

Antti Tapio

## **VÄLPEPURISTIMEN KANNATTAVUUS**

# VÄLPEPURISTIMEN KANNATTAVUUS

Antti Tapio  
Opinnäytetyö  
Syksy 2017  
Energiatekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

---

Tekijä: Antti Tapio

Opinnäytetyön nimi: Välpepuristimen kannattavuus

Työn ohjaajat: Jukka Ylikunnari ja Steve Malinen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2017 Sivumäärä: 64 + 5 liitettä

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli arvioida Gasum Oulun Biotehdas Oy:n laiteinvestoinnin kannattavuutta. Samalla tuotettiin kannattavuuslaskentapohja, joka helpottaa kannattavuuden arviointia, mikäli laskennan perusteena olevat arvot muuttuvat. Laitteen tarkoitus on erotella biojätteen esikäsittelyprosessissa syntyvästä välppäseulan rejektistä vettä ja biomassaa takaisin prosessiin. Näin saadaan säästöjä esimerkiksi rejektin hävittämiskustannuksissa.

Laitteen synnyttämät kustannussäästöt riippuvat takaisin kierrätetyn nesteen määrästä. Saatua nesteen määrä riippuu välpeen ominaisuuksista ja muodostumismäärästä, joten ne täytyi määrittää. Biomassan osuus kaikista palavista aineista päätettiin määrittää vertaamalla mädättämällä saatua energiamäärää ja massareduktiota polttamalla saatuihin arvoihin. Poltto- ja mädätyskokeet tehtiin Oulun ammattikorkeakoulun laboratoriotiloissa Kotkantien kampuksella. Välpeen muodostumismäärä mitattiin Oulun Biotehdas Oy:n kippikontilla, jonka massa ja tilavuus määritettiin. Painon mittaamiseen käytettiin Kiertokaari Oy:n ajoneuvovaakaa. Välpepuristimen kannattavuus laskettiin kokeista saatujen arvojen perusteella. Muut tarvittavat arvot, kuten veden ja sähkön hinnat, hankittiin julkisista lähteistä. Osa tarvittavista tiedoista on salaisia, joten ne jouduttiin arvioimaan.

Kannattavuuden laskenta toteutettiin nykyarvomenetelmällä ja takaisinmaksuajan menetelmällä. Nykyarvomenetelmässä laskentakorkokannaksi valittiin 1,1, investointiajaksi 20 vuotta ja välpeen massareduktioksi 20%. Aloituspäälaverissa sovittiin takaisinmaksuajaksi korkeintaan 5 vuotta. Investointi osoittautui kannattavaksi molemmilla menetelmillä. Lukuja kannattaa vielä tarkastaa tulevaisuudessa, kun laitteen todellinen talteenottoaste voidaan mitata ja laitteen todellinen huollontarve selviää. Jos laite osoittautuu edelleen kannattavaksi, yrityksen kannattaa hankkia laite myös muille vastaaventyypisille biokaasulaitoksilleen, jolloin saadut säästöt ja tuotot moninkertaistuvat.

---

Asiasanat: biokaasulaitos, välppäys, rejekti, välpe, kannattavuus

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Energy Technology

---

Author: Antti Tapio

Title of thesis: Feasibility Study of Screening Treatment

Supervisors: Jukka Ylikunnari and Steve Malinen

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2017

Pages: 64 + 5 appendices

---

The goal of this study was to evaluate whether the investment of Gasum Oulun Biotehdas Ltd. is feasible. On the side, an Excel sheet consisting of calculations for feasibility, was produced. It helps when re-evaluating the investment, if the base values change. The purpose of the machine being invested, is that it will separate the water from the reject that is being produced during the bio-waste pre-treatment process. Thus, the company will get savings for example when the rejects' termination fees fall.

Achievable savings for the machine depend on the amount of the fluid that the machine will separate and recirculate to the process. The amount of the fluid, that is possible to extract from the reject, depends on the quality and quantity of the reject. Thus, they needed to be measured. The constitution of the reject was decided to determine by fermenting as well as burning the samples, and then comparing released energy and mass reduction between the techniques. The quantity of the reject was measured with the help of a caterpillar and a movable container, in which the reject falls after leaving the screen. The mass and volume of the container were determined. Kiertokaari Ltd. is the owner of the scales that was used for measurements. The feasibility of the machine was calculated based on the results of the tests. Other needed values, for example prices for water and electricity, were achieved from the public sources. Part of the needed information was classified, so those values were assessed.

The feasibility calculations were made in two different ways; with the current value method and the payback time method. The interest rate was 1.1, the investment time was 20 years and the mass reduction of the reject was 20 %, when calculating the feasibility with current value method. The maximum payback time was 5 years, according to the start-up meeting. The investment turned out to be feasible with both methods. However, it is recommended to check the numbers when the machine is installed and running. Then the real mass reduction rate and composition of the separated fluid can be determined. If the investment still turns out to be feasible, the company should invest the machine to every other similar plant that the company owns.

---

Keywords: biogas, screening, feasibility

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	1
ABSTRACT	2
SISÄLLYS	3
1 JOHDANTO	5
2 KANNATTAVUUSLASKENNAN KOHTEEN MÄÄRITTELY	6
2.1 Hankinnan taustaa	6
2.2 Biojätteen esikäsittely ja seulonta	7
2.3 Investointikohteen kuvaus	9
3 INVESTOINNIN KANNATTAVUUDEN LASKENTA	11
3.1 Laskentamenetelmät	11
3.1.1 Nykyarvomenetelmä	12
3.1.2 Takaisinmaksuajan menetelmä	13
3.2 Hankintakustannukset	14
3.3 Vuotuiset kustannukset	14
3.4 Vuotuiset säästöt ja mahdolliset tulot	14
3.4.1 Säästöjen ja tulojen määrä	15
3.4.2 Välpeen koostumuksen määritystekniikan valinta	16
4 BIOKAASUN TUOTANTO	17
4.1 Kaasuntuotanto	18
4.2 Eri prosessityypit	19
4.3 Eri laitostyyppit	20
4.4 Biokaasun tuotannon säädökset	21
5 OULUN BIOKAASULAITOKSEN PROSESSIKUVAUS	23
6 VÄLPPEEN MÄÄRÄ JA KOOSTUMUS	27
6.1 Näytteiden keräys ja säilytys	28
6.2 Kaasuuntumiskoe	29
6.2.1 Käytetty laitteisto	29
6.2.2 Esivalmistelut	31
6.2.3 Reaktorin valmistelu	32
6.2.4 Kokeen seuranta	35
6.2.5 Kokeen lopetus, tulosten keruu ja analysointi	36

6.3 Pommikalorimetrikoe	39
6.3.1 Laitteisto	40
6.3.2 Näytteiden kosteuden määrittäminen	42
6.3.3 Kokeen valmistelu ja suoritus	43
6.3.4 Lopetus ja tulokset	46
6.4 Tulosten analysointi ja näytteiden koostumuksen määrittäminen	47
6.5 Muodostumismäärän mittaaminen	49
7 KANNATTAVUUS SAATUJEN LUKUJEN PERUSTEELLA	53
7.1 Kannattavuuteen vaikuttavat muuttujat	53
7.1.1 Perushankintameno, investointiaika ja jäännösarvo	54
7.1.2 Erotellun nesteen määrä ja koostumus	55
7.1.3 Tuotteiden myyntihinnat	56
7.1.4 Veden ja sähkön ostohinta	57
7.1.5 Välpeen hävittämisen kustannukset	58
7.1.6 Laitteen arvioitu käyntiaika	59
7.1.7 Huollot	59
7.1.8 Tuotto-odotus ja takaisinmaksuaika	60
7.2 Kannattavuus	60
8 YHTEENVETO	63
LÄHTEET	65
Liite 1 Kannattavuuslaskentapohja	
Liite 2 Määtyskokeen tulokset	
Liite 3 Pommikalorimetrikokeen tulokset ja välpeen koostumuksen määrittäminen	
Liite 4 Välpeen muodostumismäärän määrittäminen	
Liite 5 Välpepuristimen esite	

# 1 JOHDANTO

Kiertotalous ja biokaasun tuotanto ovat tällä hetkellä poliittisesti kuumia aiheita. Biokaasun jalostus liikennekäyttöön on yksi hallituksen kärkihankkeista. Biokaasulaitokset käsittelevät biohajoavia jätteitä, joten niiden on käytettävä parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa (*best available techniques, BAT*). Tähän sisältyy muun muassa vedenkulutuksen, energiankäytön ja käsittelyprosessissa syntyvien jätevirtojen minimointi.

Työ tehtiin Oulun Biotehdas Oy:lle Ruskon biokaasulaitokselle. Laitos on yhteiskäsittelylaitos, joka käsittelee erilliskerättyä biojätettä, päivittäistavarakauppojen ja elintarviketeollisuuden biojätteitä sekä jätevedenpuhdistamoiden lietteitä. Laitoksen mädätysprosessin tyyppi on jatkuvatoiminen mesofiilinen märkäprosessi. Kiinteän biojätteen esikäsittelyssä biojäte murskataan, siihen lisätään vettä ja siitä seulotaan pois kaikki epäorgaaninen ja liian suurta palakokoa oleva aines. Yksi seulontatapa on välppäys, jossa syötteestä seulotaan nauhamainen ja liian isoa palakokoa oleva kiintoaineseos. Välppäyksen jälkeinen rejekti eli välpettä syntyy vuositasolla merkittävä määrä. Välpettä voidaan jatkokäsitellä välpepuristimella, joka puristaa välpeestä vettä sekä biomassaa, ja palauttaa nesteen prosessiin. Näin säästetään vettä, vähennetään polttolaitokselle kuljetettavan veden määrää ja saadaan myös hieman enemmän biokaasua.

Työn tavoite on selvittää, onko välpepuristin myös taloudellisesti kannattava. Kannattavuuteen vaikuttavat alkuinvestointien lisäksi laitteen huoltokulut, mahdolliset korkokulut sekä välpeen käsittelyn tehokkuus ja laatu. Välpeen koostumus vaikuttaa siihen, kuinka paljon välpepuristimen on mahdollista erotella vettä ja biomassaa välpeestä.

Työn lopputuloksena tuotetaan Excel-taulukko, jonka avulla voidaan laskea laitteen kannattavuus. Todellinen kannattavuus tiedetään vasta, kun laitteen käsittelemän välpeen määrä ja sen erotteleman nesteen määrä ja koostumus ovat tiedossa, mutta investointi toteutuu niin myöhään, että sitä ei tässä työssä ehditty tutkia. Työn tarkoitus onkin antaa valistunut arvio välpepuristimen kannattavuudesta sekä hyvä pohja jatkotutkimukselle.

## 2 KANNATTAVUUSLASKENNAN KOHTEEN MÄÄRITTELY

Investoinnin taustalla on ympäristönsuojelulaki. Laki on tarkoitettu suojelemaan maaperää, ilmaa ja vettä pilaantumiselta. Yritys tarvitsee toimiakseen ympäristöluvan, jos sen toiminta aiheuttaa ympäristön pilaantumisvaaran. Jos biokaasulaitos käsittelee orgaanista ainetta vähintään 5000 tonnia vuodessa, tarvitsee se ympäristöluvan. (Latvala 2009, 15.)

### 2.1 Hankinnan taustaa

EU:n tasolla teollisuuden ympäristövaikutuksia ehkäisemään on laadittu teollisuuspäästädirektiivi (*Industrial Emissions Directive, IED, 2010/75/EU*). Sen keskeiset osat on Suomessa kirjattu uuteen ympäristönsuojelulakiin, joka tuli voimaan syyskuussa 2014. Direktiivin myötä ympäristölakiin sisältyy myös BAT-periaatteen noudattaminen. Sillä tarkoitetaan, että yritys käyttää mahdollisimman kehittyneitä ja tehokkaita tuotanto- ja puhdistusmenetelmiä sekä toiminnan suunnittelu-, rakentamis-, ylläpito-, käyttö- ja lopettamistapoja. Menetelmien tulee olla myös teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoisia. Tavoitteena on minimoida haitat terveydelle ja ympäristölle, sekä säädellä teollisuuden ympäristövaikutuksia. Teollisuuden ja viranomaisten välillä vaihdetaan tietoja parhaasta käytössä olevasta tekniikasta. Tätä tiedonvaihtoa organisoii Euroopan komissio, joka kerää tietojenvaihdon tulokset BAT-vertailuasiakirjoihin (*BAT Reference Document, BREF*). Asiakirjojen avulla määritellään mm. parhaan käyttökelpoisen tekniikan mukaiset päästöraja-arvot, joita teollisuuspäästädirektiivin alaiset laitokset eivät saa ylittää normaaleissa toimintaolosuhteissa. (Forsius 2016.)

Gasum Oy päätti investoida välpeen jatkokäsittelijään, koska se vähentää ympäristön kuormitusta palauttamalla osan välpeen sisältämästä vedestä ja biomassasta takaisin prosessiin. Ilman jatkokäsittelijää välpe kuljetettaisiin paikalliselle jätteenpolttolaitokselle sellaisenaan. Käsittelemätön välpe on erittäin kosteaa, joten sen polttaminen ei ole kannattavaa. Kuivempi välpe palaa puhtaammin, ja ylimääräinen vesi sekä biomassasta kuormittavat jätteenpolttolaitosta turhaan aiheuttaen myös ylimääräisiä päästöjä. Lisäksi

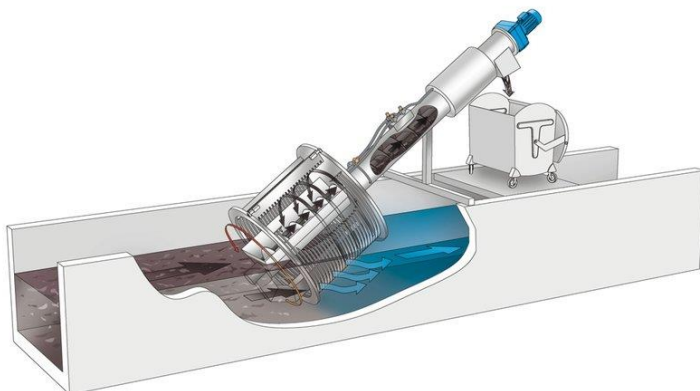


verkostoveden kulutus vähenee, kun välppeen sisältämä neste saadaan takaisin käyttöön, jos saatava prosessivesi ei riitä syötteen laimennukseen. Näiden seikkojen perusteella voidaan todeta, että laite noudattaa BAT-periaatetta.

## 2.2 Biojätteen esikäsittely ja seulonta

Erilliskerätty biojäte on liian kuivaa syötettäväksi märkäprosessiin. Lisäksi se sisältää paljon epäorgaanisia aineita, kuten muovia ja hiekkaa. Ensin biojäte syötetään murskaan. Murska koostuu pystyssä olevasta sylinterin muotoisesta häkistä, jossa on reikiä. Häkin sisällä on akseli, jossa on lapoja, joiden päätyreuna viistää hyvin läheltä häkin vaipan sisäpintaa. Toimiessaan akseli pyörii, jolloin lavat puristavat biomassan häkin rei'istä läpi. Lavat eivät ole täysin vaakasuorassa vaan noin 20 asteen kulmassa, jolloin pyörivät lavat muodostavat ilmavirran ylöspäin. Kevyet muovit nousevat ilmavirran mukana ylös. Häkin katossa on rejektiruuvi, joka poistaa ylöspäin nousseet muovit murskasta ja tiputtaa ne liukuhihnalle, joka kuljettaa ne edelleen vaihtolavalle. Tässä vaiheessa seulottua hylkyä sanotaan karkeaksi hylkyksi. Murskattu ja ohennettu biojäte jatkaa matkaansa varsinaiselle seulontalaitteistolle.

Seulontalaitteistossa syöte kohtaa ensimmäisenä välppäseulan (kuva 1). Välppäys on jätevedenkäsittelylaitoksilta tuttu seulontatekniikka. Välppäyksen tarkoituksena on estää liian suurten partikkelien pääsy prosessiin.



*KUVA 1 Välppäseulan toimintaperiaate*

Käsiteltävien syötteiden laadusta johtuen kaikki prosessin läpi menevä biomassa tulee hygienisoida. Hygienisointia on käsitelty tarkemmin luvussa 4.4. Yksi hygienisoinnin kriteeri on, että syötteen palakoon tulee olla alle 12 mm. Välppäseulan tarkoitus on siis erotella kaikki tätä palakokoa suuremmat partikkelit sekä nauhamaiset epäpuhtaudet pois syötteestä, ennen kuin syöte voidaan ajaa biokaasutusprosessiin.

Kuvassa 2 on Oulun Biotehtaan välppäseula. Seula toimii siten, että syöte virtaa seulan pohjalla olevan ritilän läpi. Liian suuret partikkelit eivät pääse ritilän läpi vaan jäävät sen päälle. Suuri haarukan tapainen koura kauhoo seulaan jääneet partikkelit kuljetinruuvien päälle, joka kuljettaa seulotun materiaalin pois.



*KUVA 2 Ruskon biokaasulaitoksen välppäseula*

Kuvassa keskellä on seulan "haarukka". Seula kuvattiin silloin, kun se ei ollut toiminnassa. Sen takia "haarukan" piikit osoittavat ylöspäin, joten niiden pituutta ei erota kuvasta. Kuljetinruuvi näkyy osittain haarukan vasemmalla puolella. Ruuvia ympäröivä putki näkyy kuvan yläosassa. Haarukan oikealla puolella näkyy hieman ritilää, josta syöte menee läpi.

Välppäseulan jälkeen syöte tulee suureen kaukaloon, jonka pohjalla on kuljetinruuvi. Ruuvi kuljettaa kaiken pohjaan laskeutuneen aineksen kaukalon pätyyn, jossa on myös kaukalon syvin kohta. Syvimmän kohdan pohjalta lähtee toinen kuljetinruuvi viistosti ylöspäin, ja se jatkuu kaukalon kannen läpi. Ruuvin päässä on ramppi, jota pitkin seulottu raskashylky valuu vaihtolavalle. Kaukaloon syötetään myös ilmaa toiselta laidalta, jolloin syöte pyrkii liikkumaan vastakkaiselle laidalle. Tällä laidalla nesteen pinnan tasolla on myös kuljetinruuvi, johon kaikki kelluva aines kulkeutuu virran mukana. Ruuvi kuljettaa kelluvan aineksen kaukalon loppupäähän, josta se tipahtaa syöksytorvea pitkin roska-astiaan, joka niin ikään tyhjennetään vaihtolavalle. Syntynyttä hylkytavaraa kutsutaan kelluvaksi hylkyksi. Biojätteen esikäsittelyssä syntyy siis neljä rejektivirtaa: kevyt- ja raskashylky, välppähylky sekä karkea hylky. Suurin osa seulotusta massasta koostuu välppähylystä eli välppeestä.

### **2.3 Investointikohteen kuvaus**

Oulun Biotehaalle toimitettu välpepuristin on kuvassa 3. Laitteen oikeassa päädyssä näkyvä sähkömoottori käyttää kuljetinruuvia, joka myös puristaa välpettä loppua kohden. Välpe putoaa välppäseulalta ruuvin yläpuolella olevaan kaukaloon, josta se valuu kuljetinruuville. Ruuvia ympäröi häkki, jossa on pieniä suotoreikiä, joiden läpi vesi ja biomassa pääsevät tippumaan suototilaan. Ruuvin terässä on harjakset, jotka hierovat suotoreikiä pitäen ne puhtaana.

Välpettä pestään kolmessa kohdassa, jotta biomassa huuhtoutuisi veden mukaan ja lopussa puristettava välpe olisi enimmäkseen epäorgaanista, kuitupitoista materiaalia. Puristettu suotoneste ohjataan takaisin prosessiin laitteen alaosassa näkyvien kahden putkiyhteen avulla. Käsitelty välpe tulee ulos laitteen vasemmasta päädyistä. Päätyyn tulee lisäksi putki, joka nousee noin metrin ylöspäin. Välpe muodostaa ylöspäin nousevaan putkeen tulpan, jota vasten kuljetinruuvi puristaa välpettä. Lisäksi loputkin irti saatavat nesteet ehtivät valua takaisin puristimelle, ennen kuin käsitelty välpe tipahtaa putken päästä vaihtolavalle, joka vie päivän päätteeksi polttolaitokselle.



*KUVA 3 Oulun Biotehtaalle hankittu välpepuristin*

Puristin on toimintaperiaatteeltaan hyvin yksinkertainen mutta toimintavarma ja lähes huoltovapaa. Kyseinen ratkaisu on yksi tapa jatkokäsitellä välpettä. Se on Suomessa ennestään käytössä joillain jätevedenpuhdistamoilla, mutta biokaasulaitoksilla sovellus on uusi (Strömberg 2017).

Yrityksen on tietenkin otettava huomioon myös hankinnan taloudellinen puoli, sillä liiketoiminnan tulee olla taloudellisesti kannattavaa. Myös edellä esitellyn BAT-periaatteen mukaan käytössä olevien menetelmien tulee olla taloudellisesti kannattavia, sillä muuten yrityksen on vaikea menestyä. Tämän raportin tarkoitus on antaa valistunut arvio investoinnin kannattavuudesta.

### 3 INVESTOINNIN KANNATTAVUUDEN LASKENTA

Yritykset tekevät investointeja lakien ja asetusten vuoksi, toiminnan ja tuotannon ylläpitämiseksi tai lisätäkseen kannattavuuttaan. Koska investointien tarkoitus on pääosin lisätä kannattavuutta, voidaan investoinneiksi luokitella sellaiset menot, jotka muuttavat yrityksen toimintaa, henkilöstöä, tiloja tai laitteita. Lisäksi on olemassa rahoitusinvestointi, joka ei varsinaisesti muuta edellä mainittuja asioita mutta parantaa yrityksen kannattavuutta. Yleisesti ottaen investointi on rahan sijoittamista kohteeseen, josta odotetaan saatavan tuottoja yli vuoden ajan. (Karjalainen 2005, 103; Haverila – Uusi-Rauva – Kouri – Miettinen 2009.)

