistyminen ja elintason parantuminen
- Tarve energialle
- Kokonaisratkaisun vieminen Namibiaan
- Liiketoimintamahdollisuudet Namibiassa ja muualla eteläisessä Afrikassa
- Energian hinnan nousu lisää biokaasun kannattavuutta

#### Uhat

- Vesivarojen niukkuus
- Laitoksen käyttäjän osaamattomuus
- Kielteisen asenteen muodostuminen biokaasun tuotantoon esimerkiksi huonojen kokemusten takia
- Kannustimia ei kehitetä biokaasuteknologialle
- Rahoitus ei järjesty
- Suomalainen yritys ei tunne Namibiaa ja sen erityispiirteitä
- Suomalainen yritys ei löydä paikallista kumppania.

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia selvitys biokaasun soveltuvuudesta Namibiaan. Tavoitteena oli tehdä selvitys, josta saadaan tietoa suomalaisille yrityksille biokaasun tuotannon mahdollisuuksista Namibiassa ja edistää suomalaisyritysten vientimahdollisuuksia. Tätä opinnäytetyötä voidaan käyttää tietolähteenä tutustuttaessa Namibian erityispiirteisiin energiantuotannon näkökulmasta ja suunniteltaessa biokaasuteknologian vientiä Namibiaan. Merkittävin johtopäätös opinnäytetyössä on, että biokaasu soveltuu Namibiaan, kun huomioidaan maan erityispiirteet. Namibiassa on paljon mahdollisuuksia biokaasun tuotannon kehittämiseen, syötemateriaalia on saatavilla ja energialle on tarvetta. Biokaasuteknologian investointikulut ja Namibian valtion kannustimien puute uusiutuvalle energialle asettavat haasteita biokaasun tuotannon yleistykselle.

Namibian erityispiirteitä selvitettäessä havaittiin, että Namibia on voimakkaasti riippuvainen tuontienergiasta ja fossiilisista polttoaineista. Biokaasu on yksi vaihtoehto energian tuottamiseksi niin kotitalouksissa, yhteisöissä kuin elintarviketeollisuudessaakin. Biokaasun tuotanto voisi osaltaan olla vaihtoehto maaseudun sähköverkottomien alueiden energialähteenä. Edullinen ja yksinkertainen biokaasun tuotantolaitos on yksi ratkaisuehdotus kotitalouksien ja yhteisöjen energialähteeksi. Suurempien biokaasulaitosten potentiaalisia asiakkaita on erilaiset elintarviketeollisuuden yritykset, jätevedenpuhdistamot sekä kaatopaikat.

Aurinkoenergian nopea lisääntyminen ja sitä kautta uusiutuvan energiankäytön kasvu saattaa avata ovia myös muille uusiutuvan energian muodoille, kuten biokaasulle. Tärkeässä roolissa on ihmisten tietoisuuden kasvu uusiutuvan energian mahdollisuuksista. Toistaiseksi biokaasuteknologia on Namibiassa vielä uutta, mikä herättää aina epäilyksiä. Epäonnistuneet biokaasuhankkeet eivät kasvata luottamusta uutta energiamuotoa kohtaan, ja onkin tärkeää saada onnistuneita kokemuksia biokaasun tuotannosta Namibiaan sekä naapurimaihin. Positiiviset kokemukset ja tietous teknologian toimivuudesta ja hyödyllisyydestä lisäävät energiamuodon suosimista. Positiivisen mielikuvan luomisen lisäksi tarvitaan koulutusta biokaasulaitosten käyttöön. Namibiassa kokonaisratkaisun eli tuotteen sekä palveluiden tarjoaminen on kaiken perusta.