Investointilaskelmia tehdään, kun halutaan selvittää, mikä investointivaihtoehto on paras tai onko jokin yksittäinen investointi kannattava. Kannattavuuteen vaikuttavat esimerkiksi perushankintakustannus, vuotuiset bruttotuotot ja kustannukset, investointiaika, jäännösarvo sekä laskentakorkokanta. Perushankintakustannus on joko kertakustannus investointiajankohdan alussa tai lyhyen ajan kuluessa suoritettava kustannus. Investointiajalla tarkoitetaan aikaa, jona investoinnista arvioidaan olevan hyötyä. Tämän ajan puitteissa investoinnin tulee maksaa itsensä takaisin korkojen kera. Investoinnin tuottaman koron tulee olla asetettua laskentakorkokantaa suurempi, jotta investointi luokitellaan kannattavaksi. Investoinnin jäännösarvo tarkoittaa investoinnin kohteen arvoa investointiajan lopussa. (Karjalainen 2005, 103.)

#### 3.1 Laskentamenetelmät

Yleisesti tunnetaan viisi investointilaskentamenetelmää: nykyarvo- ja annuiteettimenetelmä, sisäisen korkokannan menetelmä, yksinkertaistettu sisäisen korkokannan menetelmä sekä takaisinmaksuajan menetelmä. Kolme ensimmäistä ovat peruslaskentamenetelmiä ja jälkimmäiset yksinkertaistettuja menetelmiä. (Haverila ym. 2009, 199.) Nykyarvomenetelmää suositellaan kertainvestointeihin ja annuiteettimenetelmää jatkuvaluontoisiin investointeihin. Sisäisen korkokannan menetelmää voidaan käyttää, jos investointi tehdään omalla pääomalla. (Karjalainen 2005, 112.) Sisäisen korkokannan menetelmässä lasketaan pääoman tuottoaste tyypilliselle vuodelle. Sitä voidaan

käyttää, jos lähtöarvot ovat epävarmoja. Korkokanta lasketaan iteroimalla, joten se on työläs laskea ilman taulukkolaskentaohjelmaa. Takaisinmaksuajan menetelmässä selvitetään, milloin investoinnin tuotot ylittävät perushankintakustannukset. Menetelmää käytetään yleisesti, koska se on yksinkertainen. Sillä voidaan arvioida, milloin sijoitettu pääoma saadaan takaisin käyttöön, mutta se ei huomioi investoinnista saatavan koron määrää. (Haverila ym. 2009, 205.) Laskennan kohteena oleva investointi on kertainvestointi, joten sen kannattavuus päätettiin laskea nykyarvomenetelmällä. Lisäksi lasketaan investoinnin takaisinmaksuaika. Tästä johtuen seuraavaksi esitellään vain nykyarvomenetelmän ja takaisinmaksuajan laskenta.

### 3.1.1 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmässä huomioidaan koko investointiaika diskonttaamalla kaikki investoinnin tuotot ja kustannukset nykyhetkeen valitulla laskentakorkokannalla. Diskonttaus tarkoittaa koron käänteistä laskentaa eli lasketaan, minkä arvoinen tulevaisuudessa saatava rahasumma on nykyhetkessä. Diskontattuihin nettotuottoihin lisätään diskontattu jäännösarvo, ja saadusta summasta vähennetään perushankintameno. Jos erotus on positiivinen, investointi on kannattava ja sijoitetulle rahasummalle saadaan vähintään laskentakorkokannan mukainen korkotuotto. (Karjalainen 2005, 104.) Ensin tulee selvittää vuotuiset nettotuotot vähentämällä vuotuisista bruttotuotoista vuotuiset kustannukset. Nettotuottojen yhteinen alkuarvo voidaan laskea kaavalla 1 (Karjalainen 2005, 105).

$$NT_{alku} = NT * \frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n} \quad \text{KAAVA 1}$$

$NT_{alku}$  = nettotuottojen yhteinen arvo hankintahetkellä

$NT$  = vuotuiset nettotuotot

$i$  = valittu korkokanta desimaalilukuna

$n$  = investointiajan pituus vuosina.

Toinen investoinnin arvon lisääjä on sen jäännösarvo. Se lisätään saatuun nettotuottojen nykyarvoon, jolloin saadaan tuottojen arvo hankintahetkellä. Jäännösarvon nykyarvo lasketaan kaavalla 2.

$$JA_{alku} \frac{JA}{(1+i)^n}$$

KAAVA 2

$JA_{alku}$  = jäännösarvon nykyarvo

$JA$  = arvioitu jäännösarvo investointiajan lopussa.

Jos nettotuottojen ja jäännösarvon nykyarvon summa on suurempi kuin perushankintakustannus, investointi on kannattava valitulla laskentakorkokannalla. (Karjalainen 2005, 105.)

### 3.1.2 Takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuajan laskeminen on hyvin yksinkertaista. Sitä varten täytyy selvittää ainoastaan vuotuinen nettotuotto ja perushankintakustannus. Laskelmissa ei tarvitse huomioida laskentakorkoa eikä jäännösarvoa. Takaisinmaksuaika saadaan laskettua kaavalla 3. (Haverila ym. 2009, 206.)

$$t_{tak} = \frac{PHK}{NT}$$

KAAVA 3

$t_{tak}$  = takaisinmaksuaika (v)

$PHK$  = perushankintakustannus

$NT$  = vuotuinen nettotuotto.

Varsinaiset investointilaskelmat on helppo tehdä, kun on ensin selvitetty muut luvut. Se onkin suurempi työ, sillä ainakin tässä tapauksessa kaikki tuotot ja kustannukset koostuvat useammista komponenteista, jotka täytyy selvittää yksi kerrallaan. Seuraavaksi selvitetään, mistä asioista säästöt, tuotot ja kustannukset koostuvat.

### **3.2 Hankintakustannukset**

Perushankintameno sisältää kaikki kustannukset, jotka panevat liikkeelle juoksevat tuotot ja kustannukset (Karjalainen 2005, 103). Tässä tapauksessa siihen sisältyvät laitteen suunnittelu-, hankinta-, asennus- ja käyttöönottokulut. Laitteen hankintakuluihin sisältyy lisäksi mahdolliset toimituskulut, jos ne eivät kuulu ostohintaan. Asennuskuluihin sisältyvät mekaaniset asennukset ja sähköasennukset sekä laitteen kytkeminen automaatiojärjestelmään. Käyttöönottokuluihin sisältyvät laitteen mahdolliset sisäänajot ja takuuajot sekä laitteen toiminnan optimointi. Laitteen optimoinnilla tarkoitetaan eri prosessisuureiden säätämistä siten, että välpeestä saadaan erotettua mahdollisimman paljon materiaalia takaisin prosessiin.

### **3.3 Vuotuiset kustannukset**

Laitteen menoiksi lasketaan vain sellaiset kustannukset, joita koituu laitteen hankinnan johdosta, joten esimerkiksi tilojen lämmityskulut eivät kuulu laitteesta aiheutuviin kustannuksiin. Vuotuiset kustannukset voidaan luokitella kiinteisiin ja muuttuviin kuluihin. Kiinteät kulut juoksevat, vaikka laite ei olisi ollenkaan käytössä. Sen sijaan muuttuvat kulut juoksevat vain, kun laitetta käytetään. Laitteen muuttuvia kuluja ovat sen sähkön ja veden kulutus sekä toiminta-aikaan perustuvien huoltojen kustannukset. Lisäksi laite lisää prosessiin menevän nesteen määrää, joten pumppujen on myös pumpattava enemmän, mikä lisää sähkönkulutusta. Kiinteitä kuluja ovat mahdollisten määräaikaishuoltojen kustannukset. Lisäksi laitteen korjauksesta voi aiheutua yllättäviä lisäkustannuksia, jos laite menee epäkuuntoon. Laitteella on takuu, joten lisäkulut koostuvat takuuajana lähinnä tappioista, joita aiheutuu siitä, ettei laite ole käytössä.

### **3.4 Vuotuiset säästöt ja mahdolliset tulot**

Laite ei tuota ollenkaan kiinteitä tuloja tai säästöjä, ellei se ole toiminnassa. Toimiessaan laite

- vähentää puhtaan veden käyttöä prosessissa
- pienentää hävitettäväksi menevän jätteen painoa
- kierrättää osan orgaanisesta aineksesta takaisin prosessiin.



Kaksi ensin mainittua tuo yritykselle säästöjä ja kolmas tuloja. Kun puhtaan veden käyttö vähenee, vesilasku on pienempi. Välpeen vastaanottava taho laskee yritystä vastaan otetun jätteen painon mukaan, joten seulontajätteen hävityskulut pienenevät. Jos välpepuristin seuloo myös orgaanista ainesta takaisin prosessiin, saadaan lisää asiakkaalle myytävää kaasua sekä lannoitteeksi soveltuvaa mädätysjäännöstä. Säästöjä ja tuottoja saadaan eniten silloin, kun puhtaan veden sekä välpejätteen käsittelyhinnat ovat korkeat ja kun myytävästä biokaasusta sekä mädätejäännöksestä voidaan periä korkeaa hintaa.

### **3.4.1 Säästöjen ja tulojen määrä**

Säästöjen vuotuinen määrä on suoraan verrannollinen käsitellyn välpeen määrään, joten suurimmat säästöt saavutetaan, jos laite toimii jatkuvasti täydellä kapasiteetilla vuoden ympäri. Todellisuudessa puristin toimii vain silloin, kun välpeettä syntyy eli kun biojätettä murskataan ja seulotaan. Tämä tapahtuu työajalla, joten käytännössä laite voi olla toiminnassa arkipäivisin aamuseitsemän ja iltakuuden välillä. Todellinen toiminta-aika on tätäkin lyhyempi, sillä välpeeseula tuottaa puristimen maksimikapasiteettia vähemmän välpeettä. Lisäksi puristimeen ja muihin biojätteen esikäsittelyyn liittyviin laitteisiin täytyy tehdä välillä huoltoja. On myös mahdollista, että esikäsiteltävä biojäte loppuu hetkellisesti joko murskan syöttökaukalosta tai koko varastosta. Näiden seikkojen takia laitteen toiminta-aika ja välpeen keskimääräinen käsittelynopeus tulee arvioida huolellisesti. Laitteen toiminta-aika voidaan arvioida murskan ja seulan toiminta-aikojen mukaiseksi. Myös syntyvän välpeen määrä käsiteltävää jätetonnina kohden tulee selvittää, jotta voidaan arvioida vuodessa käsiteltävän välpeen määrä.

Syntyvien säästöjen ja tulojen määrään vaikuttaa lisäksi käsiteltävän välpeen laatu. Mitä kosteampaa se on, sitä enemmän vettä siitä voidaan erottaa. Jos kiellosta biomassaa saatavan biokaasun myyntiarvo on suurempi kuin veden litrahinta, biomassan erottaminen välpeestä veden lisäksi on kannattavaa. Puristin ei ole vielä toiminnassa, joten puristetun nesteen määrää ja laatua ei päästä mittaamaan. Välpeen koostumus voidaan kuitenkin selvittää. Sen avulla voidaan tehdä oletus, kuinka paljon ja minkä laatuista nestettä välpepuristin voi

puristaa. Puristin tuskin lisää nesteen biomassapitoisuutta, joten voidaan olettaa, että nesteen suurin biomassapitoisuus on yhtä suuri kuin välkkeen biomassapitoisuus.

### **3.4.2 Välkkeen koostumuksen määrittämistekniikan valinta**

Välkkeen koostumusta pohtiessa huomattiin, ettei välkkeen koostumuksen selvittäminen ole aivan yksinkertainen asia. Siihen ei voi soveltaa TS/VS-mittauksia, koska sekä biomassa että muovi palavat kyseisessä kokeessa. Mittauksessa näytteestä haihdutetaan ensin vesi ja sen jälkeen näyte poltetaan tuhkaksi. Syynteen laadun mittauksista on kerrottu tarkemmin seuraavassa kappaleessa. Työpaikalla keskusteltiin eri vaihtoehtoista, esimerkiksi materiaalien käsin erotelusta tai näytteen keittämisestä, mutta ajatukset hylättiin. Lopulta järkevä ratkaisu kuitenkin löytyi: biomassan määrä ja sen muodostama kaasumäärä voidaan määrittää Oulun ammattikorkeakoulun Kotkantien kampuksen laboratorio-tiloissa olevalla mädätyskoelaitteistolla. Samalla voidaan selvittää, kuinka paljon näytteet tuottavat keskimäärin biokaasua ja mikä on kaasun metaanipitoisuus. Lisäksi saadaan selvitettyä näytteen massareduktio.

Mädättämällä saatua energiamäärää voidaan verrata näytteen koko energiasisältöön, kun otetaan huomioon, että kaikki biomassa ei kaasuunnu koeajan puitteissa. Näytteen energiasisältö saadaan määritettyä samaisista laboratoriotiloista löytyvällä pommikalorimetrillä. Myös palavien aineiden massa voidaan selvittää, kun punnitaan näytteet ennen kalorimetrikokeita sekä niiden jälkeen. Polttamalla ja mädättämällä saatuja massareduktioita voidaan vertailla keskenään. Näytteet tulee kuivata, ennen kuin ne voidaan polttaa kalorimetrissä, jotta samalla voidaan määrittää näytteiden kosteuspitoisuus. Näin saadaan selvitettyä välkkeen keskimääräinen koostumus, jonka avulla voidaan tehdä oletuksia välkpepuristimen erottaman nesteen määrästä ja laadusta.

Välkpepuristin on pieni osa biokaasulaitoksen toimintaa. On hyvä esitellä biokaasun tuotannon perusteita, jotta lukijalle välittyisi selvä kuva siitä, mitä investointin kohteena oleva laite käsittelee ja miksi. Lisäksi luodaan yleiskatsaus eri laitos- ja prosessityyppeihin.

## 4 BIOKAASUN TUOTANTO

Biokaasua syntyy, kun eloperäinen aines mätänee hapettomissa olosuhteissa. Sitä syntyy luonnossa esimerkiksi soilla ja eläinten suolistossa. Syntynyt kaasu sisältää pääosin metaania ja hiilidioksidia. Metaani tunnetaan myös nimellä maakaasu. Se on 20 - 70 kertaa hiilidioksidia voimakkaampi kasvihuonekaasu. Orgaanisen aineen käsittely mädättämällä vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, sillä prosessissa syntyvä kaasu saadaan talteen eikä se pääse lämmittämään ilmakehää. Lopputuotteena syntyy ravinteikasta mädätysjäännyttä, jota voidaan käyttää lannoitteena viljelykasveille tietyin rajoituksin. (Biokaasuyhdistys 2016.)

Suomessa toimi vuoden 2016 lopussa 48 biokaasua tuottavaa laitosta. Jätevedenpuhdistamoilla toimivia laitoksia oli 16, kuten myös yhteiskäsittelylaitoksia. Maatilalaitoksia oli 13 ja teollisuuden jätevesiä käsitteleviä laitoksia 3. Reaktorilaitokset tuottivat kaasua noin 77,6 miljoonaa kuutiometriä. Kaatopaikkalaitoksista eli käytännössä vanhoista jätevuorista saatiin hieman enemmän kaasua kuin reaktorilaitoksista. (Huttunen – Kuittinen 2017, 3.) Toisaalta kaatopaikkalaitosten tuottaman kaasun laatu on yleisesti ottaen huonompaa kuin reaktorilaitosten, koska reaktoreissa voidaan pitää yllä mikrobien kannalta optimaalisia olosuhteita.

Biokaasun tuotanto voi olla haitaksi ympäristölle, jos laitoksia ei rakenneta kunnolla. Ympäristöön voi esimerkiksi levitä epämiellyttäviä hajuja, jos prosessissa syntyviä hajukaasuja ei neutralisoida tarpeeksi tehokkaasti. Pahimmassa tapauksessa jokin säiliö tai kaasuputki särkyä ja sisältö pääsee purkautumaan hallitsemattomasti ympäristöön. Biokaasun sisältävä metaani on helposti syttyvää, joten vuodosta voi pahimmillaan seurata räjähdys. Syypäitä onnettomuuteen voivat olla heikkolaatuinen suunnittelu ja rakentaminen tai virheellinen laitoksen operointi. Suomessa on säädetty monia suunnitteluun, rakentamiseen ja operointiin liittyvää lakia, jotta edellä mainittuja tilanteita ei pääsisi syntymään. Tällainen on esimerkiksi ympäristönsuojelulaki, jossa on myös määritelty paras käytettävissä oleva tekniikka.

## 4.1 Kaasuntuotanto

Orgaanisen aineen hajoaminen biokaasuksi sisältää neljä vaihetta. Ensimmäinen vaihe on hydrolyysi, jossa syötteen sisältämä orgaaninen aines eli hiilihydraatit, proteiinit ja rasvat hajoavat sokereiksi, aminohapoiksi ja pitkäketjuisiksi rasvahapoiksi. Toinen vaihe on asidogeneesi eli happokäyminen, jolloin syntyy hetkellisinä välituotteina propionaattia ja butyraattia. Nämä kuitenkin hajoavat asetogeneesivaiheessa etikkahapoksi ja vedyksi, jota metaanintuottobakteerit käyttävät edelleen muodostaen metaania. (Latvala 2009, 29.)

Eri prosessityypit voidaan jakaa lämpötilan mukaan mesofiiliseen prosessiin, jonka toimintalämpötila on 35 - 37 °C, sekä termofiiliseen prosessiin, joka toimii 50 - 55 °C:n lämpötila-alueella. Suomessa käytetään yleisesti mesofiilistä prosessia, koska talvella termofiilisen prosessin lämmityskustannukset nousisivat merkittäviksi. Mesofiilinen prosessi on myös vähemmän herkkä kuormituksen, pH:n ja lämpötilan vaihteluille. Toisaalta termofiilisen prosessin hygienisointiaste on parempi. Lisäksi termofiilinen prosessi on tehokkaampi, jolloin reaktoria voi kuormittaa enemmän ja reaktorin koko pienenee, jos syötteen vuotuinen kokonaismäärä pysyy vakiona. (Latvala 2009, 34.)

Reaktorin kuormitus on luokkaa 3 - 9 kgVS/r-m<sup>3</sup>/d. Se tarkoittaa, että yhden kuutiometrin kokoista reaktoria voidaan kuormittaa kolmesta yhdeksään kiloon orgaanista ainetta päivässä. Jos reaktoria kuormittaa liikaa, alkupään hapontuottobakteerit villiintyvät laskien reaktorin pH:ta, mikä heikentää metaanintuottobakteerin elinoloja. Jos sitä kuormitetaan liian vähän, reaktorin pH on vaarassa nousta, jolloin hapontuottobakteerien elinolot kärsivät. Kummassakin tapauksessa koko kaasuntuotantoprosessi voi pysähtyä. Reaktorin tilaa seurataan mittaamalla VFA/alkaliteetti-suhde. VFA (*Volatile Fatty Acids*) tarkoittaa haponmuodostusvaiheessa syntyviä haihtuvia rasvahappoja, jotka pyrkivät laskemaan pH:ta. Liuoksen puskurikapasiteettia kutsutaan alkaliteetiksi. Suositeltava alkaliteettitaso biokaasulaitoksissa on välillä 3500 - 5000 mg CaCO<sub>3</sub>, ja hyvin toimivan reaktorin VFA/alkaliteettisuhde on alle 0,25. (Latvala 2009, 34 - 36.) Mittaus on erittäin tärkeä, sillä usein jos pH lähtee laskemaan tai nousemaan, ollaan jo erittäin vaikeassa tilanteessa, koska

prosessi reagoi kuormituksen muutoksiin hitaasti. Häätapauksessa voidaan reaktoriin syöttää kalkkia tai natriumhydroksidia hidastamaan pH:n laskua.

Syöte viipyy reaktorissa keskimäärin 12 - 30 päivää riippuen reaktorin koosta ja sekoituksen laadusta sekä materiaalin tasalaatuisuudesta, kuiva-ainepitoisuudesta (*Total Solids, TS*) ja orgaanisen aineksen määrästä (*Volatile Solids, VS*). Pitkällä viipymäajalla saavutetaan parempi VS:n reduktio ja saadaan syötteestä enemmän biokaasua, mutta toisaalta lämmityksen- ja sekoituksen tarve kasvaa. Liian lyhyt viipymäaika taas ylikuormittaa reaktoria. Viipymäaika katsotaan riittäväksi, kun VS-pitoisuus on tippunut 50 - 60 % ja biokaasun tuotanto on tasaista. Mesofiilisessa prosessissa suositellaan kolmen viikon mittaista viipymää. (Latvala 2009, 35.) Voidaan siis olettaa, että mesofiilisen prosessin orgaanisen aineksen massareduktio on vähintään 50 % kolmessa viikossa. Reaktoriin menevästä ja sieltä lähtevästä syötteestä mitataan säännöllisesti TS- ja VS-pitoisuudet, jotta voidaan tarkkailla massareduktiota. Mittaus toteutetaan siten, että ensin näyte punnitaan ja laitetaan haihdutusuuniin. Kun vesi on haihtunut, näyte punnitaan uudelleen ja siirretään polttouuniin. Palava aines poltetaan ja näytekuppiin jäänyt tuhka punnitaan. Punnitustuloksista voidaan laskea, kuinka paljon näytteessä on vettä sekä palavia ja palamattomia kiintoaineita.

Reaktorista poistuva mädätejäännös on ravinteikasta, joten yleensä siitä valmistetaan lannoitetta. Lannoitteeksi sopimaton mädäte voidaan kompostoida, kuivata tai polttaa. Kompostoidun ja kuivatun mädätteen käyttökohteita ovat esimerkiksi kaatopaikan verhoilu, viherrakentaminen ja maisemointi. Suuria määriä haitallisia aineita tai epäpuhtauksia sisältävä mädäte sijoitetaan kaatopaikalle.

## **4.2 Eri prosessityypit**

Biokaasuprosessit voidaan jakaa syötteen kuiva-ainepitoisuuden mukaan. Kuivaprosessissa syötteen kuiva-ainepitoisuus on 20 - 50 % ja märkäprosessissa 5 - 15 %. Märkäprosessi mahdollistaa syötteen siirtelyn pumppaamalla, joten käytännössä märkäprosessin kuiva-ainepitoisuuden ylärajan määrää pumppujen ja sekoittimien rakenteellinen kestävyys. Märkäprosessi on täyssekoitteinen, eli eri

aikoihin syötetyt materiaalit pääsevät sekoittumaan keskenään. Jatkuvatoiminen täyssekoitteinen märkäprosessi onkin yleisimmin käytössä Suomessa. (Latvala 2009, 29 - 31.)

Kuivaprosessin etuna on suurempi orgaanisen aineksen tiheys, jolloin kaasua saadaan enemmän ja käsittelyjäännöstä syntyy vähemmän suhteessa reaktorikokoon. Toisaalta syötteen siirtely on hankalampaa. Kuivaprosessit voidaan jakaa kahteen tyyppiin, jatkuvatoimiseen ja panostoimiseen prosessiin.

Jatkuvatoimisessa tulppavirtaus-kuivaprosessissa syötettä liikuttaa keskeltä suljettu kuljetinruuvi. Toisesta päästä lisätään jatkuvasti syötettä. Syöte mätänee matkalla ruuvin toiseen päähän. Siihen ruiskutetaan alkupäässä sopivan bakteerikannan omaavaa nestettä eli ymppeä, jota kerätään ruuvin loppupäästä. Biokaasu nousee ruuvikotelon yläosaan, josta se poistetaan. Panostoimisessa kuivaprosessissa syöte-erä kuljetetaan reaktoriin kauhakuormaajalla. Reaktorissa syötepanokseen ruiskutetaan myös ymppeä. Käsittelyajan lopussa syötteen sisältö lajitellaan ja lajiteltu syöte jälkikompostoidaan tai jatkojalostetaan lannoitteeksi. Neste pysyy reaktorissa bakteerikantoinen, joten myös seuraava panos saa kaasuuntumiseen tarvittavat bakteerit. (Latvala 2009, 32 - 33.)

### **4.3 Eri laitostyypit**

Biokaasulaitokset voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin: maatilalaitokset, jätevedenpuhdistamoiden yhteydessä olevat laitokset sekä yhteiskäsittelylaitokset. Maatilamittakaavan laitokset ovat yleensä pieniä, lähinnä omaan käyttöön rakennettuja laitoksia. Syötteet muodostuvat pääosin omasta ja sopimustilojen lannasta sekä kasvibiomassasta. Biokaasua tuotetaan yleensä vain omaan käyttöön ja käsittelyjäännös levitetään omille pelloille. Jätevesilietteitä voidaan käsitellä myös anaerobisesti jätevedenpuhdistamoilla. Tällöin laitokset käsittelevät vain puhdistamoiden, teollisuuden ja sakokaivojen lietteitä eikä käsittelyjäännös sovi lannoitteeksi. Yhteiskäsittelylaitoksilla voidaan käsitellä lietteiden kasvibiomassan lisäksi erilliskerättyä biojätettä, kaupan biojätettä sekä teollisuuden biohajoavia jätevirtoja. Biokaasua tuotetaan yleensä myyntiin asti. Lisäksi

käsittelyjäännöksestä pyritään jalostamaan myytävää lannoitetta. Myös pelkään erilliskerättyä biojätettä käsitteleviä laitoksia kutsutaan yhteiskäsittelylaitok- siksi. (Latvala 2009, 19 - 21.)

#### 4.4 Biokaasun tuotannon säädökset

Biokaasua ja lannoitetta myyvien yhteiskäsittelylaitosten on noudatettava monia eri lakeja. Jos laitos käsittelee jätettä vähintään 20 000 tonnia vuodessa, hank- keeseen täytyy soveltaa ympäristövaikutusten arviointimenettelyä (YVA) (Latvala 2009, 18). YVA-menettelyn tarkoituksena on tuottaa tietoa hankkeen ympäristövaikutuksista, eri hankevaihtoehdoista ja negatiivisten vaikutusten lie- ventämismahdollisuuksista. Tietoa käytetään apuna suunnittelussa ja päätök- senteossa. Lisäksi menettely parantaa kansalaisten tiedonsaantia ja osallistu- mismahdollisuuksia. (Gasum Biotehdas Oy, Oulun biokaasulaitoksen laajennushanke. 2016. 24.) Lailla valvotaan mm. päästöjä, hajuja, tuotteiden laatua, turvallisuutta sekä häiriötilanteisiin varautumista. Seuraavaksi esitellään laitoksen toimintaan eniten vaikuttavat säädökset.

Euroopan parlamentin ja neuvoston määräämä sivutuoteasetus (1774/2002/EY) vaikuttaa biokaasulaitosten toimintaan merkittävästi. Se koskee ”muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden terveystähtöjä”. Asetus jakaa sivutuotteet kolmeen luokkaan, joille on omat käsittelyvaatimuksensa (taulukko 1). Useimmat Suomen yhteiskäsittelylaitokset käsittelevät luokan 3 sivutuotteita.

*TAULUKKO 1 Sivutuoteasetuksen mukaiset käsittelyvaatimukset (Latvala 2009, 17)*

	Luokka 1	Luokka 2	Luokka 3
Materiaali	Sivutuotteet joissa on TSE- taudin riski, tuntematon riski, tai ne sisältävät kiellettyjen aineiden tai ympäristömyrky- jen jäämiä	Sivutuotteet joissa on muiden eläintautien kuin TSE-tautien tai eläinlääkejäämien riski	Sivutuotteet jotka on saatu ihmisravinnoksi hyväksytyistä eläimistä, mutta joita ei kuiten- kaan käytetä elintarvikkeena tai sen raaka-aineena
Syötteen käsittely ennen reaktoria tai sen jälkeen	Ei sovellu käsiteltäväksi biokaasulaitoksessa	Sterilointi (133 °C, 3 bar, 20 min, partikkelikoko < 50 mm)	Hygienisointi (70 °C, 60 min, partikkelikoko < 12 mm)**
Esimerkkimateriaaleja		Lanta*, itsestään kuolleet tai muutoin kuin ihmisravinnoksi teurastetut tuotantoeläimet	Elintarviketeollisuuden sivu- tuotteet, ruokajäte (kansal- linen hyväksyntä; ei edellytä hygienisointiä, jos termofiilinen käsittely)

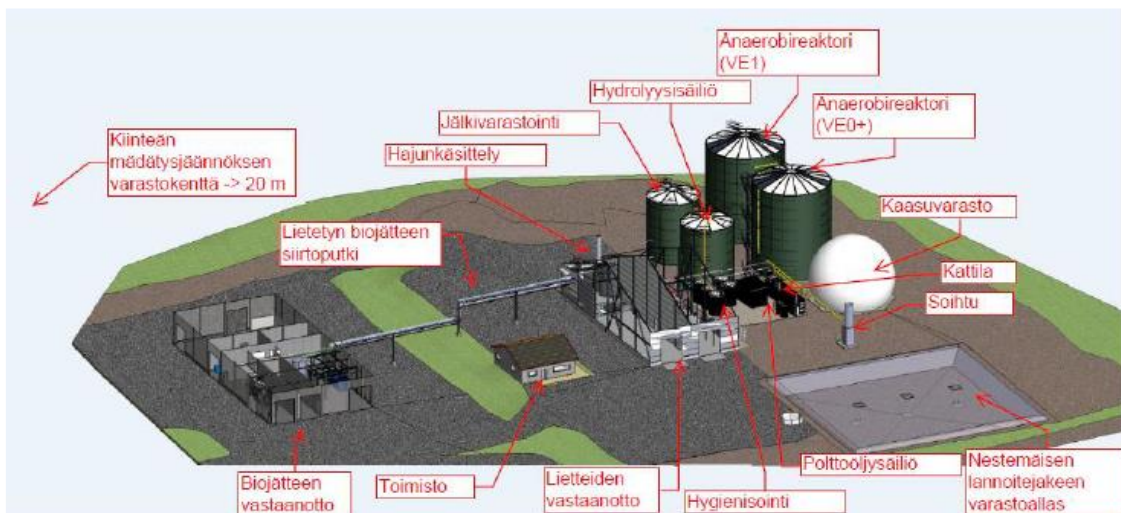
Mädätysjäännöksestä lannoitetta tuottavan biokaasulaitoksen on täytettävä myös lannoitelainsäädännön vaatimukset. Jos yritys valmistaa, käsittelee tai varastoi orgaanisia lannoitevalmisteita, sen on oltava Eviran hyväksymä. Lainsäädäntöön kuuluu myös lannoitteita koskevan valvonnan järjestäminen. Biokaasulaitosten tuottamien lannoitevalmisteiden tulee kuulua jonkun lannoitevalmisteiden tyyppinimiluettelossa olevan tyyppinimen alle (MMMä 12/07, liite 1). Laitoksella valmistettavien lannoitteiden tyyppinimiä voivat olla Rejektivesi, Mädätysjäännös, Maanparannuskomposti sekä Tuorekomposti. Lisäksi lannoitevalmisteiden on oltava puhtaita salmonellasta (ei todettu/25g) ja Escherichia Coli -bakteeriakin saa löytyä enintään 1000 pmy/g.

Puhdistamolietettä sisältävälle lannoitteelle on myös oma asetuksensa. Sen mukaan esimerkiksi yli 10 % puhdistamolietettä sisältävää lannoitetta ei saa käyttää tuoreille vihanneksille, yrtti- ja juurimausteille, kotipuutarhoihin eikä taimituotantoon, ja nurmillekin ainoastaan perustamisvaiheessa. (Gasum Biotehdas Oy, Oulun biokaasulaitoksen laajennushanke. 2016. 44 - 46; Latvala 2009, 17.)



## 5 OULUN BIOKAASULAITOKSEN PROSESSIKUVAUS

Oulun biokaasulaitoksen prosessityyppi on jatkuvatoiminen mesofiilinen märkä-prosessi. Kuvassa 4 on havainnekuva biokaasulaitoksesta ennen laajennusta. Tuolloin laitoksessa oli tosin vain yksi anaerobireaktori. Biojäte esikäsiteltiin rakennuksessa, joka oli aiemmin toiminut kompostointilaitoksena. Lietteiden kuivaus tapahtuu samassa rakennuksessa, joten saatu prosessivesi oli helppo pumpata viereiseen halliin takaisin prosessin alkupäähän.



*KUVA 4 Biokaasulaitoksen havainnekuva (Gasum Biotehdas Oy, Oulun biokaasulaitoksen laajennushanke 2016, 31)*

Laimennettu ja seulottu biojäte pumpataan putkisiltaa pitkin noin 400 m<sup>3</sup>:n kokoiseen vastaanottoaltaaseen, jossa se sekoitetaan muiden jätejakeiden kanssa homogeeniseksi syötteenä. Syöte pumpataan murskapumpun ja hiekamerotustaskun kautta hydrolyysisäiliöön, jonka tilavuus on noin 800 m<sup>3</sup>. Säiliö toimii sekä puskurivarastona että esimädättämönä. Puskurivarastoa tarvitaan esimerkiksi pidempien arki- ja juhlapyhien aikaan, jotta reaktoria voidaan syöttää säännöllisesti syötteen loppumatta kesken. (Gasum Biotehdas Oy, Oulun biokaasulaitoksen laajennushanke 2016, 37.)

Laitos käsittelee luokan 3 sivutuotteita, joten hydrolyysin jälkeen syöte pumpataan noin 20 m<sup>3</sup>:n kokosiin hygienisointisäiliöihin, joissa syöte viipyy vähintään

60 minuuttia lämpötilan pysyessä yli 70 °C:ssa. Säiliöitä on kolme, joista vähintään yksi prosessoi jatkuvasti syötettä. Toista säiliötä täytetään ja kolmatta puretaan samaan aikaan, jotta kuumasta prosessoidusta syötteestä saadaan siirrettyä lämpöenergiaa viileään, hygienisointiprosessiin menevään syötteeseen.

Syöte pumpataan täyssekoitteiseen ilmatiiviiseen reaktoriin, jonka tilavuus on noin 2700 m<sup>3</sup> ja lämpötila 35 - 38 °C. Syöte viipyy reaktorissa noin 18 - 23 päivää. Tämän jälkeen se pumpataan hydrolyysisäiliön kokoiseen jälkimädätesäiliöön. Säiliössä liete jäähtyy ja kaasuntuotto hiipuu. Säiliö toimii myös puskurivarastona, jotta reaktoria voidaan purkaa myös pyhien aikaan ja kuivattavaa käsittelyjäännöstä on aina riittävästi saatavilla. (Gasum Biotehdas Oy, Oulun biokaasulaitoksen laajennushanke 2016, 39.)

Saatu biokaasu johdetaan jokaisesta säiliöstä yhteiseen kanavaan, joka johdetaan kondenssikolonille, johon enimmänsä biokaasussa olevan veden on tarkoitus tiivistyä. Kaasu jatkaa matkaansa pallon muotoiseen kaasuvärsäön, jonka tilavuus täytenä on noin 1 800 m<sup>3</sup>. Jos tuotantoa on enemmän kuin kulutusta, joudutaan ylimääräinen kaasu polttamaan hätäsoihdulla, jotta kaasu ei pääse purkautumaan hallitsemattomasti ilmakehään. Normaalitytilanteessa kaasu kuitenkin myydään asiakkaalle, jolloin se ensin jäädytetään, jotta loputkin kaasun sisältämästä vedestä saadaan poistettua, ja sitten puhdistetaan rikkivedystä sekä siloksaaneista aktiivihiilen avulla. Osa kaasusta käytetään myös omassa lämpökattilassa kuuman veden tuotantoon. (Gasum Biotehdas Oy, Oulun biokaasulaitoksen laajennushanke 2016, 46.)

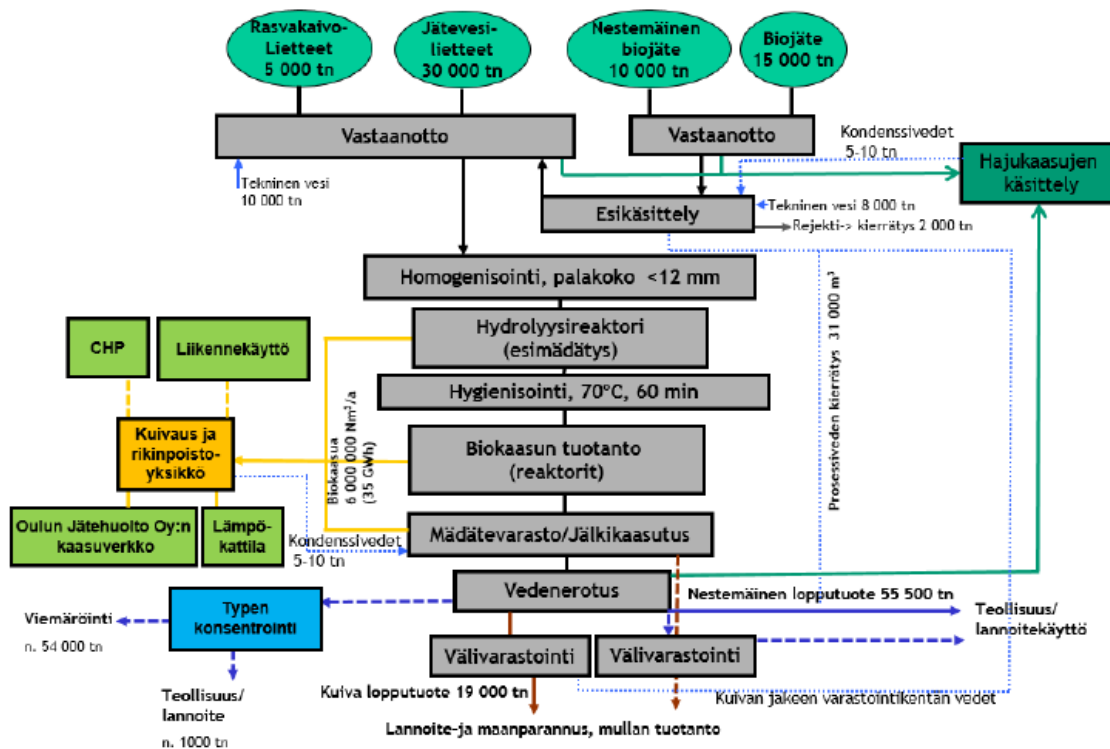
Biojätteen esikäsittelyssä, vastaanottoaltaassa sekä lietteen kuivauksessa syntyy hajukaasuja, jotka käsitellään kolmella tavalla: Ensimmäisessä halleista imettävä ilma ohjataan hajukaasupesurille, jossa epäpuhtaudet sitoutuvat veteen. Tämän jälkeen hajukaasut otsonoidaan. Lopuksi ilma johdetaan aktiivihiilien läpi ulkoilmaan.

Laitos on tyypiltään yhteiskäsittelylaitos. Laitoksen käsittelykapasiteetti oli ennen laajennusta 19 000 tonnia, mutta nyt 60 000 tonnia vuodessa, josta

- kiinteää biojätettä 15 000 tn/a (TS 28 %)

- nestemäistä biojätettä 10 000 tn/a (TS 12 %)
- jätevesilietettä 30 000 tn/a (TS 20 %)
- rasvalietteitä 5 000 tn/a (TS 5 %).

Käsiteltävien jakeiden keskimääräinen kiintoaines- eli TS-pitoisuus on liian suuri märkäprosessiin. Tavoitteena on pitää prosessiin menevän syötteen TS-pitoisuus 12 %:ssa, joten sitä täytyy laimentaa kuivatusta mädätysjäännöksestä saatavalla prosessivedellä. Kuivaus tapahtuu dekanterilingolla. Yksi linko ei kuitenkaan tuota tarpeeksi prosessivettä biojätteen esikäsitelyssä tapahtuvaan syötteen laimennukseen. Kahden lingon tuottama vesimäärä riittää esikäsitelyyn, ja lisäksi prosessivettä jää yli, jos lingot toimivat täydellä kapasiteetilla. Ylijäävää prosessivettä voidaan käyttää nestemäisenä lannoitteena tai jatkojalostaa muulla tavalla, kuten kuvassa 5 esitetyllä typen konsentroinnilla. Kuva tiivistää edellä esitetyn prosessikuvauksen.



KUVA 5 Biokaasulaitoksen prosessikaavio laajennustyön jälkeen (Gasum Bio-  
tehdas Oy, Oulun biokaasulaitoksen laajennushanke 2016, 31)

Opinnäytetyötä tehtäessä laitoksella oli käytössä vain yksi linko, jolloin jouduttiin käyttämään vesijohtoverkosta saatavaa teknistä vettä sen jälkeen, kun proses-sivesi oli käytetty loppuun. Toinen vaihtoehto olisi ollut pysäyttää esikäsittely-prosessi ja odottaa prosessivesisäiliön täyttymistä, mutta silloin päivän aikana esikäsitellyn biojätteen määrä olisi jäänyt liian pieneksi. Tässä tapauksessa väl-pepuristin säästää veden käytöstä aiheutuneita kustannuksia. Toinen linko tul-laan kuitenkin ottamaan käyttöön laitoksen laajennuksen valmistuttua, jolloin tal-teen saadun rejektiveden arvo tulee todennäköisesti putoamaan, koska sen ei tarvitse enää korvata teknistä vettä.

Jos rejektivesi saadaan kaupallistettua jollain tavalla, voi sen arvo olla nollaa suurempi, mutta asiaa on vaikea arvioida vielä tässä vaiheessa. Vaikka talteen saadulla vedellä ei olisi rahallista arvoa, ei kannattavuus muutu merkittävästi, koska siitä saatavien säästöjen määrä on hyvin paljon pienempi, kuin välppeen hävittämiskustannusten putoamisen aikaansaama säästö.

## 6 VÄLPPEEN MÄÄRÄ JA KOOSTUMUS

Kannattavuuslaskennan kohteena oleva välpepuristin tuo säästöjä ja tuloja yritykselle silloin, kun se erottaa vettä ja biomassaa välppeestä ja syöttää sen takaisin prosessiin. Laite ei ole vielä toiminnassa, joten erotetun nesteen laatua ja koostumusta ei päästä mittaamaan. Niistä voidaan vain tehdä oletuksia, jotka perustuvat laitetoimittajan lupaamaan massareduktioon sekä välppeen koostumukseen ja muodostumismäärään.

Laitetoimittajan mukaan välppeen massareduktio on vähintään 20 %, ja laite voi kuivata sen ainakin 50 prosentin kuiva-ainepitoisuuteen (Strömberg 2017). Jos oletetaan, että kaikki poistettu neste on vettä, välppeen pienimmän kosteuspitoisuuden voi ratkaista. Lopussa välpettä on 2 osaa, joista 1 osa vettä ja 1 kuiva-ainetta. Alkuperäisen välppeen massa pienenee 20%, joten alkuperäinen kokonaismassa on  $(2/0,8) = 2,5$ , josta vettä 1,5 osaa ja kuiva-ainetta 1 osa.  $2,5/1,5 = 0,6$  eli välppeen kosteusprosentin tulee olla vähintään 60, jotta laitetoimittajan ilmoittamaan massareduktioon voidaan päästä edes teoriassa.