Namibia kehittyy ja sen väkiluku kasvaa koko ajan, samoin kuin koko Afrikan. Energiankulutuksen ja energiantarpeen odotetaan jatkavan kasvuaan Afrikassa, kun maanosa kehittyy nopeammin kuin jo kehittyneet maat. Uusiutuvalla energialla voidaan vastata osaltaan energiapulaan. Uusiutuva energia voisi tarjota kaivattua kestävästä maaseudun elvyttämistä useissa kehittyvissä maissa. Tulevaisuudessa on yhä merkityksellisempää, miten energia tuotetaan kehittyvissä maissa. Biokaasuteknologialla on paikkansa uusiutuvan energian joukossa, ja jätehuollon ja energiatuotannon yhdistäminen on hyödyllinen ratkaisu. Ihanteellinen uusiutuvan energianlähde on paikallisesti saatavilla, edullinen ja paikallisten yhteisöjen on helppo sitä käyttää ja huoltaa. Biokaasun tuotanto on yksi näistä teknologioista, joka tarjoaa teknisen mahdollisuuden hajautettuun ja nykyaikaiseen energiantuotantoon.

Namibian ja muiden Afrikan maiden kehitystä kannattaa ehdottomasti seurata tiivistä. Biokaasun tuotantoa tuetaan Suomessa valtiotasolta, kuten monissa muissakin maissa. Jos Namibiassa kehitetään toimivia kannustimia uusiutuvan energian tukemiseksi, nousee biokaasun tuotannon kannattavuus. Tällöin kannattaa olla tietoinen potentiaalisista kohderyhmistä Namibiassa.

Tutkimusmateriaalin kerääminen oli haastavaa, sillä biokaasun tuotanto on vielä harvinaista Namibiassa ja tietoa oli vähän saatavilla olemassa olevista biokaasulaitoksista tai niiden kokeiluista. Tulevaisuus näyttää, miten tämä opinnäytetyö otetaan vastaan ja toimiiko se suomalaisyritysten tukena kohti Namibian uusiutuvan energian markkinoita.

## LÄHTEET

Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S. & Janssen, R. 2008. Biogas handbook. Esbjerg: University of Southern Denmark Esbjerg. Viitattu 28.7.2017. <http://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf>

Amigun, B., Parawira, W., Musango, J., Aboyade, A. & Badmos, A. 2012. Anaerobic biogas generation for rural area energy provision in Africa. Teoksessa S. Kumar (toim.) Biogas. InTech, 35-62. Viitattu 13.9.2017. <https://www.intechopen.com/books/biogas/anaerobic-biogas-generation-for-rural-area-energy-provision-in-africa>

Chiguvare, Z. & Ileka, H. 2016. Challenges and opportunities for increased energy access in Sub-Saharan Africa, with special reference to Namibia. Teoksessa O. Ruppel & B. Althusmann (toim.) Perspectives on energy security and renewable energies in Sub-Saharan Africa - Practical opportunities and regulatory challenges. 2. painos. Windhoek: Macmillan Education Namibia, 21-40.

Electricity Control Board. 2009. Green energy in Namibia. Viitattu 21.6.2017. <https://www.voconsulting.net/pdf/energy/Green%20Energy%20in%20Namibia%20-%20VO%20CONSULTING.pdf>

Eskomin www-sivut. Viitattu 11.10.2017. <http://www.eskom.co.za>

Government of the Republic of Namibia. Country programming framework for Namibia 2014-2018. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations. Viitattu 11.9.2017. <http://www.fao.org/3/a-bp614e.pdf>

Gustafsson, M. & Stoor, R. 2008. Biokaasun hyödyntämisen käsikirja – jätteestä energiaksi ja polttoaineeksi. 2. painos. Turku: PBI – Research Institute for Project-Based Industry. Viitattu 28.7.2017. [https://www.abo.fi/student/en/media/9578/biokaasunkasikirja\\_web.pdf](https://www.abo.fi/student/en/media/9578/biokaasunkasikirja_web.pdf)

Kalmari, E. 2017. Toimitusjohtaja, Metener Oy. Leppävesi. Puhelinhaastattelu 11.9.2017. Haastattelijana Teija Järvenpää.

Kangasaho, J. 2017. Myyntijohtaja, BioGTS Oy. Jyväskylä. Puhelinhaastattelu 14.9.2017. Haastattelijana Teija Järvenpää.