Laite voi erottaa myös biomassaa, koska se suihkuttaa välppeeseen teknistä vettä ennen puristusta. Tarkoitus on pestä hienojakoinen biomassa pois, jolloin puristettava välpe on kuitupitoisempaa ja siitä saataisiin puristettua paremmin vettä. Välppeestä erotettu suotoneste sisältää siis myös biomassaa, josta saadaan myytävää biokaasua sekä lannoitetta. Silmämääräisesti on havaittu, että käsittelystä biojätteestä riippuen välpe voi sisältää huomattavasti biomassaa, joka ei murskaannu helposti, esimerkiksi hedelmien ja vihannesten kuoria. Välpepuristimen suotoreiät ovat vain muutaman millimetrin kokoiset, joten laite ei voi erotella kaikkea välppeessä olevaa biomassaa. Oletetaan, että nesteen biomassapitoisuus on korkeintaan yhtä suuri kuin käsittelemättömän välppeen biomassapitoisuus.

Välppeen koostumus täytyy mitata, jotta voidaan arvioida, onko 20 %:n massareduktioon mahdollista päästä ja voisiko massareduktio olla suurempikin. Laite voi erottaa merkittävän osan biomassaa vuoden aikana, joten välppeen biomass-

sapitoisuus tulee selvittää, jotta voidaan arvioida erotetun biomassan vaikutuksia kaasun ja lannoitteen tuotantoon. Välkkeen koostumus päätettiin määrittää kolmella eri laitteistolla. Yhdellä mitataan kosteuspitoisuus, toisella biokaasun muodostumismäärä ja kolmannella energiasisältö. Työn suoritus jakautuu seuraaviin vaiheisiin: näytteiden keruu, näytteiden mädättäminen biokaasutuslaitteistolla, näytteiden kuivattaminen ja polttaminen pommikalorimetrissä sekä tulosten keruu ja analysointi.

Syntyvän välkkeen määrä vaikuttaa suoraan kannattavuuteen, koska laitteen tuomat säästöt ja tulot kasvavat sitä mukaa kun käsiteltävän välkkeen määrä lisääntyy. Välkpepuristimen toiminta on sidoksissa murskan toimintaan, joten murskan ei tulisi tuottaa välkettä enempää kuin välkpepuristin pystyy käsittelemään. Välkkeen muodostumismäärää päätettiin tutkia viikon ajan. Kaikki sisään tuleva jäte punnitaan, joten myös viikon aikana vastaanotetun kiinteän biojätteen paino saadaan selville. Välkkeen muodostumismäärä vastaanotettua jätetonnina kohti voidaan laskea, kunhan mitatulla ajanjaksolla ajetaan kaikki samalla viikolla tuodut biojätteet prosessiin. Välkpe kulkeutuu aluksi liukuhihnaa pitkin kippikonttiin. Kontin tilavuus tunnetaan, joten muodostuneen välkkeestä voidaan mitata painon lisäksi myös tilavuus. Ensin esitellään välkkeen koostumuksen määrittämisprosessi ja tulokset, minkä jälkeen kerrotaan välkkeen muodostumismäärä mittauksesta.

## **6.1 Näytteiden keräys ja säilytys**

Koska biokaasutuslaitteistossa oli paikka 15 eri näytteelle, päätettiin ottaa näyte välkkeestä neljältä eri päivältä ja jakaa näytteet kolmeen osaan. Kolme viimeistä paikkaa varattiin ”nollapulloille”, joissa on pelkkää ymppiä. Ymppi on biokaasureaktorista kerättyä syötettä, joka sisältää oikeanlaisen bakteerikannan, jolla näytteiden kaasuuntumisprosessi saadaan käyntiin. Ympin kaasuntuotto tulee huomioida välkenäytteen kaasuntuottoa laskettaessa. Kolmeen osaan jaetun näytteen kahdesta osasta mitattiin koko kaasumäärä, jotta voidaan arvioida, kuinka homogeenista näyte on biohajoavan materiaalin suhteen. Kolmannesta osasta mitattiin pelkkä metaanintuotto, jotta voidaan arvioida tuotetun biokaasun metaanipitoisuutta.

Näytteet kerättiin Gasum Oulun Biotehtaalta töiden ohessa. Ensimmäisenä päivänä 26.6.2017 prosessiin syötettiin kotitalouksien tuottamaa biojätettä sekä leipää ja jauhoja. Toinen näytteenottopäivä oli 28.6., jolloin syötettiin pelkkää erilliskerättyä biojätettä, jossa on jonkin verran epäpuhtauksia. Kolmantena päivänä 29.6. syötettiin paljon puutarhajätettä sisältävää biojätettä. Vaikka puutarhajäte tulisi lajitella erikseen, tulee sitä kuitenkin kesäisin huomattavasti erilliskerätyn biojätteen mukana laitokselle. Neljäntenä päivänä 30.6. prosessiin ajettiin erilliskerätyn biojätteen lisäksi leipää, taikinaa ja maitojauhetta. Jauhot ja maitojauhe takertuvat suurempiin partikkeleihin, joten sitä jää selvästi välkkeen sekaan. Jauhoinen välpe erottuu selkeästi muusta välkkeestä, koska se on väriältään vaaleampaa. Näytteet otettiin muovisiin, noin 1 litran kokoisiin purkkeihin. Ne merkittiin, laitettiin pussiin ja pakastettiin, jotta näytteet pysyvät koostumukseltaan muuttumattomina kokeiden aloituspäivään asti.

## **6.2 Kaasuuntumiskoe**

Mädätysprosessi aloitettiin koelaitteistolla sunnuntaina 9.7.2017. Laitteisto sijaitsee Oulun ammattikorkeakoulun laboratoriotiloissa osoitteessa Kotkantie 1, 90250 Oulu. Laitteisto oli ennestään tuttu, sillä välkkeen koostumuksen määrittästä harjoiteltiin jo keväällä 2017. Tällöin nousi esiin erilaisia ongelmia, joista otettiin opiksi, jotta tähän opinnäytetyöhön tulevat kokeet onnistuisivat mahdollisimman hyvin. Tällöin ohjaavana opettajana toimi laboratorioanalyttikko Joni Kosamo.

Näytteitä päätettiin mädättää kolme viikkoa, koska se on syötteen laskennallinen läpimenoaika Ruskon biokaasulaitoksella. Kokeiden lopetuspäivä oli siis 30.7.2017. Todellisessa tilanteessa talteen saatu biomassa viipyisi reaktorissa keskimäärin kyseisen ajan. Tässä ajassa biomassapitoisuuden pitäisi ainakin puolittua.

### **6.2.1 Käytetty laitteisto**

Käytetty mittauslaite on Bioprocess Controlin Automatic Methane Potential Test System II (AMPTS II). Laitteisto koostuu kaasutusosasta, mittausosasta ja tiedonkeruusosasta (kuva 6).



*KUVA 6 Mädätyskoelaitteisto sekä välpenäytteet*

Kaasutusosa on harmaa laatikko kuvassa olevan pöytätason vasemmassa reunassa. Sen oikealla puolella oleva sinikantinen laatikko on mittausosa. Mittausosa on yhdistetty tietokoneeseen, joka kerää ja tallentaa mittausdatan. Lisäksi kuvassa on neljä purkkia, joissa on eri päivien välpenäytteet. Näytteiden takana on Precisa XT2200C -merkkinen vaaka, jolla näytteet punnittiin.

Kaasutusosa on kuin pieni amme, jossa on n. 25 cm vettä. Veden pinnan tasolla on reikälevy, jonka tarkoitus on pitää reaktoripullot pystyasennossa. Levyssä on 15 reikää, joten sillä voi tehdä 15 koetta samanaikaisesti. Ammeessa on lämpötila-anturi ja sähköiset lämmittimet, jotka pitävät veden halutussa lämpötilassa.

Myös mittausosassa on vesitila. Sen pohjassa on suorakaiteen muotoisia läppäjä, jotka ovat toisesta päästään saranoituja mittausammeen pohjaan. Kun pullossa oleva näyte alkaa kaasuuntua, kaasu johdetaan letkulla mittausosaan läppäjäjen alle. Kun kaasua kertyy tarpeeksi läppäjäjen alle, sen noste voittaa läppäjäjen painon ja läppäjä nousee. Kun tiedetään, minkä kokoisen kuplan nosteesta läppäjä nousee, voidaan laskea tuotettu kaasumäärä. Sitä ei tarvitse laskea itse, sillä



tiedonkeruuohjelma laskee automaattisesti kaasuntuoton ja tallentaa sen muistiin.

Kuvassa 6 näkyy kaasutusosan ja mittausosan välissä viisi lasiastiaa, joissa on natriumhydroksidiliuos. Korkissa on kaksi yhdettä, joista toinen menee korkin läpi ja toinen jatkuu astian pohjalle. Muodostunut biokaasu johdetaan astian pohjalla olevaan liuokseen. Liuos sitoo biokaasun sisältämän hiilidioksidin, jolloin mittauslaitteelle kulkeutuu lähinnä pelkkää metaania.

Tiedonkeruuosa on kannettava tietokone, jonka kovalevylle tulokset tallentuvat. Mittauksia varten Bioprocess Control on kehittänyt simppelin tiedonkeruuohjelman. Mittausosa kytketään tietokoneeseen Ethernet-kaapelilla. Ohjelma toimii internet-selaimella. Ohjelmaan syötetään näytteen tiedot, tyhjän pullon paino, koepulloon laitetun näytteen paino sekä lisätyn ympin paino. Ohjelmalla voi myös ohjata pullojen sekoittimia.

Reaktoripulloja täytyy sekoittaa silloin tällöin, jotta bakteerit pääsevät levittäytymään kaikkialle kaasutettavaan materiaaliin ja kaasuntuotanto on tehokkaampaa. Sekoittimessa on kaksi osaa; toisessa on sähkömoottori ja kierteet pullon sulkemiseksi, toisessa taas on pulloon menevä sekoitinpää. Sähkömoottorin akseli on yhdistetty pitkään teräspuikkoon, joka menee sekoitinpään sisään. Sekoitinpää toimii samalla biokaasupullon korkkina. Siinä on myös kaksi yhdettä, joista toinen menee kaasun mittauslaitteelle ja toinen on tyytystä varten. Tyytystä kerrotaan tarkemmin luvussa 6.2.3.

## **6.2.2 Esivalmistelut**

Kokeen aloituspäivää edeltävänä päivänä näytteet otettiin pakastimesta huoneenlämpöön sulamaan. Kokeen aloituspäivänä käytiin Oulun Biotehaalla hakemassa näytteet sekä tuoretta ymppiä reaktorista. Tarvittavan ympin määrää on vaikea arvioida, koska välpeen biomassapitoisuutta ei tiedetä. Sitä kannattaa kuitenkin olla moninkertaisesti näytteeseen nähden, jotta bakteerit eivät ylikuormittuisi. Kokemusten perusteella bakteerit sietävät paremmin nälkää kuin ylikuormittumista. Ymppiä päätettiin ottaa yhteensä noin 5 litraa, eli jokaiseen puolen litran kokoiseen reaktoripulloon tulee sitä noin 3,3 dl. Tämän jälkeen

näytteet ja ympäri kuljetettiin Oamkin orgaanisen kemian laboratoriotiloihin Kaukovainiolle.

Koevalmistelut aloitettiin lisäämällä kraanavettä pari senttiä alle reaktoriammeessa olevan reikälevyn alapinnan, koska pullot syrjäyttävät vettä. Altaan lämmitys käynnistettiin ja se säädettiin +37 °C:n lämpötilaan. Reaktoripullot otettiin valmiiksi esille ja tarkistettiin, että ne olivat puhtaat. Jokaiseen pulloon merkittiin näytteenotto päivämäärä ja näytteen numero. Hiilidioksidin sitovat natriumhydroksidiliuokset olivat edelleen käyttökelpoisia edellisen kokeen jäljiltä. Mittauslaitteen altaaseen lisättiin vesijohtovettä puhtaampaa käänteisosmoosivettä, jotta hanavedessä olevat epäpuhtaudet eivät häiritsisi mittausta. Esivalmistelujen jälkeen alettiin ladataan reaktoripulloja.

### **6.2.3 Reaktorin valmistelu**

Reaktori täytettiin pullo kerrallaan siten, että jokaisen päivän pullot olivat omalla rivillään. Lisäksi jokaisen rivin oikeanpuoleisista pulloista mitattiin ainoastaan metaanintuotto. Ensin pullo punnittiin tyhjänä. Tyhjän pullon paino kirjattiin tietokoneelle pullon numeron mukaiselle sivulle. Pullot numeroitiin alkaen etuväsemalta rivi kerrallaan siten, että ensimmäisen päivän näytteiden numerot olivat 1,2 ja 3, joista näytepullosta 3 mitataan vain metaani. Seuraavan päivän näytteet olivat 4, 5 ja 6 jne. Kun tyhjän pullon paino oli syötetty tietokoneelle, vaaka taarattiin ja pulloon lisättiin välpenäytettä. Edellisen mädätyskokeen tulosten perusteella opittiin, että näyte kannattaa murskata. Näyte päätettiin murskata IKA M20 -merkkisellä myllyllä (kuva 7).



*KUVA 7 Mylly, jolla näytteet murskattiin*

Murskattuna näyte kaasuuntuu paremmin, sillä bakteereilla on suurempi pinta-ala käytettävissä. Lisäksi näyte on hyvin heterogeenistä, joten murskaamalla siitä saadaan homogeenisempää, jolloin se edustaa paremmin välpeen keskimääräistä koostumusta. Näyte lisättiin reaktoripulloon pienellä pitkävartisella lusikalla. Pulloihin lisättiin välpenäytettä keskimäärin 56,5 grammaa. Näytteiden määrä pulloissa vaihtelee jonkin verran, mutta sillä ei ole merkitystä, koska myöhemmin lasketaan näytteiden kaasuntuottomäärä kilo kohden. Välppä-näytteen punnitustulos kirjattiin näytteen numeron mukaiselle sivulle. Seuraavaksi pulloon lisättiin varovasti mittaputken avulla noin 330 grammaa ympä. Lisätyn ympin massa kirjattiin tietokoneelle näytteenumeron mukaiselle sivulle. Tämän jälkeen korkkina toimiva tulppa asetettiin paikalleen ja sen kiristävä sekoitinyksikkö kierrettiin kiinni. Pullo oli valmis upotettavaksi hauteeseen (kuva 8).

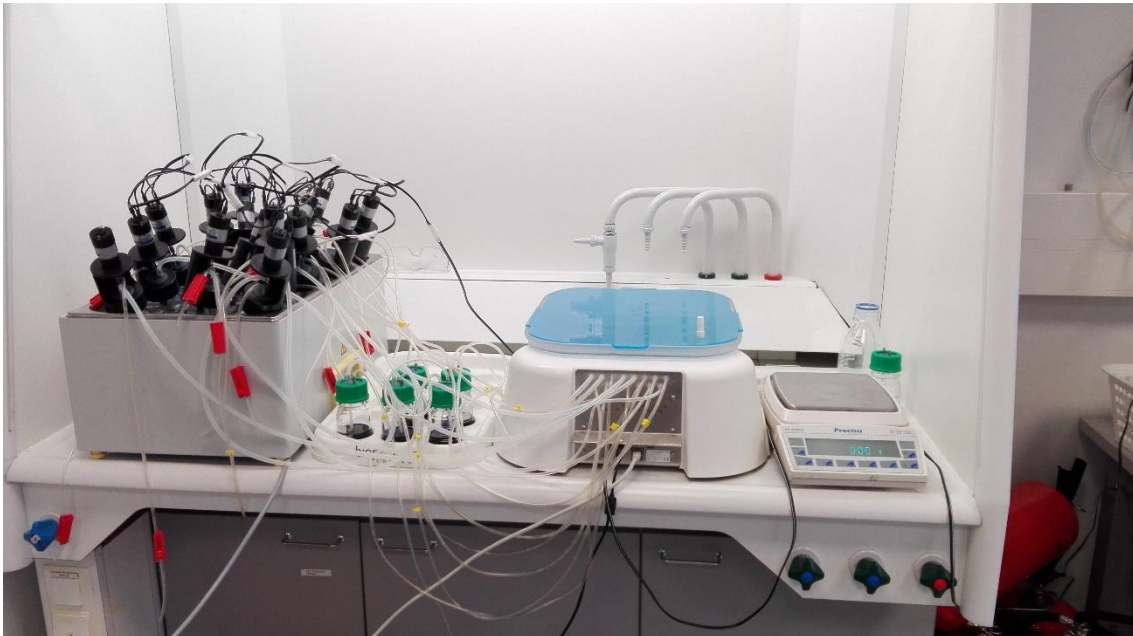


*KUVA 8 Reaktoripullojen valmistelu*

Kun kaikki pullot olivat valmiina, kiinnitettiin kaasuletkut korkissa oleviin yhteisiin. Kahden ensimmäisen pullon letkut menivät suoraan mittauslaitteelle. Kolmannen pullon letku meni mittauslaitteen sijaan lipeäpulloon. Lipeäpullon korkissa oli myös kaksi yhdettä, joista toinen jatkui pullon pohjalle. Tähän yhteeseen kiinnitettiin kolmannelta pullolta tuleva letku, jotta kaasu meni nesteen läpi. Lipeäpullon toinen yhde lähti korkin alapinnalta. Toinen letku kiinnitettiin sen ja mittauslaitteen välille, jolloin kolmannelta pullosta tuleva kaasu menee liuoksen läpi mittalaitteelle. Näytepullojen toiseen, vapaana olevaan yhteeseen kiinnitettiin letku, jonka toinen pää jäi ilmaan. Se suljettiin letkuklemmarilla.

Mädätys vaatii anaerobiset olosuhteet, eli happea ei saa olla mädätyksen aikana ollenkaan pulloissa tai linjastossa. Tämän vuoksi pullot ja kaasuletkut mittalaitteelle asti tuli tuulettaa typpikaasulla, joka ei häiritse mätänemisprosessia. Viereisessä laboratoriohuoneessa oli typpikaasupullo, jolta oli vedetty kaasulinja biokaasutuslaitteiston läheisyyteen, joten pullot voitiin typtää niiden ollessa reaktorin vesihautteessa. Kun typpi saatiin virtaamaan, ensimmäisen pullon ilmassa olevan letkun klemmari avattiin. Myös saman pullon toisen letkun pää otettiin irti mittalaitteesta, koska kaasu ei saanut virrata mittalaitteen läpi. Typpi johdettiin pari minuuttia pullon ja letkujen läpi. Hetken kuluttua kaasuhana suljettiin, ja välittömästi tämän jälkeen myös letkuklemmari suljettiin ja toisen letkun pää kiinnitettiin takaisin mittalaitteeseen.

Kun kaikki linjastot oli tyytetty, kiinnitettiin sekoittimia pyörittävien sähkömoottorien johdot. Moottorit on kytketty sarjaan. Johdot kiinnittyvät moottoreihin Apico-liittimillä. Moottoreita voi ohjata tietokonesovelluksella. Sekoittimet asetettiin käymään siten, että ne pyörivät koko ajan. Moottorit eivät olleet kovin tehokkaita, joten ne asetettiin pyörimään täydellä teholla. Kuvassa 9 on valmis koelaitteisto.



*KUVA 9 Valmisteltu koelaitteisto*

#### **6.2.4 Kokeen seuranta**

Koetta käytiin seuraamassa neljän päivän kuluttua torstaina 13.7. Ensimmäiseksi huomattiin, etteivät sekoittimet olleet toiminnassa. Ne saatiin toimimaan vasta, kun nollapullojen sekoittimien johdot irrotettiin. Lisäksi huomattiin, että hiilidioksidia sitovasta lipeäliuoksesta oli loppunut puskurikapasiteetti, sillä ne olivat kirkkaita. Nollapullon liuos sen sijaan oli väriltään tumman sinistä eli edelleen käyttökelpoista. Värin muutos perustuu kemialliseen reaktioon. Ensin hiilidioksidi muodostaa veden kanssa hiilihappoa ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Hapan hiilihappo reagoi emäksisen lipeän kanssa muodostaen ensin soodaa ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Kun liuos tulee kylläiseksi ja pH alkaa laskemaan, soodasta muodostuu ruokasoodaa. (ResearchGate 2014; StackExchange 2016.) Indikaattorina pH:n laskulle

käytetään tymoliftaleiinia, jonka väri muuttuu kirkkaasta siniseksi, kun pH on välillä 9,4 - 10,6 (Wikipedia 2017). Välpenäytteiden lipeäpullojen liuokset täytyi uusia, jotta pelkkä metaanintuotto voidaan mitata.

Aluksi pullot tyhjennettiin kylläisistä liuoksista. Tämän jälkeen ne pestiin ja niihin laitettiin laboratorio-ohjeen mukaisesti 3 moolia natriumhydroksidia. Lipeää oli saatavilla jauhemaisessa muodossa. Lipeän moolimassa on 39,997 g/mol, eli sitä tarvittiin noin 120 grammaa. Lisäksi lisättiin 0,4% tymoliftaleenia, jota oli saatavilla valmiina liuksena. Jokaiseen pulloon lisättiin noin 20 ml vettä, johon jauhemainen lipeä liukeni. Pullojen kokonaistilavuus oli 50 ml. Kun pullot olivat valmiina, korkki ja letkut kiinnitettiin takaisin ja linjasto työtettiin.

### **6.2.5 Kokeen lopetus, tulosten keruu ja analysointi**

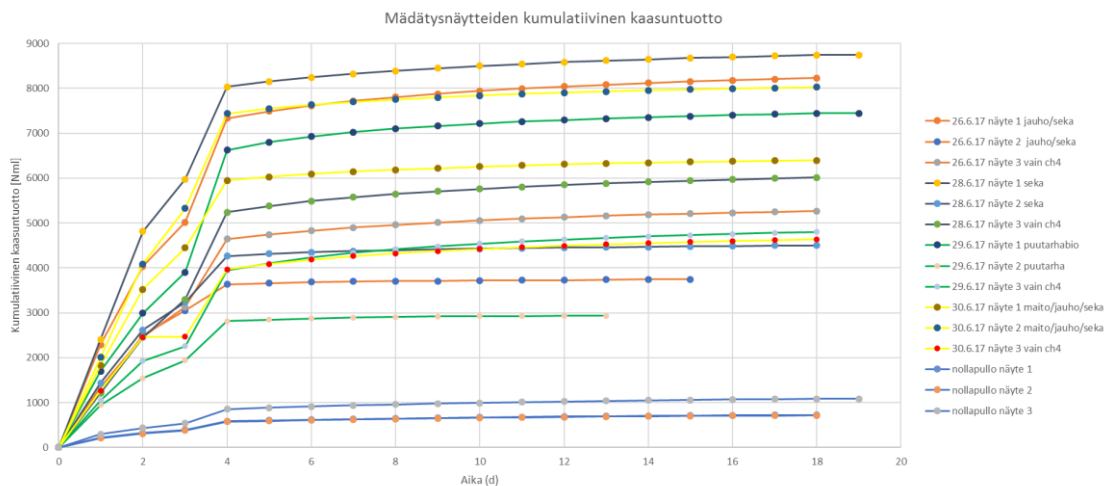
Koetta lopetettaessa huomattiin, että sekoittimet olivat lakanneet jälleen toimimasta. Näyte oli selvästi kerrostunut (kuva 10). Näyte kuitenkin haisi samantapaiselta, kuin biokaasulaitoksen käsittelyjäännös. Haju ei ole kovin voimakas mutta helposti tunnistettavissa.



*KUVA 10 Kerrostunut näyte, kiintoaine on laskeutunut pullon pohjalle*

Lisäksi pullo numero 15 eli viimeinen nollapullo oli vuotanut jonkin verran nestettä. Se johtui todennäköisesti siitä, että korkissa oleva sekoitinpään suojakumi oli rikki, koska metallinen sekoitinpää oli puhkaissut sen. Reikä oli nestepinnan alapuolella, ja pullossa on pieni ylipaine kaasuntuotannon vuoksi, joten neste oli noussut suojakumin sisällä korkin päälle. Se ei kuitenkaan vaikuttanut kaasun mittaukseen, koska reikä oli edelleen nestepinnan alapuolella. Positiivista oli, että lipeäliuokset olivat pysyneet sinisinä.

Ennen pullojen tyhjentämistä näytteet punnittiin, jotta massareduktio voidaan laskea. Viimeisen pullon massareduktiota ei voitu mitata, koska vuotaneen nesteen määrää ei tiedetty. Punnituksen jälkeen pulloet sekä reaktori- ja mittaussallas tyhjennettiin ja pestiin. Kokeen tulokset tallennettiin muistitikulle. Saaduista tuloksista muodostettiin kuvaaja (kuva 11).



KUVA 11 Välpänäytteiden tuottama kaasumäärä ajan funktiona

Tuloksia analysoitaessa huomattiin, että näytteiden kaasuntuotto oli loppunut jo 19. päivän kohdalla. Kuvaajasta nähdään, että kaasuntuotanto on ollut voimakasta ensimmäiset kaksi päivää. Kolmantena päivänä kaasuntuotto on hiipunut hieman. Neljäntenä päivänä kaasuntuotto nousi suunnilleen samalle tasolle kuin kahtena ensimmäisenä päivänä. Tämän jälkeen kaasun tuotanto vähenee hyvin jyrkästi. Epäily on, että sekoittimet lakkasivat pyörimästä pian seurantakäynnin

jälkeen. Koetta olisi pitänyt käydä seuraamassa useammin, mutta kokeiden aikana syntynyt esikoispoika sekoitti aikataulun. Toisaalta myös sekoittimien tulisi olla varmempitoimisia. Koe tehtiin kesäaikaan, joten koulussa ei ollut myöskään henkilökuntaa seuraamassa sekoittimia.

Koska kaasuuntuminen näyttää hiipuneen ja loppuneen ennen aikaisesti, ei näiden kokeiden perusteella voida määrittää välppien biomassapitoisuutta. Työ kuitenkin esittelee keinon, jolla biomassan ja epäorgaanisen palavan aineksen pitoisuudet voidaan määrittää halutusta materiaalista. Esimerkkilaskuissa käytetään saatuja mittaustuloksia ja oletetaan, että biomassapitoisuus puolittui. Reaktorissa oli kuitenkin ihanteelliset olosuhteet niin kauan, kun sekoittimet pyöriivät. Vaikka tulokset eivät ole luotettavia, on helppoa tehdä uudet kokeet, kun menetelmä on ennestään tuttu. Menetelmää voi soveltaa myös esimerkiksi raskashylyn biomassapitoisuuden määrittämiseen. Kriteerit näytteelle ovat, että se pitää pystyä murskaamaan, se ei saa olla myrkyllistä bakteereille eikä sitä saa laittaa liikaa reaktoripulloon.

Taulukot punnitustuloksista, kaasun tuotannosta ja tulosten pohjalta lasketuista arvoista ovat niin suuria, että ne päätettiin jättää raportin liitteeksi (liite 1). Niistä nähdään, että kolmen ensimmäisen päivän näytteiden ominaiskaasuntuotto eroaa suuresti pullojen välillä. Syy voi olla näytteiden heterogeenisuudessa tai erilaisissa olosuhteissa reaktoriammeen reunan ja keskikohdan välillä. Neljännen näytteen ensimmäisten pullojen arvot vastasivat lähestulkoon toisiaan ollen 128,0 l/kg ja 124,0 l/kg, joten se vaikuttaisi poissulkevan olosuhte-eron. Ensimmäinen luku oli suurin saatu kaasuntuottoarvo ja jälkimmäinenkin oli kolmanneksi suurin saaduista arvoista. Kaasun metaanipitoisuutta on hankala arvioida, koska samaa näytettä sisältävät näytepullot tuottivat keskenään niin erilaisen määrän kaasua. Metaanintuotto laskettiin kyseisen päivän ensimmäisen näytepullon perusteella, koska se tuotti enemmän kuin toinen näytepullo. Joissain tapauksissa toinen näytepullo oli tuottanut kokonaisuudessaan vähemmän kaasua kuin kolmas pullo, josta mitattiin ainoastaan metaanin tuotto. Saadut metaanipitoisuudet vaihtelevat välillä 47 - 66 %. Suurin näytteestä saatu biokaasutuksen ominaisenergia oli 3009 kJ/kg ja pienin 782 kJ/kg keskiarvon ollessa 2051

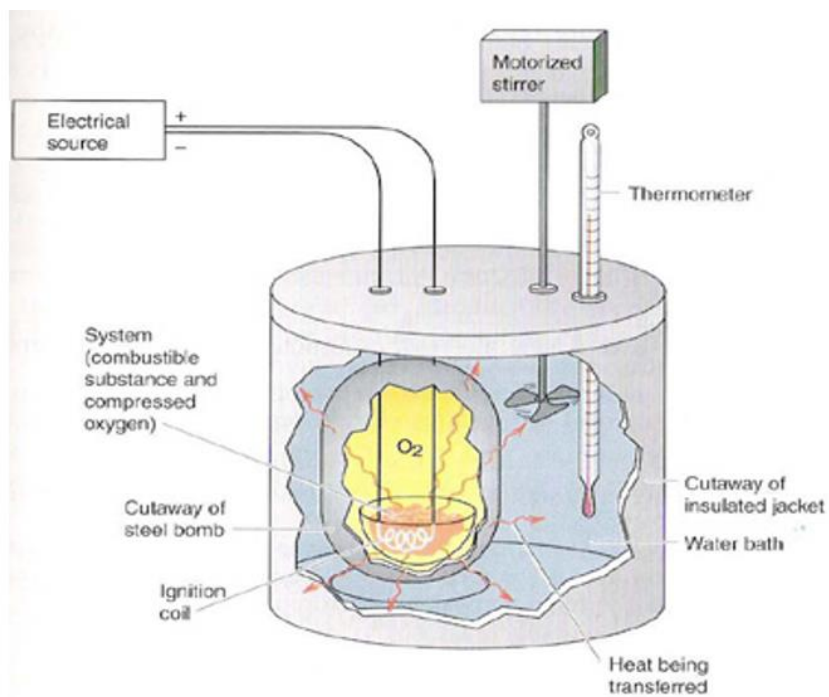


kJ/kg. Näytteiden massareduktio oli yllättävän tasainen. Se vaihteli enimmäkseen 2,2 - 2,4 %:n välillä. Kolmen näytteen massareduktio oli pienempi. Ne olivat 1,8 %, 2,0 % ja 2,1 %. Ainoa ongelma on, ettei jäljelle jääneen biomassan määrää tunneta. Jos biomassan määrä tippuu mesofiilisella prosessilla toimivassa biokaasulaitoksessa 50 - 60 % kolmessa viikossa, se voi tippua laboratorio-olosuhteissa paljon enemmän.

Jos biomassapitoisuus halutaan määrittää tarkasti, on suositeltavaa mädättää näytettä ihanteellisissa olosuhteissa niin kauan, että kaasuntuotto loppuu. Tällöin bakteerit ovat kuolleet ravinnon puutteeseen, joten likipitään kaiken biomassan pitäisi olla kaasuuntunut. Koska näytteiden kaasuntuotanto hiipui ennen aikojaan, oletetaan, että puolet biomassasta jäi kaasuuntumatta. Tällöin biomassan osuutta kaikista palavista aineista voidaan arvioida sekä massareduktion että vapautuneen energian kautta. Seuraavaksi määritetään kaikkien palavien aineiden energiasisältö ja massa pommikalorimetrillä.

### **6.3 Pommikalorimetrikoe**

Kalorimetrinen mittaus tarkoittaa yleisesti ottaen näytteen polttamista eristetyssä tilassa, jolloin näytteestä tilaan vapautunut lämpöenergian määrä voidaan laskea lämpötilan noususta tilassa. Tilaa on kuitenkin mahdotonta saada täysin eristetyksi, joten mittauksissa on epätarkkuutta. Mittausten tarkkuus paranee huomattavasti, kun tilan ulkopuolella on väliaine, joka on myös suljettu ja eristetty ja jonka ominaisuudet tunnetaan. Tietysti myös tästä systeemistä johtuu hieman energiaa ulkopuolelle, mutta määrä on paljon vähäisempi kuin edellisessä tilanteessa, joten myös mittaustarkkuus on huomattavasti parempi. Pommikalorimetrimitauksessa kaikki näytteen luovuttama lämpöenergia pyritään sitomaan astian ulkopuolella olevaan veteen. Laitteen rakenne ja mittausperiaate on esitetty kuvassa 12. Koelaitteen nimi juontuu siitä, että joskus paine suljetussa astiassa on noussut liikaa ja koko astia on räjähtänyt pommin lailla.



KUVA 12 Pommikalorimetrin toimintaperiaate (Nieminen 2017)

Veden massa on suuri suhteessa poltetun näytteen massaan, joten lämpötila nousee vain pari astetta, jolloin veden ja ulkoilman välinen lämpötilaero jää pieneksi ja lämpöhäviöitä on hyvin vähän. Lisäksi veden ominaislämpökapasiteetti muuttuu lämpötilan mukaan, joten pienillä lämpötilaeroilla ominaislämpökapasiteetti voidaan olettaa vakioksi mittaustarkkuuden liikaa siitä kärsimättä.

(Nieminen 2017.)

Kalorimetrikokeet suoritettiin keskiviikkona 30.8.2017 Oamkin laboratoriotyötiloissa Kotkantien kampuksella. Ohjaavana opettajana toimi Joni Kosamo. Laitteella oli harjoiteltu koetta jo aiemmin, joten kokeen suoritus tapahtui pääosin itsenäisesti. Näytteet täytyi kuivata ennen koetta, jotta ne palavat kunnolla. Samalla voitiin määrittää näytteiden kosteusprosentit.

### 6.3.1 Laitteisto

Koelaitteistona käytettiin IKA:n C5000 Control -pommikalorimetriä (kuva 13). Laitteen vieressä on myös happipullo, sillä näyte poltetaan puhtaassa hapessa,

jotta palaminen tapahtuisi mahdollisimman täydellisesti. Kalorimetrin ja happipullojen välissä on IKA KV 600 Digital -merkkinen jäähdytinsäiliö. Sen tarkoitus on pitää laitteessa kiertävä vesi halutussa lämpötilassa ennen kokeen aloitusta. Lisäksi se kierrättää vettä laitteessa ja mittaa veden lämpötilan nousun.



*KUVA 13 Pommikalorimetri.*

Laitteiston edessä olevaa umpinaista sylinteriä kutsutaan pommiksi. Sen sisällä on näytelaiva, jossa on näytekuoppi, jonka pohjalla näyte on. Pommi laitetaan roikkumaan laitteen sinisen kannen alapinnalla olevaan tappiin. Kokeen käynnistyessä kansi laskeutuu upottaen pommin veteen. Kannen vasemmalla puolella on paneeli, johon syötetään sytytyslangan ja mahdollisen sytytyspussin laskeutu energiasisältö sekä näytteen massa ominaisenergiasisällön määrittämistä varten. Laite ilmoittaa sen muodossa J/g. Laite ilmoittaa myös, jos veden lämpötila ei ala nousta tietyn ajan kuluessa. Se tarkoittaa, että näyte ei syttynyt tai palanut kunnolla. Koe keskeytyy, ja on valmisteltava uusi näyte. Edellisissä kokeissa kävi tällä tavalla, kun näytenappeja yritettiin polttaa ilman palamista avittavaa sytytyspussia.

### 6.3.2 Näytteiden kosteuden määrittäminen

Jokaiselta päivältä otettiin noin 50 grammaa kosteaa näytettä. Näytteet jauhettiin samalla laboratoriomyllyllä kuin mädätyskokeen näytteet. Näytettä otettiin lusikalla noin 5 - 6 grammaa kuivattavaksi. Kalorimetrissä poltettavan näytenapin tulisi painaa noin puoli grammaa, jotta näyteesäiliötä ympäröivän veden lämpötila ei nousisi liikaa, koska palopussikin lisää vapautuvan energian määrää. Arveltiin, että näytteessä on vettä korkeintaan 90 % näytteen painosta, jolloin 5 grammaa pitäisi riittää. Lisäksi näytteen kuivuminen on hidasta, ja se kestää sitä kauemmin mitä enemmän on kuivattavaa materiaalia. Kuvassa 14 on molemmat kokeissa käytetyt kosteudenmittauslaitteet. Toisen merkki ja malli ovat A&D MF50 ja toinen on Precisa XM60.



*KUVA 14 Kokeissa käytetyt kosteudenmittauslaitteet*

Laitteessa on vaaka, joka mittaa näytteen tuorepainon, sekä sähkövastukset, jotka kuivattavat näytteen. Laite määrittää kosteusprosentin näytteen painon puutoamisen perusteella. Näyte on kuiva, kun sen paino ei enää muutu. Myöhemmissä laskelmissa kosteusprosentti oletetaan nolllaksi. Kun kosteusprosentti on

tiedossa, voidaan laskea kalorimetrikokeiden jälkeen kostean näytteen energiasisältö ja tuhkapitoisuus. Laitteen mittaamat kosteusprosentit on koottu samaan taulukkoon luvussa 5.3.4 esiteltävien kalorimetrikokeiden tulosten kanssa (taulukko 2). Näytteiden keskimääräinen kosteuspitoisuus on 79,92 %, eli noin neljä viidesosaa välpeestä on vettä. Kosteuspitoisuudet eivät vaihdelleet merkittävästi näytteiden välillä, ja yhteen mittaukseen kului noin 90 minuuttia, joten näytteiden kosteuspitoisuus määritettiin vain kerran.

### **6.3.3 Kokeen valmistelu ja suoritus**

Ennen varsinaisia pommikalorimetrikokeita laitteelle tuli tehdä ”lämmitysajo” bentsoehapolla. Samalla varmistetaan, että laitteen mittaus on luotettava, koska bentsoehapon tarkka energiasisältö tiedetään. Tarkemmat ohjeet ajon suorituksesta on laitteen yhteydessä olevissa käyttöohjeissa. Haposta puristettiin nappi, jonka massa mitattiin milligramman tarkkuudella. Massaksi saatiin 0,955 grammaa. Saatu massa syötettiin koelaitteeseen näytteen tietoihin. Lisäksi tietoihin lisättiin valmistajan ilmoittama sytytyslangan energiamäärä 50 joulea. Laitteen käyttöohjeisiin oli merkitty bentsoehapon energiasisällöksi 26 456 J/g. Näytteen massan perusteella laite laskee automaattisesti energiasisällön grammalle näytettä. Tulokseksi saatiin 26 542 J/g, eroa oli 86 J/g. Ohjeissa on annettu suurimaksi sallituksi eroksi 100 J/g, joten laite mittaa riittävän tarkasti.

Aiemmin kuivatut näytteet säilytetään ilmatiiviissä astiassa, jossa on kosteuden-sitojana silicarouhetta, sillä muuten kosteus tarttuisi ilmasta näytteisiin. Ensiksi kuiva näyte murskattiin morttelissa hienojakoiseksi jauheeksi. Sitten punnittiin noin 0,5 grammaa näytettä, joka prässättiin napiksi, jonka paino kirjattiin muis-tiin näytteen numeron mukaiseen kohtaan. Puristukseen käytettiin Specacin kä-sikäyttöistä hydrauliprässiä (kuva 15). Prässin kapasiteetti on 15 tonnia. Ku- vassa on myös muotit, joilla napit prässättiin.



*KUVA 15 Prässi ja näytenapin valmistukseen käytetyt muotit*

Nappi tehtiin siten, että ensin etualalla oleva ontto sylinteri asetettiin sen vieressä olevalle mustareunaiselle teräsalustalle. Sylinterin pohjalle laitettiin ohut teräsnappi. Seuraavaksi laitettiin näyte, jonka päälle laitettiin kuvassa oleva terästappi. Tämän jälkeen pakettia prässättiin, jolloin näyte puristui suunnilleen kuvan teräsnapin kokoiseksi. Nappi laitettiin palamista edistävään pussiin. Pussin vapauttama energiamäärä tulee laskea, jotta kalorimetri osaa ottaa sen huomioon määrittäessään näytteen energiasisältöä. Palopussi on polyetyyleeniä, ja se on IKA:n valmistama. Valmistaja ilmoittaa materiaalin ominaisenergiaksi

46 463 J/g. Jokainen pussi punnittiin erikseen milligramman tarkkuudella ja niistä vapautuva energia laskettiin. Tulokset on koottu taulukkoon 2.

*TAULUKKO 2 Kosteus- ja pommikalorimetrimittaukset*

Mittaukset					
Näytteen pvm	26.6.2017	28.6.2017	29.6.2017	30.6.2017	k.a.
<b>kosteus-%</b>	<b>81,15 %</b>	<b>82,80 %</b>	<b>78,65 %</b>	<b>77,08 %</b>	<b>79,92 %</b>
m <sub>pussi</sub> [g]	0,130	0,131	0,132	0,126	0,130
E <sub>pussi</sub> [J]	6040	6087	6133	5854	6029
<b>H<sub>u</sub> [J/g]</b>	<b>17731</b>	<b>17692</b>	<b>18156</b>	<b>18828</b>	<b>18102</b>
m <sub>kuppi</sub> [g]	10,260	10,202	10,152	9,964	10,145
m <sub>loppu</sub> [g]	10,321	10,252	10,189	9,995	10,189
Δm [g]	0,061	0,050	0,037	0,031	0,045
m <sub>näyte</sub> [g]	0,516	0,596	0,525	0,611	0,562

Napin puristuksen jälkeen valmisteltiin säiliö. Säiliön pohjalle mitattiin ohjeiden mukaan 5 ml käänteisosmoosivettä. Säiliön kansi koostuu metallisesta sytytyslangasta ja telineestä, johon näytekuppi asetettiin. Ensin metalliseen sytytyslankaan tuli kiinnittää aiemmin mainittu puuvillainen sytytyslanka. Tämän jälkeen näytekuppi punnittiin tyhjänä, jotta myöhemmin voidaan laskea jäljelle jääneen tuhkan paino. Tyhjäpaino kirjattiin ylös ja kuppi asetettiin telineeseen. Näyte tuli asettaa näytekuppiin siten, että sytytyslanka jää näytteen alle. Näin lanka sytyttää näytteen ja palopussin kunnolla. Kuvassa 16 on valmisteltu näyte ja säiliö.



*KUVA 16 Valmis näyte asetetaan säiliöön*

Laitteeseen kirjattiin näytteen massa sekä sytytyslangan ja palopussin energiasisällöt. Tämän jälkeen säiliö suljettiin, se ladattiin pommikalorimetriin ja koe aloitettiin. Kone tarkistuttaa kerran, että kansi on varmasti suljettu kunnolla räjähdysvaaran välttämiseksi. Tarkistuksen jälkeen kone sulkee kannen ja tekee polttoprosessin automaattisesti. Kokeen etenemistä voi seurata näytöltä. Jos koe etenee normaalisti, näytöllä olevan käyrän pitäisi lähteä nousuun, mikä on merkki lämpötilan kohoamisesta. Laite ilmoitti kokeen valmistumisesta merkkiäänellä. Laitteen näytölle ilmestyi mittaustulos, joka kirjattiin ylös.

#### **6.3.4 Lopetus ja tulokset**

Tällä kertaa kaikki näytenapit paloivat heti ensimmäisellä yrittämällä. Palopussi siis selvästi auttoi näytteen palamista. Kokeen jälkeen näytekupit punnittiin ennen kuin tuhkat poistettiin kupeista. Langan ja pussin oletetaan palaneen niin



puhtaasti, ettei niistä jää merkittävää määrää tuhkaa. Tulokset on koottu taulukoon 2.