Keinänen-Toivola, M.M. 2016. Sata lasissa Namibiassa. Agora 3, 8–11. Viitattu 11.9.2017. [https://issuu.com/satakunnan\\_ammattikorkeakoulu/docs/agora\\_2016\\_3\\_net/](https://issuu.com/satakunnan_ammattikorkeakoulu/docs/agora_2016_3_net/)

Kinnunen, V. & Rintala, J. 2015. Biokaasun monet mahdollisuudet. Teoksessa M. Kymäläinen & O. Pakarinen (toim.) Biokaasuteknologia: raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMKin julkaisuja 17/2015. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 9-20.

Koivunen, A. 2017. Hallituksen puheenjohtaja, Fimuskraft Oy. Vaasa. Puhelinhaastattelu 28.8.2017. Haastattelijana Teija Järvenpää.

Krause, F. 2013. The clean development mechanism in Namibia: past efforts and present barriers.

Kymäläinen, M. 2015a. Anaerobinen hajoaminen ja sen hallinta biokaasureaktorissa. Teoksessa M. Kymäläinen & O. Pakarinen (toim.) Biokaasuteknologia: raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMKin julkaisuja 17/2015. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 60-81.

Kymäläinen, M. 2015b. Biokaasuntuotannon raaka-aineet. Teoksessa M. Kymäläinen & O. Pakarinen (toim.) Biokaasuteknologia: raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMKin julkaisuja 17/2015. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 21-47.

Lampinen A. 2015. Biokaasualan historia ja tulevaisuus. Teoksessa M. Kymäläinen & O. Pakarinen (toim.) Biokaasuteknologia: raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMKin julkaisuja 17/2015. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 190-198.

Lampinen, A. & Rautio, E. 2015. Biokaasun käsittely ja hyödyntäminen. Teoksessa M. Kymäläinen & O. Pakarinen (toim.) Biokaasuteknologia: Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMKin julkaisuja 17/2015. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 124-172.

Latvala, M. 2009. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT): biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Suomen ympäristö 24/2009. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Viitattu 31.10.2017.  
[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37998/SY\\_24\\_2009.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37998/SY_24_2009.pdf?sequence=1)

Luostarinen, S. 2015. Biokaasuprosessit ja laitostaseet. Teoksessa M. Kymäläinen & O. Pakarinen (toim.) Biokaasuteknologia: raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. HAMKin julkaisuja 17/2015. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, 82-123.

Lüderitz enters new age. 2017. Informante 10.8.2017. Viitattu 11.10.2017.  
<http://www.informante.web.na>

Maailman terveysjärjestö WHO:n www-sivut. Viitattu 22.11.2017.  
<http://www.who.int/>

Maailmanpankin www-sivut. Viitattu 1.11.2017. <http://www.worldbank.org/>

Motiva. 2013. Biokaasun tuotanto maatilalla. Helsinki. Viitattu 28.7.2017.  
[https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun\\_tuotanto\\_maatilalla.pdf](https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf)

Myllärinen, A. 2017. Toimitusjohtaja, Doranova Oy. Vesilahti. Puhelinhaastattelu 7.9.2017. Haastattelijana Teija Järvenpää.

Namibia Statistics Agency. 2011. Namibia 2011: Population and housing census main report. Windhoek. Viitattu 16.8.2017. <http://cms.my.na/assets/documents/p19dmn58guram30ttun89rdrp1.pdf>

Namibia Trade Directory 2016. 2016. A review of Namibian trade and industry. Volume 25. Windhoek: Venture Publications.

NamPower. 2016. 2016 Annual Report. Windhoek. Viitattu 6.7.2017.

[http://www.nampower.com.na/public/docs/annual-reports/Nampower2016AnnualReport\\_13MARCH2017.pdf](http://www.nampower.com.na/public/docs/annual-reports/Nampower2016AnnualReport_13MARCH2017.pdf)

Namwoonde, A. 2013. Biogas as a sustainable energy source for Namibia/SANUMARC case study. ACP Workshop: Towards Establishing Value Chains for Bioenergy in Namibia. UNAM. Viitattu 22.9.2017.

[http://www.acpnonfood.com/WS8.6-20130429-\(Andreas%20Namwoonde\).pdf](http://www.acpnonfood.com/WS8.6-20130429-(Andreas%20Namwoonde).pdf)

Nehrenheim, E., Klintenber, P. & Odlare, M. 2011. Recirculation of biogas residue to agricultural land in Namibia – Risks and potentials in full utilization of organic waste. CISA Publisher. Viitattu 21.7.2017. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:608352/FULLTEXT01.pdf>

Nuutila, S. 2017. BEAM-hankepari selvittää suomalaisten yritysten onnistumisen edellytyksiä eteläisessä Afrikassa. Tekes 5.4.2017. Viitattu 11.10.2017.

<https://www.tekes.fi>

Paavola, J. 2013. Suomi ja Namibia tiivistävät yhteistyötään. Ulkoasiainministeriö 14.11.2013. Viitattu 22.11.2017. <http://www.formin.finland.fi>

Renkhoff, N. 2016. Namibia towards a conducive regulatory framework in renewable energy law and regulation. Teoksessa O. Ruppel & K. Ruppel-Schlichting (toim.) Environmental law and policy in Namibia - Towards making Africa the three of life. 3. painos. Windhoek: Hanns Seidel Foundation, 233-266.

Roedern, C. 2015. From energy consumer to energy prosumer. 25.6.2015. Renewable Energy Industry Association of Namibia. Viitattu 19.8.2017.

<http://www.reiaon.com/>

Roopnarain, A. & Adeleke, R. 2017. Current status, hurdles and future prospects of biogas digestion technology in Africa. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 1162-1179. Viitattu 18.7.2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.087>

Ruppel, O. & Ruppel-Schlichting, K. 2016. Comparative legal aspects of the potential of renewable energies to promote energy security, sustainable development and climate change mitigation: Germany, South Africa and Namibia. Teoksessa O. Ruppel & B. Althusmann (toim.) Perspectives on energy security and renewable energies in Sub-Saharan Africa - Practical opportunities and regulatory challenges. 2. painos. Windhoek: Macmillan Education Namibia, 117-171.

Rämä, M. & Koponen K. 2016. Energy solutions for Namibian fishing industry. Tutkimusraportti. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland. Viitattu 11.7.2017. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2016/VTT-R-1990-16.pdf>

Savela, N. 2017. Urban infrastructure governance in Namibia – A multi-level analysis of urban system transitions. Pro gradu -työ. Turun yliopisto.

Schütt H. 2016. 100% decentralised, renewable energy for Namibia. Teoksessa O. Ruppel & B. Althusmann (toim.) Perspectives on Energy Security and Renewable energies in Sub-Saharan Africa - Practical opportunities and regulatory challenges. 2. painos. Windhoek: Macmillan Education Namibia, 41-63.

Strandberg, J. 2017. Toimitusjohtaja, Envor Group Oy. Forssa. Puhelinhaastattelu 7.9.2017. Haastattelijana Teija Järvenpää.

Van der Berg, M. & Koep, P. 2016. Mining and energy in Namibia. Teoksessa O. Ruppel & K. Ruppel-Schlichting (toim.) Environmental law and policy in Namibia - Towards making Africa the three of life. 3. painos. Windhoek: Hanns Seidel Foundation, 211-231.

Vinkki, P. 2017. Toimitusjohtaja, Demeca Oy. Haapavesi. Puhelinhaastattelu 5.9.2017. Haastattelijana Teija Järvenpää.

Von Oertzen, D. 2015. REEE-powering Namibia. Windhoek: Konrad-Adenauer-Stiftung.

World Bank Group: Enterprise Surveys www-sivut. Viitattu 20.7.2017.  
<http://www.enterprisesurveys.org/>