Näytenappien mitatut painot ovat ylimmällä rivillä. Niiden painoissa on eroa alle 0,1 grammaa. Seuraavalla rivillä on palopussien painot, joilla oli eroa ainoastaan 0,05 grammaa. Pusseista vapautuva energia on laskettu seuraavalle riville. Neljännellä rivillä on laitteen mittaama näytenappien alempi lämpöarvo. Alemmassa lämpöarvossa on huomioitu palamistuotteena syntyvän veden höyrystyminen. Lämpöarvojen alapuolella on tyhjen näytekuppien painot ja niiden alapuolella tuhkaa sisältävien kuppien painot. Täyden ja tyhjän kupin erotus eli tuhkan paino on laskettu alimmalle riville.

#### **6.4 Tulosten analysointi ja näytteiden koostumuksen määrittäminen**

Muovin ja biomassan suhde näytteen sisältämistä palavista aineista määritettiin kahdella tavalla: vapautuneen energian sekä massareduktion perusteella. Näytteen määrittäminen vapautuneen energian mukaan perustuu kokeissa saatujen energiasisältöjen suhteeseen. Poltettaessa sekä muovi että biomassa vapauttavat energiaa, mutta mädätettäessä ainoastaan biomassa tuottaa energiapitoista kaasua. Oletetaan, että muovilla ja biomassalla on sama lämpöarvo ja että biomassan hajoamisaste tiedetään. Tällöin mädättämällä saadun energiamäärän suhde polttamalla saatuun energiaan voidaan laskea. Suhde oletetaan samaksi kuin biomassan määrän suhde kaikkien palavien aineiden määrään. Menetelmä on epätarkka mm. siksi, että biomassan lämpöarvoa ei tiedetä.

Massareduktioon perustuvan määrittäytävän etuna on, ettei palavien orgaanisten ja epäorgaanisten aineiden energiasisältöä tarvitse tietää. Kalorimetrikoissa kaiken palavan aineksen oletetaan kaasuuntuvan, jolloin sen massa saadaan selville vähentämällä näytteen painosta jäljelle jäävän tuhkan paino. Orgaanisten aineiden kokonaismassa saadaan selville, kun tiedetään näytteen massareduktioaste, eli kuinka suuri osa orgaanisen aineksen kokonaispainosta on kaasuuntunut. Jos näytettä mädätetään ihanteellisissa olosuhteissa niin kauan, ettei kaasua enää muodostu, voidaan olettaa, että kaikki aines on kaasuuntunut, eikä massareduktioastetta tarvitse arvioida. Koostumuksen laskenta-periaate on samanlainen kuin energiamäärän kautta laskettaessa: mädätetyn

näytteen massareduktion suhde poltetun näytteen massareduktioon on yhtä suuri kuin biomassan suhde kaikkien palavien aineiden massaan. Jos mädättämällä on saatu kaasuuntumaan kaikki näytteen sisältämä biomassa, myös tuloksen pitäisi olla melko tarkka. Tarkkuutta heikentää se, ettei tiedetä, kaasuuntuuko näyte kokonaan vai jääkö osa biomassasta reaktoripulloon kaasuuntumattomina yhdisteinä.

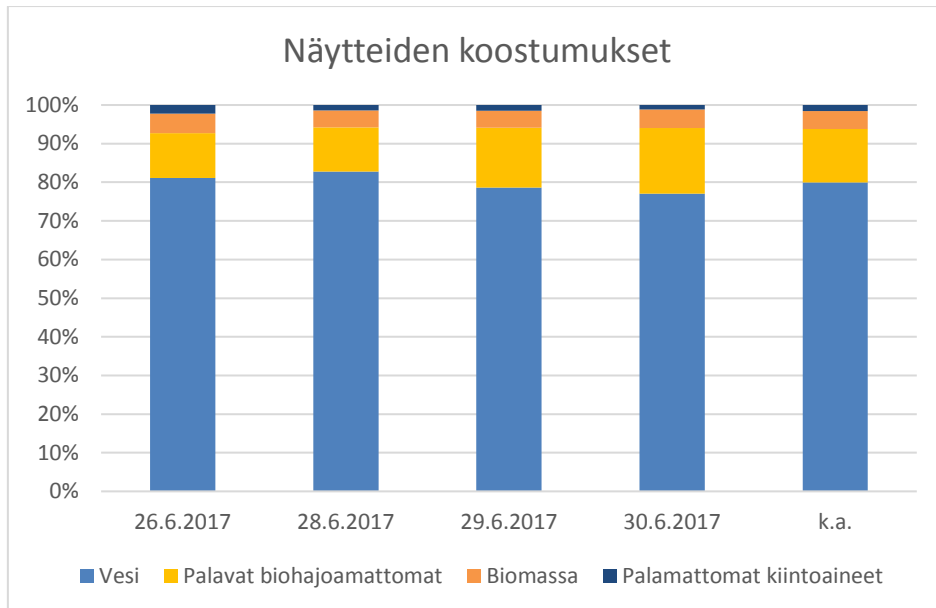
Pommikalorimetrillä mitattu näyte oli kuivatettu, joten sen kuivatun näytteen energiasisältö tuli muuttaa kostean näytteen energiasisällöksi, ennen kuin energia- tai massareduktiosuhteita päästiin laskemaan. Mädätetyn näytteen kosteuspitoisuus oletettiin samaksi kuin poltetun, mikä voi myös heikentää tulosten tarkkuutta. Jos kosteuspitoisuuksissa on eroa, se johtuu näytteen heterogeenisuudesta. Erojen pitäisi kaventua, kun tarpeeksi suuri osa näytteestä murskaataan mahdollisimman tasalaatuiseksi. Se oli myös yksi syy näytteiden murskaamiseen. Taulukossa 3 on tehty vertailua menetelmien välillä. Huomataan, että eri menetelmien kautta saadut tulokset ovat melko lähellä toisiaan.

*TAULUKKO 3 Eri menetelmillä laskettujen koostumusten vertailu*

<b>Saatujen koostumusten vertailua</b>					
Biomassan osuus näytteessä	26.6.	28.6.	29.6.	30.6.	k.a.
Massaperiaate	4,5 %	4,5 %	4,1 %	4,5 %	4,4 %
Energiaperiaate	5,6 %	4,3 %	4,7 %	5,0 %	4,9 %
Keskiarvo	<b>5,1 %</b>	<b>4,4 %</b>	<b>4,4 %</b>	<b>4,8 %</b>	<b>4,7 %</b>
Max. poikkeama k.a:sta	11,4 %	2,0 %	6,5 %	5,0 %	6,2 %
Palavien epäorgaanisten osuus	26.6.	28.6.	29.6.	30.6.	k.a.
Massaperiaate	12,1 %	11,3 %	15,7 %	17,2 %	14,1 %
Energiaperiaate	11,0 %	11,5 %	15,2 %	16,8 %	13,6 %
Keskiarvo	<b>11,6 %</b>	<b>11,4 %</b>	<b>15,5 %</b>	<b>17,0 %</b>	<b>13,8 %</b>
Max. poikkeama k.a:sta	5,0 %	0,8 %	1,9 %	1,4 %	2,3 %

Taulukosta voidaan huomata, että palavien epäorgaanisten aineiden tulokset ovat lähempänä toisiaan, kuin biomassaosuuden tulokset. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että palavaa epäorgaanista materiaalia oli selvästi orgaanista enemmän. Ensimmäisen näytteen molempien osuuksien tulokset poikkesivat eniten suhteessa muihin. On vaikea sanoa tarkkaa syytä tälle, mutta se voi johtua esimerkiksi siitä, että näytteen orgaanisen aineksen energiasisältö poikkesi huomattavasti palavien aineiden keskimääräisestä energiasisällöstä.

Näytteiden koostumus määritettiin eri laskentaperiaatteella saatujen koostumusten keskiarvosta, koska ei voida olla täysin varmoja siitä, kumpi menetelmä on tarkempi. Käytetyt luvut ovat lihavoituna taulukossa 3. Saadut koostumukset on esitetty pylväsdiagrammina (kuva 17). Kuvaajassa on myös eri päivien näytteiden koostumuksen keskiarvo, jota käytetään välpepuristimen kannattavuuden laskennassa.



*KUVA 17 Välpenäytteiden keskimääräiset koostumukset*

Kuvasta nähdään, että noin neljä viidesosaa välpeestä on vettä. Muovia ja muita palavia epäorgaanisia aineita on noin kolminkertainen määrä biomassaan verrattuna. Vain pari prosenttia välpeestä on palamattomia aineita. Koostumuksen perusteella välpepuristin voi vähentää polttolaitokselle menevän välpeen määrää jopa kolmanneksella. Biomassapitoisuuden perusteella vaikuttaisi, ettei biokaasun tuotanto lisäänty merkittävästi. Seuraavaksi selvitetään, paljonko välpeettä syntyy määrällisesti.

### 6.5 Muodostumismäärän mittaus

Välpeen muodostumismäärä oli mahdollista mitata, koska välppäseulalta lähtevä välpe kuljetetaan liukuhihnalla viereiseen halliin, jossa on kippikontti (kuva 18). Aiemmin mädätetyt ja poltetut näytteet otettiin etualalla olevaan valkoiseen

kuppiin, kun ne olivat putoamassa liukuhihnalta. Tällä tavoin kerättynä näytteet olivat mahdollisimman edustavia otoksia välppeestä.



*KUVA 18 Kippikontti, johon välpe putoaa*

Kippikonttia voidaan liikutella käytössä olevalla pyöräkuormaajalla. Mittaus päätettiin toteuttaa siten, että ensin mitataan kippikontin paino tyhjänä ja täytenä. Päätettiin, että kontti on täynnä, kun tasoitetun välppeen pinta on 10 cm:n päässä kontin seinämien yläreunasta, koska täysi kontti on hankala tyhjentää. Mittaus suoritetaan kahdella eri kerralla, jotta välppeen tiheyserot tasoittuvat hieman. Mittausvälineenä käytettiin Kiertokaari Oy:n vaakaa, jolla punnitaan myös tulevat ja lähtevät jäteautot. Tämän jälkeen välpekontin täyttöaste mitattiin viikon ajan joka kerta tyhjennyksen yhteydessä, ja tulos kirjattiin valvomon fläppitaululle. Mittausviikoksi valikoitui viikko 38 eli 18. - 22.9. Viikonloppuna välpettä ei muodostunut, mutta myös sinä aikana vastaanotettu biojäte jätetään pois laskuista, kun määritetään jätteen esikäsittelyssä muodostuvan välppeen määrää. Arkipäivien aikana syntyneen välppeen määrä on esitetty taulukossa 4.

#### TAULUKKO 4 Välpekontin tyhjennyskerrat

MA	TI	KE	TO	PE
1,1	1	1,1	1	0,8
	0,6	0,7	0,5	1
			0,7	0,7

Taulukossa luku 1,1 tarkoittaa, että kontti tuli kokonaan täyteen. Tällöin se on hankalampi tyhjentää, koska se painaa niin paljon, että pieni pyöräkuormaaja pystyy juuri ja juuri nostamaan sen. Kun konttien tyhjennyskerrat lasketaan yhteen, saadaan 9,2 tyhjennyskertaa viikossa. Täysi kontti käytiin mittaamassa Kiertokaaren vaa'alla (kuva 19) ensimmäisen kerran 22.9. ja toisen kerran 16.10. vuonna 2017.



*KUVA 19 Kontti, jonka täyttöaste on 1, punnittiin ajoneuvovaa'alla*

Täysi kontti painoi 2660 kg ensimmäisellä punnituskerralla ja 2760 kg toisella kerralla. Keskiarvoksi saadaan 2710 kilogrammaa. Tyhjä kontti painoi yksinään 400 kg, mutta tulosta ei voitu pitää täysin luotettavana, sillä vaaka on suunniteltu raskaampien massojen punnitsemiseen. Siksi päätettiin mitata kontti pyöräkuormaajan kanssa ja vähentää saadusta painosta koneen paino. Pyöräkoneen paino kontin kanssa oli 6580 kg ja ilman sitä 6160 kg, joten tämän mitaustavan mukaan kontin paino on 420 kg. Mittaustapa on luotettavampi, joten käytetään jälkimmäistä tulosta. Tällöin välpeen painon keskiarvo on 2290 kg. Kippikontista otettiin mitat, jotka kirjattiin muistiin. Mittojen perusteella laskettiin kontin täysi tilavuus sekä tilavuus aiemmin määritellyllä täyttöasteella. (Liite 4.)

Täysi tilavuus on noin 3 m<sup>3</sup> ja täyttöasteen mukainen tilavuus 2,68 m<sup>3</sup>. Tällöin välpeen keskimääräiseksi tiheydeksi saadaan 855,2 kg/m<sup>3</sup>. Laskelmien mukaan viikon aikana syntyneen välpeen paino on 21 068 kg ja tilavuus 24,6 m<sup>3</sup>. Jätettä vastaanotettiin tuona aikana 260 320 kg, joten välpettä muodostuu keskimäärin 80,9 kg jokaista jätetonna kohden, kun oletetaan että kaikki vastaanotettu jäte ajettiin prosessiin. Kiinteää biojätettä käsitellään vuosittain noin 15 000 tn, joten välpettä voi syntyä jopa 1 214 tonnia vuodessa. Jos välpepuristin saavuttaa laitetoimittajan ilmoittaman 20 prosentin massareduktion, saadaan nestettä talteen 242,8 tonnia vuosittain. Seuraavaksi selvitetään, voidaanko vettä ja biomassaa saada talteen syntyvästä välpeestä niin paljon, että investointi osoittautuu kannattavaksi.

## 7 KANNATTAVUUS SAATUJEN LUKUJEN PERUSTEELLA

Investointilaskelmien tavoitteena on selvittää, onko investointi kannattava tai mikä investointivaihtoehto on paras. Investoinnit voidaan luokitella välttämättömyys-, tuottavuus- ja laajennusinvestointeihin sekä pakollisiin ja strategisiin investointeihin. Eri ryhmiin sovelletaan erilaisia tuotto- ja kiireellisyysvaatimuksia. (Haverila ym. 2009,197)

Pakolliset investoinnit tehdään lakien, asetusten ja viranomais määräysten perusteella, joten niille ei aseteta tuotto-odotuksia. Tuottavuusinvestoinneilla pyritään parantamaan kilpailukykyä tuottoja lisäämällä ja kustannuksia vähentämällä, joten niiltä odotetaan merkittäviä tuottoja tai säästöjä. (Haverila ym. 2009, 197.) Tarkastelun kohteena oleva investointi asettuu edellä mainittujen investointien välimaastoon. Laki ei suoranaisesti vaadi kyseistä investointia, mutta se noudattaa kuitenkin BAT-periaatetta. Periaatteessa yritys voisi jättää investoimatta kyseiseen laitteeseen ja sijoittaa rahat muualle siksi aikaa, kunnes laki määrää, että laitteeseen täytyy investoida. Toisaalta investoinnin tekee ajankohtaiseksi se, että yrityksellä on useita samankaltaisia tehtaita eri puolilla Suomea, joten jos investointi osoittautuu kannattavaksi, yritys voi ostaa laitteen muillekin tehtaille, jolloin myös säästöt ja tuotot moninkertaistuvat. Siksi on perusteltua asettaa investoinnille jonkinlainen tuotto-odotus, eli toisin sanoen investoinnista tulee saada riittävän suurta korkoa. Laskentakorkokantana voidaan käyttää korkokantaa, jolla yritys voi saada lainaa ulkopuolisilta tai jolla yritys antaa lainaa ulkopuolisille (Karjalainen 2005, s.103). Esimerkiksi Nordean yrityslainalaskimessa (Lainalaskin 2017) suurin lainan korko on 10%, joten otetaan laskentakorkokannaksi 1,1.

### 7.1 Kannattavuuteen vaikuttavat muuttujat

Kannattavuus määräytyy sen mukaan, mitkä ovat muuttujien todelliset arvot. Joitain muuttujia on helpompi arvioida kuin toisia. Esimerkiksi veden ja sähkön hintojen voidaan olettaa pysyvän suhteellisen vakaina, mutta käsitellyn väljyyden määrä, laitteen massareduktioaste ja ennakoimattomat huollot ja korjaukset voivat vaihdella suurestikin. Jos laite on pitkään epäkunnossa, väljettä

jää käsittelemättä ja laitteen korjauskustannukset kasvavat. Nämä seikat voivat vaikuttaa kannattavuuteen huomattavasti. Alla on listattu kannattavuuteen vaikuttavat muuttujat ja seikat, joiden perusteella muuttujat määräytyvät:

- perushankintamenon suuruus
  - o laitteen hinta; suunnittelu-, asennus- ja käyttöönottokulut
- laitteen erotteleman nesteen määrä ja koostumus
  - o vuodessa tuotetun välpeen määrä ja sen koostumus
  - o laitteen aikaansaama välpeen massareduktio
- kaasun ja lietteen myyntihinta
- veden ja sähkön ostohinta
- välpeen hävittämisen kustannukset
- laitteen vuotuinen käyntiaika
  - o veden ja sähkön kulutus käynnissä
- kulumisen mukaan tehtävät huollot
- tuotto-odotus ja takaisinmaksuaika.

Hankintamenon suuruus vaikuttaa kannattavuuteen huomattavasti. Jos hankintamenoja ei ole, investointi on kannattava, jos se vain tuottaa enemmän kuin vie resursseja. Hankintamenon jälkeen on listattu laitteen tuomiin säästöihin ja tuottoihin vaikuttavat seikat, joista viimeinen on polttolaitoksen perimät maksut. Seuraavat kaksi kohtaa vaikuttavat kannattavuuteen negatiivisesti. Viimeinen kohta vaikuttaa myös huomattavasti kannattavuuslaskelmien lopputulokseen, koska tuotto-odotuksen voi aina hilata niin ylös, ettei investoinnin ole mahdollista olla kannattava. Siksi tuotto-odotus pitää suhteuttaa investointityyppiin. Esimerkiksi välttämättömyysinvestoinneille ei voi joka tilanteessa asettaa korkeita tuotto-odotuksia, koska kyseisen investointityypin pääasiallinen tehtävä on turvata tuotannon jatkuvuus. Seuraavaksi selvitetään jokaisen muuttujan arvo nykyhetkellä siltä osin, kuin se on mahdollista.

### **7.1.1 Perushankintameno, investointiaika ja jäännösarvo**

Tarkka hankintahinta on yrityksen liikesalaisuus. Kyseisen laitteen hinta voi olla luokkaa 50 000€. Myös suunnittelu- ja asennuskustannukset ovat arkaluontoisia



tietoja. Kulut voivat olla 30 000 euron luokkaa. Käyttöönottokulut sisältävät laitteen kytkemisen automaatiojärjestelmään sekä sen optimoinnin, jolloin laitetta testataan eri asetuksilla ja haetaan ne asetukset, joilla välpeestä saadaan laitteen mahdollisimman paljon nestettä. Oletetaan, että käyttöönottokulut ovat yhteensä 2000 euroa.

Investoinnin on tarkoitus kestää laitoksen toiminta-ajan loppuun saakka. Biokaasulaitoksen käyttöikäksi arvioidaan 20 - 40 vuotta (Gasum Biotehdas Oy, Oulun biokaasulaitoksen laajennushanke. 2016.). Tällä perusteella lyhyin investointiaika olisi siis 20 vuotta. Kannattavuutta voidaan tarkastella myös esimerkiksi 10 vuoden aikajänteellä. Muutos on helppo tehdä kannattavuuslaskentapohjaan.

Koska laitteen tehtävä on niin spesifinen, sitä voi olla erittäin vaikea myydä eteenpäin, vaikka se olisikin vielä käyttökelpoinen investointiajan päätyttyä. Toisaalta laitteen sisältämä metalli voidaan kierrättää, joten sen pitäisi kattaa laitteen hävittämisestä aiheutuvat kulut. Näiden seikkojen perusteella arvioidaan investoinnin jäännösarvon olevan 0 €.

### **7.1.2 Erotellun nesteen määrä ja koostumus**

Välpepuristimen esitteessä (liite 5) ilmoitetaan, että laitteella voidaan päästä jopa 35 - 45 prosentin kuiva-ainepitoisuuteen. Lisäksi esitteen mukaan orgaaninen aines voidaan erottaa lähes täysin välpeestä. Laite on kuitenkin suunnattu jätevedenpuhdistamoiden käyttöön. Yhteiskäsittelylaitoksilla syntyvän välpeen koostumus on erilaista. Siinä on enemmän biomassaa ja vähemmän hiuskaroja ja muita kuituja. Laitteen toimintaa ei ole tutkittu riittävästi tällaisessa käytössä, joten on mahdotonta sanoa, pitävätkö esitteessä mainitut tiedot paikansa myös yhteiskäsittelylaitoksilla. Tarkempi kannattavuuslaskelma voidaan tehdä vasta, kun mitataan laitteen erottaman nesteen määrä ja koostumus. Uudet mittaukselliset tulokset voidaan päivittää Excel-taulukkoon myöhemmin. Tässä työssä käytetään tällä hetkellä saatavissa olevia tietoja.

Kokeista saatujen tulosten mukaan välpe sisältää noin 80 % vettä ja noin 5 % biomassaa. Laitteen toimittaneen yrityksen edustajan mukaan massareduktio

on vähintään 20 % silloin, kun laite on optimoitu toimimaan mahdollisimman hyvin. Välpeettä syntyy noin 81 kg jokaista käsiteltyä jätetonna kohden. Tällä hetkellä vuotuinen esikäsiteltävän jätteen määrä on 15 000 tonnia. Luku voi muuttua myöhemmin, mutta kannattavuus lasketaan tässä työssä kyseisen määrän mukaan. Jos laite saavuttaa 20 % massareduktion, se tarkoittaa, että nestettä saadaan vuodessa talteen 242,8 tonnia.

Liitteenä olevaan kannattavuuslaskelmaan (liite 1) on laskettu vuotuiset säästöt kolmella eri tavalla, koska ei voida olla varmoja, paljonko biomassaa saadaan erotettua välpeestä. Ensimmäisessä vaihtoehdossa talteen saadun nesteen biomassapitoisuus on sama kuin välpeen biomassapitoisuus ennen käsittelyä. Toisessa vaihtoehdossa nesteen biomassapitoisuus puolittuu ja kolmannessa vaihtoehdossa oletetaan talteen saadun nesteen olevan pelkkää vettä. Eri vaihtoehtojen mukaiset säästöt ja tulot ovat melko lähellä toisiaan, koska veden ja biokaasun hinnat eivät poikkea huomattavasti toisistaan.

### **7.1.3 Tuotteiden myyntihinnat**

Talteen saadusta vedestä tehdään nestemäistä lannoitetta, tai se erotetaan kiintoaineksesta ja kierrätetään takaisin prosessiin. Talteen saatu biomassa tuottaa biokaasua, ja siitäkin tehdään joko nestemäistä tai kiinteää lannoitetta. Suurin osa käsittelyjäännöksestä lingotaan, joten oletetaan, että kaikki vesi kierrätetään takaisin prosessiin ja kaikki käsitelty biomassa lingotaan maanparannuslannoitteeksi. Biomassan paino putoaa noin puoleen, mikä pitää ottaa huomioon lisääntyntä lannoitteen myyntituloa laskettaessa. Biokaasun hinta laskutetaan energiamäärän mukaan siten, että kaasun virtaama kerrotaan kaasun metaanipitoisuudella. Yksi kuutiometri metaania normaali-ilmanpaineessa sisältää energiaa 10 kWh (Maakaasukäsikirja. 2014. 7). Biotehtaan tuottaman kaasun metaanipitoisuus vaihtelee välillä 65 - 70 %. Oletetaan metaanipitoisuudeksi 67 %. Biokaasun ja lannoitteen myyntihinnat ovat salaisia, joten oletetaan biokaasun maksavan 0,025 €/kWh ja lannoitteen 10 €/tn.

#### 7.1.4 Veden ja sähkön ostohinta

Vesijohtoveden hinta koostuu perusmaksusta ja veden käyttömaksusta. Kiinteähintainen perusmaksu maksetaan vuosittain, vaikka vettä ei käytettäisikään. Yritys maksaisi sen kaikesta huolimatta, joten sitä ei huomioida kannattavuuden laskennassa. Veden käyttömaksua maksetaan käytetyn veden määrän mukaan. Jos rakennus kuuluu viemäriverkkoon, myös jätevedestä maksetaan perusmaksu ja jäteveden käyttömaksu. Oulun Biotehdas ei kuulu viemäriverkkoon, sillä viemäroitävät vedet ohjataan omaan prosessiin. Niinpä laitos maksaa 1,52 € jokaisesta kuutiometristä käytettyä vettä (Maksut ja taksat. 2017.). Välpepuristin käyttää toimiessaan jonkin verran vesijohtoverkostosta otettua vettä. Vedellä on tarkoitus pestä biomassaa pois välpeestä ennen sen puristamista. Laitteen esitteessä ei ole mainintaa siitä, kuinka paljon se voi käyttää teknistä vettä toimiessaan. Käytetyn veden määrä riippuu myös laitteen asetusarvoista, koska laitetta optimoidessa säädetään myös vesiventtiilien toiminta-aikaa. Oletetaan, että laite kuluttaa vettä 100 litraa tunnissa ollessaan toiminnassa.

Aiemmin talteen otetun veden arvo olisi ollut verkostoveden arvoista, mutta laitokselle asennettiin toinen linko laajennuksen yhteydessä, joten talteen otetulla vedellä ei ole arvoa, ellei prosessivedestä saada jalostettua mitään myyntikelpoista tuotetta. Prosessivedelle on kaavailtu erilaisia käyttökohteita, kuten luvussa 5 olevasta prosessikaaviosta (kuva 5) nähdään. Oletetaan, että prosessivedelle keksitään tulevaisuudessa sellaista käyttöä, että siitä voidaan periä hintaa 0,5 €/tn. Hintaa on helppo muuttaa myöhemmin laskentataulukkoon.

Sähkön hinta koostuu sähköenergiasta sekä sähkön siirrosta. Sähkön siirtomaksut riippuvat sulakekoosta sekä käytössä olevasta jännitetasosta. Jos käyttöpaikan sulakekoko on yli 63 ampeeria, käyttäjää laskutetaan tehosähkön siirtohinnoituksen mukaan. Tehosähkö jaetaan vielä pien- ja keskijännitetehosähköön. Tehosähkön hinta jakautuu perusmaksun lisäksi teho- ja loistehomaksuun sekä siirtomaksuun, joka on hieman korkeampi talviarkepäivinä kuin muuna aikana. Tehomaksu määräytyy kahden suuritehoisimman tunnin keskiarvon mukaan kuukausittain. Sähkön siirtohinnaan lisätään myös vero, joka on pienempi

teollisuudelle ja kasvihuoneviljelijöille, kuin kotitalouksille. Veron suuruus yritykselle on 0,87 snt/kWh. Oulun Biotehdas kuuluu pienjännitetehosähkön käyttäjiin, joten sen tehomaksu on 2,01 €/kW/kk ja sähkön siirtomaksu 1,35 snt/kWh suurimman osan ajasta. Oletetaan, ettei loistehoa synny merkittävästi. Sähkön energian hinta on suurimman osan vuodesta 4,95 snt/kWh (Oulun Energia.fi/tehosähkön myyntihinnasto).

Välpepuristimessa on vain yksi sähkömoottori, joka käyttää kuljetinruuvia. Moottorin teho on 4 kW. Jos moottoria käytetään kuukausittaisen tehohuipun aikaan, se lisää tehomaksua 8,04 €/kk eli 96,48 €/v. Jos moottori käy taukoamatta yhden tunnin ajan, se vie energiaa 4 kWh maksaen  $4 \cdot (0,87 + 1,35 + 4,95)$  snt eli 28,68 snt.

### **7.1.5 Välpeen hävittämisen kustannukset**

Välpe toimitetaan paikalliselle jätteenkäsittelyalan yritykselle hävitettäväksi. Jätteen vastaanottaa Kiertokaari Oy, joka on kunnallinen jätteenkäsittelyalan toimija. Se huolehtii noin 300 000 asukkaan jätteidenkäsittelystä, jäteneuvonnasta ja tiedottamisesta. Lisäksi yrityksen tavoitteena on edistää jätteen synnyn ehkäisyä, kierrätystä ja hyötykäyttöä. (Kiertokaari.fi/yrityksemme.)

Yhtiön kotisivuilla on hinnasto, jonka mukaan yritysten tuottaman välppäjätteen käsittelyhintaa on 188,48 €/tn. Välppäjätteellä tarkoitetaan jätevedenpuhdistamoissa syntyvää jätettä, jonka koostumus on erilaista kuin biojätteen esikäsittelystä syntyvä välppäjäte. Hinnastossa on myös nimike ”jätteenkäsittelyn rejekti”, joka voisi myös sopia kyseiselle jätetyypille. Jätteenkäsittelyn rejektin käsittelyhintaa on 168,09 €/tn. Toisaalta biokaasulaitoksella muodostuva välpe sisältää veden jälkeen enimmäkseen muovia ja jonkin verran myös muita kaupoissa ja kotitalouksissa syntyviä jätteitä, jotka olisi pitänyt lajitella polttokelpoiseksi jätteeksi. On siis mahdollista, että biojätteen esikäsittelystä syntyvä välpe voidaan kelpuuttaa polttokelpoiseksi jätteeksi, jonka käsittelyhintaa on 117,49 €/tn. Kyseinen hinta on halvin, joten myös välpeen määrän putoamisesta aiheutuvat säästöt ovat pienemmät. Kannattavuus päätettiin laskea polttokelpoisen jätteen hinnalla. Jos investointi on kannattava kyseisellä hinnalla, on se kannattava myös muilla mahdollisilla hinnoilla.

### 7.1.6 Laitteen arvioitu käyntiaika

Laitteessa on optinen tunnistin, joka mittaa välpeen määrää kaukalossa. Puristin toimii vain silloin, kun kaukalossa on tarpeeksi välpeettä, jota käsitellä, joten laitteen toiminta-aika ei ole sidoksissa muiden esikäsittelylaitteiden toiminta-aikaan. Laitteen esitteen mukaan paras käsittelytulos saavutetaan, kun välpeen käsittelynopeus on 1,5 - 2,5 m<sup>3</sup>/h. Mittausten perusteella muodostuvan välpeen tilavuus jätetonnina kohden on 0,095 m<sup>3</sup>/tn. Tällöin nykyisellä jätemäärällä välpeettä syntyy vuosittain noin 1 419 m<sup>3</sup>. Välpeen käsittelynopeus kannattaa olla alueella, jolla saavutetaan paras käsittelytulos. Oletetaan, että käsittelynopeus on 1,5 m<sup>3</sup>/h, jolloin vuotuinen käyntiaika on noin 947 tuntia.

### 7.1.7 Huollot

Laite on melko toimintavarma yksinkertaisen rakenteensa ja laadukkaiden materiaalien vuoksi. Laitteen huolto-ohjelmaan kuuluu vuotuinen tarkastus, jossa seurataan puristusosassa olevien kulutustankojen sekä kuljetinruuvien terässä olevien harjojen kuluneisuutta. Laitteen toimittaneen yrityksen huoltopäällikön mukaan kulutustangot joudutaan vaihtamaan keskimäärin kolmen vuoden välein ja harjakset 2 - 3 vuoden välein. Oletetaan, että huonoimmassa tilanteessa kummatkin joudutaan uusimaan kahden vuoden välein. Vaihtotyön kokonaiskustannukset varaosineen voidaan jakaa kahdella, jolloin saadaan keskimääräiset huoltokulut yhdelle vuodelle. Varaosien hintatietoja ei ole ilmoitettu, joten oletetaan kulutustankojen maksavan 400 € ja harjasten 100 €. Huoltoon kuluva aika ei myöskään ole tiedossa. Oletetaan siihen menevän neljä tuntia. Huoltomiehen tuntihinta voi olla esimerkiksi luokkaa 100 €. Tällöin yhden huollon hinta on 900 €, joka on vuodelle jaettuna keskimäärin 450 €.

Vaikka laitteen pitäisi olla hyvin toimintavarma, on mahdollista, että jokin osa rikkoutuu. Mikä tahansa liikkuva osa voi jumitua tai särkyä. Näitä ovat esimerkiksi sähkömoottori ja sen vaihteisto sekä sähköohjattujen vesiventtiilien solenoidit. Laitteelle myönnetään ainakin kahden vuoden takuu, jona aikana yllättävien laiterikkojen kuluja ei tarvitse huomioida. Arvioidaan koko laitteen käyttöiän aikaisten yllättävien laiterikkojen kuluiksi 10 000 €. Laitteen arvioitu käyttöikä on

vähintään 20 vuotta, joten laiterikoista aiheutuvat kustannukset ovat keskimäärin 500 € vuodessa.

### 7.1.8 Tuotto-odotus ja takaisinmaksuaika

Biotehtaalla 24.4.2017 pidetyssä aloituspalaverissa päätettiin, että investoinnin takaisinmaksuaika tulee olla korkeintaan 5 vuotta. Takaisinmaksuaika ei ota kantaa investoinnista saatavan tuoton määrään, joten tuotto-odotus määriteltiin investointityypin perusteella olevan 10 %. Kannattavuuslaskelmapohjaan on helppo muuttaa laskentakorkokanta, jos kannattavuus halutaan määrittää eri korkokannalla.

### 7.2 Kannattavuus

Ennen kuin investoinnin kannattavuus voidaan laskea, tulee selvittää vuotuisten nettotuottojen määrä. Nettotuotto saadaan, kun vuotuisista bruttotuotoista vähennetään vuotuiset kustannukset. Lasketaan säästöt ja kustannukset tapauksessa, jossa välpepuristin toimii 20 vuotta kapasiteetilla 1,5 m<sup>3</sup>/h saavuttaen keskimäärin 20 %:n massareduktion välpeelle. Oletetaan, että talteen saatu vesi lingotaan lopuksi prosessivedeksi ja se myydään nestemäisenä lannoitteena hintaan 0,5 €/m<sup>3</sup> ostajan maksaessa kuljetuskulut. Talteen saatu biomassaa saavuttaa 50 %:n massareduktion ja se kuivataan lingolla maanparannuslannoitteeksi, jonka hinta on 10 €/tn. Näiden oletusten perusteella saadaan taulukon 5 mukaiset tuotot ja säästöt.

TAULUKKO 5 Investoinnin tuomat vuotuiset säästöt ja tulot

Vuotuiset säästöt ja tulot				
Vaihtoehto	VE1	VE2	VE3	
Prosessiveden myynti	116	119	121	€
Lannoitteen myynti	56	28	0	€
Hävityskulusäästö	28526	28526	28526	€
Biokaasu	176	88	0	<b>k.a.</b>
Yhteensä	28874	28761	28647	<b>28761</b>

Taulukosta nähdään, että välpeen hävityskulujen lasku on selvästi suurin tekijä tuottojen muodostumiselle. Vaihtoehtojen 1 ja 3 tuottojen summa eroaa vain

227 €, joten biokaasun, prosessiveden ja lannoitteen myynti ovat melko merkityksellisiä kannattavuuden laskennan näkökulmasta. Keskimääräinen bruttotuotto on siis 28 761 € vuodessa. Lasketaan seuraavaksi vuotuiset kulut.

Laitteen vuotuinen käyntiaika on noin 947 tuntia. Tiedetään, että laitteen sähkömoottori on teholtaan 4 kW. Kolmen laitteessa olevan vesiventtiilin ohjaamiseen tarvittava sähköenergian määrä on niin pieni, ettei sitä oteta huomioon. Laitteen vedenkulutukseksi oletettiin 100 l/h. Huolto- ja korjauskuluiksi laskettiin 950 € vuodessa. Kulut on koottu taulukkoon 6.

*TAULUKKO 6 Investoinnista aiheutuvat vuotuiset kustannukset*

Vuotuiset kulut [€]	
Sähkö	368
Vesi	144
Huolto	450
Korjaus	500
<b>Yhteensä</b>	<b>1462</b>

Laitteesta ei laskelman mukaan aiheudu kovin suuria kuluja vuosittain. Huolto- ja korjauskustannukset muodostavat todennäköisesti suurimman osan investointiaikana muodostuvista kuluista. Näillä kuluilla keskimääräinen nettotuotto on siis (28 761 € - 1 462 €) = 27 299 € vuodessa.

Nyt voidaan sijoittaa saadut luvut kaavaan 1:

$$NT_{alku} = NT * \frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n} = 27\,299\text{€} * \frac{(1+1,1)^{20} - 1}{1,1 * (1+1,1)^{20}} = 232\,411\text{€}$$

Kun tulosta vähennetään perushankintakustannus 82 000 €, saadaan erotukseksi 150 411 €, joten investointi on kannattava nykyarvomenetelmällä laskettaessa. Lasketaan seuraavaksi investoinnin takaisinmaksuaika.

Takaisinmaksuaika saadaan laskettua, kun tiedetään perushankintakustannus ja vuotuinen nettotuotto (kaava 3). Takaisinmaksuajaksi saadaan:

$$t_{tak} = \frac{PHK}{NT} = \frac{82\,000\text{€}}{27\,299\frac{\text{€}}{a}} = 3,00\text{ a}$$

Investointi maksaa siis itsensä takaisin likimain kolmen vuoden kuluttua käyttöönottohetkestä. Takaisinmaksuajan minimivaatimus oli 5 vuotta, joten investointi on kannattava.

Investoinnin kannattavuus laskettiin Excel-taulukkoon kaavoja apuna käyttäen, joten laskelmaan voidaan kokeilla eri lukuarvoja, joilla voidaan arvioida kannattavuutta eri tilanteissa. Jos esimerkiksi investointiajaksi otetaan 10 vuotta, nettotuottojen nykyarvon ja perushankintakustannuksen erotus on silti 85 740 €, joten investointi on edelleen kannattava. Jos palautetaan investointiaika ennalleen ja muutetaan välpepuristimen aikaansaama massareduktion arvoa 20 %:sta 10 %:n, on erotus 27 983 € ja investointi pysyy kannattavana. Jos kyseisen massareduktion lisäksi investointiaika on 10 vuotta, erotus on -2 621 €, eikä investointi ole enää kannattava. Kannattavuuslaskelmat ovat liitteessä 1 ja välpepeen määrän laskenta, mädätyskokeen tulokset sekä pommikalorimetriko-keen tulokset ja niiden pohjalta lasketut koostumukset liitteissä 2,3 ja 4. Investoinnin kohteena olevan laitteen esite on liitteessä 5.



## 8 YHTEENVETO

Gasum Oulun Biotehdas Oy päätti investoida laitoksen laajennuksen yhteydessä välpepuristimeen. Laite käsittelee biojätteen esikäsitteilyprosessissa syntyvää rejektiä. Tämän työn tavoitteena oli arvioida välpepuristimen taloudellista kannattavuutta, selostaa rejektin eli välpeen koostumuksen määrittystapa sekä antaa yleiskuva eri biokaasulaitostyypeistä ja -prosesseista.

Välpeen koostumus määritettiin, koska sen ominaisuudet vaikuttavat välpepuristimen saavuttamaan massareduktioon ja myös talteen saadun nesteen koostumukseen. Jos välpe on kuivaa, massareduktio jää pieneksi ja kannattavuus heikoksi. Koostumus määritettiin Oulun ammattikorkeakoulun laboratorio-laitteistoilla, jotka sijaitsevat Kotkantien kampuksella.

Välpeen muodostumismäärä määritettiin, jotta saatiin selville käsiteltävissä olevan välpän määrä. Jos määrä on pieni, myös talteen saadun nesteen vuotuisen määrä on pieni ja kannattavuus kärsii. Määrittämiseen käytettiin Oulun Biotehdas Oy:n ja Kiertokaari Oy:n laitteita. Muodostuneen välpeen määrää verrattiin käsitellyn biojätteen määrään.

Välpeen biomassapitoisuuden määrittäminen jäi epätarkaksi, koska reaktoripullojen sekoittimet olivat lakanneet pyörimästä ja näyte oli kerrostunut. Lopputulosten perusteella biomassapitoisuus ja siitä saatava kaasu- ja lannoitemäärät ovat lähes merkityksettömän pieniä verrattuna välpeen hävittämiskustannusten laskusta aiheutuviin säästöihin. Siksi epätarkat tulokset välpeen koostumuksessa eivät heijastuneet suuresti itse kannattavuuslaskelman tarkkuuteen.

Investointi osoittautui erittäin kannattavaksi, kun välpepuristin saa eroteltua 20 % välpeen massasta takaisin prosessiin, ja investointiaika on 20 vuotta. Investointi oli kannattava vielä kymmenenkin vuoden investointiajalla. Edellä mainitulla massareduktiolla takaisinmaksuaika on 3 vuotta. Palaverissa sovittu pisin takaisinmaksuaika oli 5 vuotta, joten tällä kriteerillä investointi on kannattava. Jos massareduktio tippuukin kymmeneen prosenttiin, takaisinmaksuaika on 6,3 vuotta, eikä investointi ole enää kyseisen kriteerin mukaan kannattava.

Investoinnin tarkempi kannattavuus voidaan laskea vasta, kun välpepuristin on käytössä ja todellinen massareduktio voidaan mitata. Kannattavuus saadaan laskettua helposti, kun saatu massareduktion arvo syötetään työhön sisältyvään laskentapohjaan.

## LÄHTEET

Fine screen Rotamat. 2017 Huber Technology Inc. Saatavissa: <http://www.huber-technology.com/products/screens-and-fine-screens/rotamatr-screens/huber-fine-screen-rotamatr-ro1.html>. Hakupäivä 24.11.2017.

Forsius, Kaj 2016. Paras käyttökelpoinen tekniikka BAT. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/bat>. Hakupäivä 2.11.2017.

Gasum Biotehdas Oy, Oulun biokaasulaitoksen laajennushanke. 2016 Watrec Oy. Ympäristövaikutusten arviointiselostus. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B9D6F9B01-D527-40E9-B391-01F8571CBEDD%7D/121061>. Hakupäivä 8.11.2017.

Haverila, Matti J – Uusi-Rauva Erkki – Kouri Ilkka – Miettinen Asko 2009. Teollisuustalous. Tampere: Hämeen Kirjapaino Oy.

Huttunen, Markku J – Kuittinen, Ville 2017. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 20. Statistiikkaraportti. Itä-Suomen yliopisto. Jyväskylä: Grano Oy.

Karjalainen, Leila 2005. Optimi – matematiikkaa talouselämän ammattilaisille. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

Latvala, Markus 2009. Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Helsinki: Suomen Ympäristökeskus. Saatavissa: [http://www.bionova.fi/sites/default/files/sy\\_24\\_2009.pdf](http://www.bionova.fi/sites/default/files/sy_24_2009.pdf). Hakupäivä 17.10.2017.

Maakaasukäsikirja. 2014. Suomen kaasuyhdistys. Saatavissa: [http://www.kaasuyhdistys.fi/sites/default/files/kuvat/kirja/MaakaasuKasikirja\\_helmikuu2014.pdf](http://www.kaasuyhdistys.fi/sites/default/files/kuvat/kirja/MaakaasuKasikirja_helmikuu2014.pdf). Hakupäivä 05.12.2017.

Maksut ja taksat. 2017 Oulun Vesi. Saatavissa: <http://www.ouluvesi.fi/hinnastotjasopimusehdot>. Hakupäivä 24.11.2017.

ResearchGate 2014. While passing CO<sub>2</sub> from NaOH solution what will be formed NaHCO<sub>3</sub> or Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Saatavissa:

[https://www.researchgate.net/post/while\\_passing\\_CO2\\_gas\\_from\\_NaOH\\_solution\\_what\\_will\\_be\\_formed\\_NaHCO3\\_or\\_Na2CO3](https://www.researchgate.net/post/while_passing_CO2_gas_from_NaOH_solution_what_will_be_formed_NaHCO3_or_Na2CO3). Hakupäivä 16.11.2017.

StackExchange 2016. Chemistry. Saatavissa:

<https://chemistry.stackexchange.com/questions/57288/reaction-between-naoh-and-co2>. Hakupäivä 16.11.2017.

Strömberg, Lars 2017. Huoltopäällikkö, Hydropress Huber AB Suomi.

Välpepuristimeen tutustuminen. Haastattelu 26.10.2017.

Tehosähkön siirtohinnoista. 2017 Oulun Energia. Saatavissa:

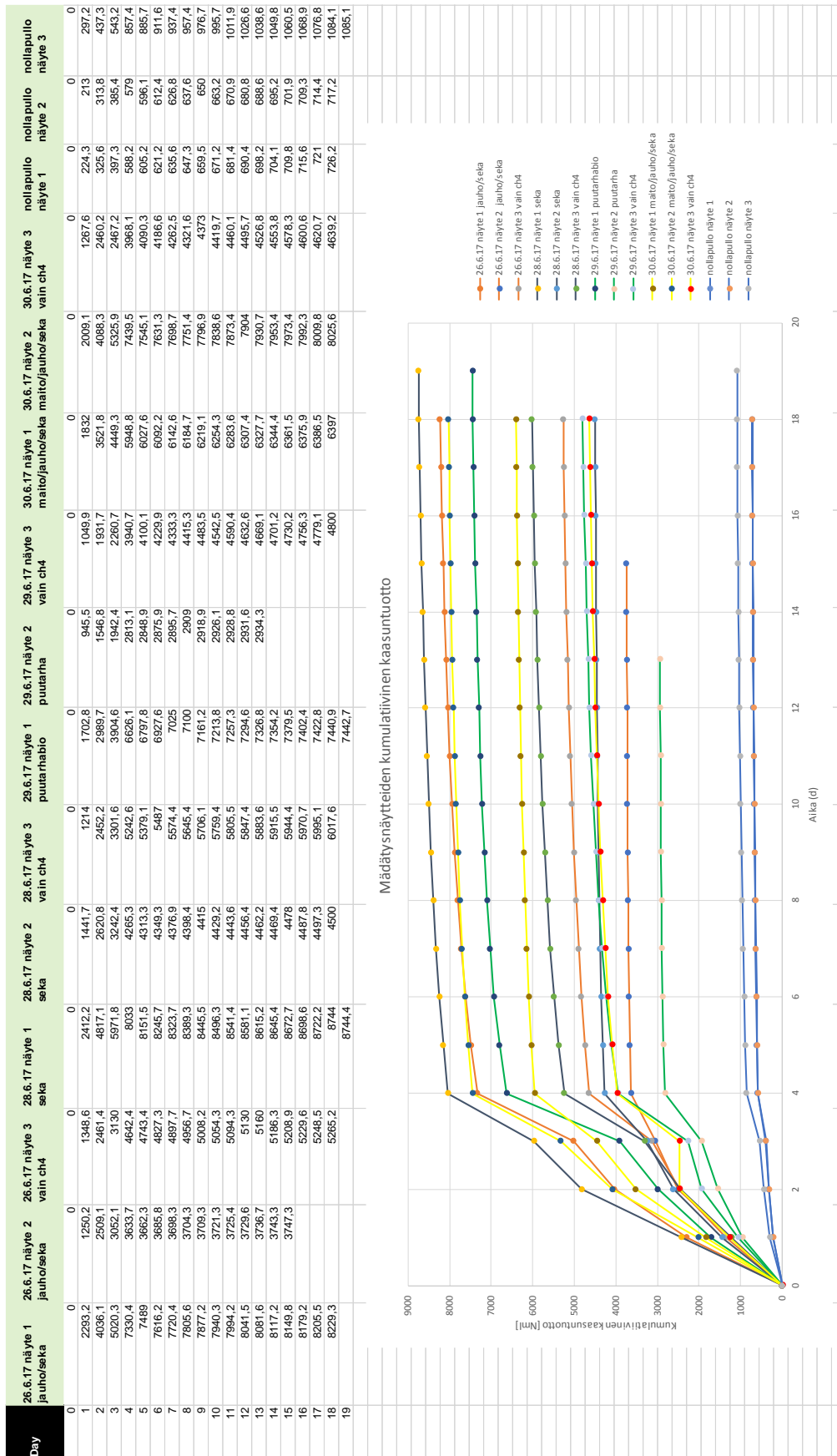
<https://www.oulunenergia.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkoverkkopalvelut/verkkopalveluhinnasto/sahkon-siirtohinnoista/tehosahkon-siirtohinnoista>. Hakupäivä 24.11.2017.

Tymoliftaleiini. 2017. Wikipedia. Saatavissa:

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Tymoliftaleiini>. Hakupäivä 16.11.2017.

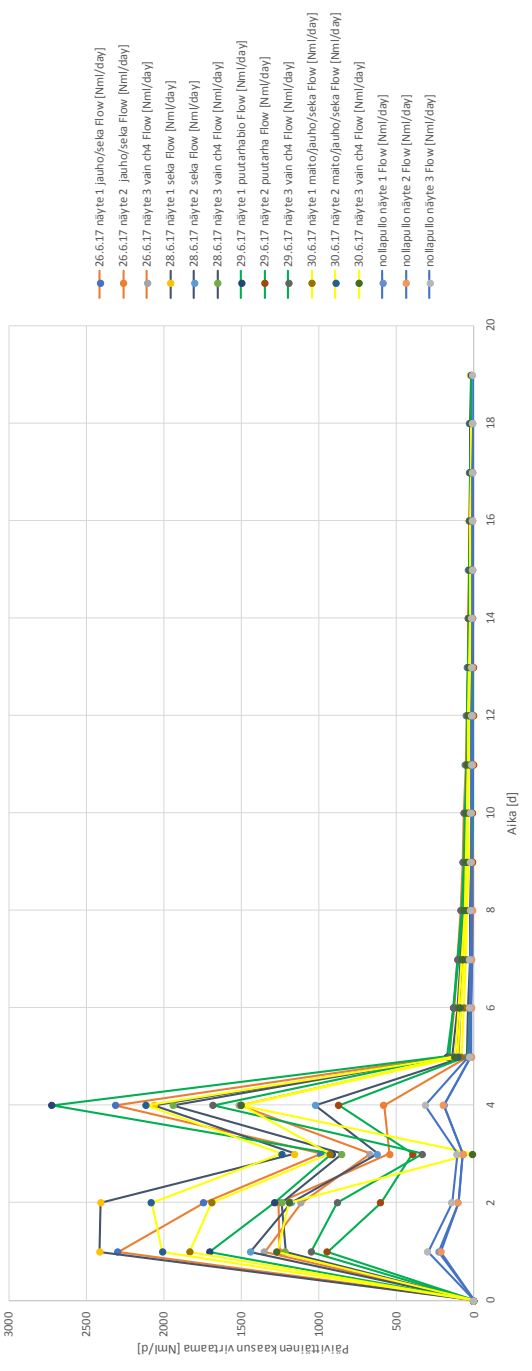
Välpepuristimen kannattavuuslaskelma			
<b>Laitteen käyttötiedot</b>			
Sähkön kulutus käytössä	4	kW	
Veden kulutus käytössä	0,1	m <sup>3</sup> /h	
Säätetty massareduktio	20 %		
Käsitteilykapasiteetti	1,5-4	m <sup>3</sup> /h	
Vuotuinen välpeen tilavuus	1419,4	m <sup>3</sup>	
Käsitteilynopeus	1,5	m <sup>3</sup> /h	
Käsitteilyaika valitulla nopeudella	946,3	h	
<b>Välpeen tiedot</b>			
Kosteus-%	79,92 %		
Biomassan osuus	4,65 %		
Kontin tilavuus	2,68	m <sup>3</sup>	
Välpeen massa	2290	kg	
Konttien tyhjennyskerrat	9,2	kpl/ko	
Muodostuvan välpeen massa	21068	kg/ko	
Muodostuvan välpeen tilavuus	24,63	m <sup>3</sup> /ko	
<b>Välpeen muodostuminen</b>			
Käsitellyn jätteen määrä	260,32	tn/ko	
Muodostuvan välpeen massa	80,93	kg/tn	
Muodostuvan välpeen tilavuus	0,095	m <sup>3</sup> /tn	
Käsiteltävän jätteen määrä	15000	tn/a	
Vuotuinen välpeen massa	1213967	kg	
Vuotuinen välpeen tilavuus	1419,4	m <sup>3</sup>	
Jätteestä	8,1 %	seulotaan välpeeksi	
<b>Talteen otetun nesteiden tiedot</b>			
Vuotuinen nesteen määrä	242793	kg	
Myydyn kaasun metaanipitoisuus	242,8	m <sup>3</sup> (p=1000)	
1 m <sup>3</sup> metaania on	67 %		
	10	kWh energiaa	
Jos nesteen biomassaapitoisuus on sama kuin välpeen			
Biomassan osuus	11296	kg	
Nesteen osuus	231	m <sup>3</sup>	
Biomassan kaasuntuotto	1050	Nm <sup>3</sup>	
Metaanin tuotto	703,7	Nm <sup>3</sup>	
Jos nesteen biomassaapitoisuus on puolet välpeen pitoisuudesta			
Biomassan osuus	5648	kg	
Nesteen osuus	237	m <sup>3</sup>	
Biomassan kaasuntuotto	525	Nm <sup>3</sup>	
Metaanin tuotto	351,8	Nm <sup>3</sup>	
<b>Hinnasto</b>			
Sähkö			
Tehomaksu vuodessa	96,48	€	
Energia	0,0495	€/kWh	
Siirto + vero	0,0222	€/kWh	
Yhteensä	0,0717	€/kWh	
Verkostovesi	1,52	€/m <sup>3</sup>	
Talteenotetun veden arvo	0,5	€/m <sup>3</sup>	
Biomassan lannoitearvo	10	€/tn	
Biokaasun myynti	0,025	€/kWh	
Välpeen hävitys	117,49	€/tn	
<b>Perushankintakustannukset</b>			
Laitteen suunnittelukulut	30000	€	
Laitteen ostohinta toimituksineen	50000	€	
Laitteen käyttöönottokulut	2000	€	
Yhteensä	82000	€	
<b>Korkokanta</b>			
Investointiaika	20	v	
Takaisinmaksuaika	5	v	
Jäännösarvo	0	€	
<b>Kannattavuus nykyarvomenetelmällä</b>			
Vuotuiset nettotuotot	27299	€	
Nettotuottojen nykyarvo	232411	€	
Perushankintakustannus	82000	€	
<b>Erotus</b>	<b>150411</b>	<b>€</b>	$= NT \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n}$
Investointi on kannattava			
<b>Kannattavuus takaisinmaksuajan menetelmällä</b>			
Kriteeri: $t_{rak}$ vähintään	5	vuotta	
<b>Takaisinmaksuaika <math>t_{rak}</math> =</b>	<b>3,00</b>	<b>vuotta</b>	$t_{rak} = \frac{PHK}{NT}$
Investointi on kannattava			
<b>Vaihtoehdot</b>			
VE1	Täysi biomassan saanto		
VE2	Saanto puolet välpeen biomassasta		
VE3	Saanto pelkkää vettä		
<b>Jätteen hävityksen kustannukset</b>			
Jätteenkäsitellyn rejektin	168,1	€/tn	
Polttokeelpoinen jäte	117,5	€/tn	
Välppäjäte	188,5	€/tn	
<b>Vuotuiset kulut [€]</b>			
Sähkö	368		
Vesi	144		
Huolto	450		
Korjaus	500		
Yhteensä	1462		
<b>Vuotuiset säästöt ja tulot</b>			
Vaihto-VE1	VE2	VE3	
Prosessi	116	119	121
Lannotti	56	28	0
Hävitys	28526	28526	28526
Biokaas	176	88	0
Yhteensä	28874	28761	28647
<b>28761</b>			





26.6.17 näyte 1 jauho/seka Flow [Nm/day]	26.6.17 näyte 2 jauho/seka Flow [Nm/day]	28.6.17 näyte 1 seka Flow [Nm/day]	28.6.17 näyte 2 seka Flow [Nm/day]	28.6.17 näyte 3 seka Flow [Nm/day]	29.6.17 näyte 1 puutarhabio Flow [Nm/day]	29.6.17 näyte 2 puutarha Flow [Nm/day]	29.6.17 näyte 3 vain ch4 Flow [Nm/day]	30.6.17 näyte 1 maito/jauho/seka Flow [Nm/day]	30.6.17 näyte 2 maito/jauho/seka Flow [Nm/day]	30.6.17 näyte 3 vain ch4 Flow [Nm/day]	nollapullo näyte 1 Flow [Nm/day]	nollapullo näyte 2 Flow [Nm/day]	nollapullo näyte 3 Flow [Nm/day]
2293,2	1250,2	1348,6	2412,2	1441,7	1214	1702,8	945,5	1049,9	1832	2009,1	1257,6	224,3	297,2
1742,9	1258,9	1112,7	2404,9	1179,1	1238,2	1286,9	601,2	881,8	1689,9	2079,2	1192,6	101,3	140,1
984,3	543	688,7	1154,7	621,6	849,4	914,9	395,7	329,1	927,4	1237,5	7,1	71,7	105,8
2310,1	581,6	1512,4	2061,2	1023	1941	2721,5	870,7	1680	1499,5	2113,7	1500,8	190,8	314,2
158,5	28,7	101	118,5	48	136,6	171,7	35,8	159,4	78,8	105,6	122,3	17	28,4
127,3	23,5	83,9	94,1	35,9	107,8	129,8	27	86,2	64,6	86,2	16	16,3	25,9
104,2	12,5	70,5	104,2	78	87,4	97,4	19,8	103,4	50,4	67,4	14,4	14,4	25,8
85,2	6	58,9	65,6	21,5	71,1	82	13,3	82	42	52,8	59	11,7	20
71,6	5,1	51,5	56,1	16,6	60,6	61,3	9,9	68,2	34,4	45,5	51,4	12,3	19,3
63,1	12	46,1	50,9	14,2	53,3	52,5	7,2	59,1	35,2	41,6	46,7	11,7	19
53,9	4,1	40	45	14,4	46,1	43,5	2,7	47,9	29,4	34,8	40,4	10,2	16,2
47,3	4,1	35,7	39,7	12,8	41,9	37,3	2,7	42,2	23,8	30,6	35,6	9	14,6
40,1	7,1	30	34,1	5,8	36,2	32,1	2,7	36,6	20,2	26,7	31,1	7,8	12,1
35,6	6,6	26,3	30,2	7,1	31,9	27,4	7,1	32,1	16,7	22,6	27	5,9	11,2
32,6	6,5	22,6	27,3	8,7	29	25,3	29	29	17,2	20,1	24,4	5,6	10,7
29,4	20,7	20,7	25,9	9,8	26,3	22,9	26,1	26,1	14,4	18,8	22,3	5,8	7,4
26,3	18,9	23,6	24,4	9,5	24,4	20,4	22,8	22,8	10,6	17,5	20,1	5,4	8
25,1	17,2	17,2	20,3	9,2	22,8	17,2	21,1	21,1	12,8	16,2	18,9	5,3	7,3

Pullojen virtaama per päivä





Pommikalorimetrikokeet ja koostumuksen määrittäminen									
Laitteisto	Kalorimetri Jäähdytintin Vaa'at	IKA Werke C5003 Control IKA KV600 Digital A&D MF50 Precisa XM60							
Esilämmitys	Mittauksen arvo	Ohjeisto	Ero	Raja	Tulos				
Bentsoehappo:	26542	26456	86	120	OK				
$E_{päässi}$	46463	J/g							
Mittaukset									
Näytteen pvm	26.6.2017	28.6.2017	29.6.2017	30.6.2017	k.a.				
Kosteus-%	81,15 %	82,80 %	78,65 %	77,08 %	79,92 %				
$m_{päässi}$ [g]	0,130	0,131	0,132	0,126	0,130				
$E_{päässi}$ [J]	6040	6087	6133	5854	6029				
$H_u$ [J/g]	17731	17692	18156	18828	18102				
$m_{kuoppi}$ [g]	10,260	10,202	10,152	9,964	10,145				
$m_{loppu}$ [g]	10,321	10,252	10,189	9,995	10,189				
$\Delta m$ [g]	0,061	0,050	0,037	0,031	0,045				
$m_{näyte}$ [g]	0,516	0,596	0,525	0,611	0,562				
Kuivatun näytteen koostumus									
Näytteen pvm	26.6.2017	28.6.2017	29.6.2017	30.6.2017	k.a.				
$m_{näyte}$ [g]	10,776	10,798	10,677	10,575	10,707				
$m_{loppu}$ [g]	10,321	10,252	10,189	9,995	10,189				
Massareduktio	0,455	0,546	0,488	0,58	0,517				
Näytteen VS-päässi	86,2 %	91,6 %	93,0 %	94,9 %	91,9 %				
Tuhtaan määrä	0,061	0,05	0,037	0,031	0,045				
Näytteen tuhkä	11,8 %	8,4 %	7,0 %	5,1 %	8,1 %				
Massatase	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %				
Kostean näytteen koostumus									
Näyte	26.6.2017	28.6.2017	29.6.2017	30.6.2017	k.a.				
Kosteus-%	81,15 %	82,80 %	78,65 %	77,08 %	79,9 %				
Kuiva-ainepit.	18,85 %	17,20 %	21,35 %	22,92 %	20,1 %				
Josta palava	86,2 %	91,6 %	93,0 %	94,9 %	91,9 %				
Josta tuhkaa	11,8 %	8,4 %	7,0 %	5,1 %	8,1 %				
Yhteensä palava	16,62 %	15,76 %	19,85 %	21,76 %	18,5 %				
Yhteensä tuhka	2,23 %	1,44 %	1,50 %	1,16 %	1,6 %				
Massatase	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %				

Palavien aineiden koostumus									
Massareduktion mukaan	26.6.2017	28.6.2017	29.6.2017	30.6.2017	k.a.				
Näyte	16,62 %	15,76 %	19,85 %	21,76 %	18,5 %				
Yhteensä palava	2,25 %	2,24 %	2,05 %	2,26 %	2,2 %				
Biomassan osuus (hajoamisaste 100%)	4,49 %	4,48 %	4,10 %	4,52 %	4,4 %				
Palavan epäorgaanisen osuus	12,13 %	11,28 %	15,74 %	17,23 %	14,1 %				
Energiamäärän mukaan	26.6.2017	28.6.2017	29.6.2017	30.6.2017	k.a.				
Näyte	17731	17692	18156	18828	18101,75				
Koko energiasisältö	3009,13	2415,84	2139,08	2163,65	2431,927				
Biomassan energia (hajoamisaste 100%)	6018,265	4631,683	4278,164	4327,301	4863,853				
Biomassan energia (hajoamisaste 50%)	33,94 %	27,31 %	23,56 %	22,98 %	26,9 %				
Biomassan osuus kok.energiasta	66,06 %	72,69 %	76,44 %	77,02 %	73,1 %				
Palavan epäorgaanisen osuus	16,62 %	15,76 %	19,85 %	21,76 %	18,5 %				
Palavia aineita näytteessä	5,64 %	4,30 %	4,68 %	5,00 %	4,9 %				
Biomassan osuus näytteessä	10,98 %	11,45 %	15,17 %	16,76 %	13,6 %				
Saatujen koostumusten vertailua									
Biomassan osuus näytteessä	26.6.	28.6.	29.6.	30.6.	k.a.				
Massaperiaate	4,5 %	4,5 %	4,1 %	4,5 %	4,4 %				
Energiaperiaate	5,6 %	4,3 %	4,7 %	5,0 %	4,9 %				
Keskianvo	5,1 %	4,4 %	4,4 %	4,8 %	4,7 %				
Max. poikkeama k.a:sta	11,4 %	2,0 %	6,5 %	5,0 %	6,2 %				
Palavan epäorgaanisten osuus	26.6.	28.6.	29.6.	30.6.	k.a.				
Massaperiaate	12,1 %	11,3 %	15,7 %	17,2 %	14,1 %				
Energiaperiaate	11,0 %	11,5 %	15,2 %	16,8 %	13,6 %				
Keskianvo	11,6 %	11,4 %	15,5 %	17,0 %	13,8 %				
Max. poikkeama k.a:sta	5,0 %	0,8 %	1,9 %	1,4 %	2,3 %				

Näytteiden koostumus

Päivä	Vesi (%)	Palavat epäorgaaniset (%)	Biomassa (%)
26.6.2017	~85	~10	~5
28.6.2017	~85	~10	~5
29.6.2017	~85	~10	~5
30.6.2017	~85	~10	~5

Välpeen muodostumismäärä						
Kontin tyhjennyskerrat, vko 38						
MA	TI	KE	TO	PE	Yht.	
1,1	1	1,1	1	0,8	5	
	0,6	0,7	0,5	1	2,8	
			0,7	0,7	1,4	
					9,2	
<b>Välpeen paino</b>						
						<b>Välpeen tilavuus</b>
Paino 22.9.		2660	kg			Kippikontin mitat
Paino 16.10.		2760	kg			
k.a.		2710	kg			Pohjan leveys 196 cm
Tyhjäpaino		400	kg			Pohjan syvyys 60 cm
Pyöräkoneen kanssa		6580	kg			Seinän korkeus pohjasta 117 cm
Pelkkä pyöräkone		6160	kg			Kaltevan osan syvyys 148 cm
Erotus		420	kg			Osan kaltevuus 38,3278 °
						Seinän korkeus täyttöast 107 cm
						Kaltevan syvyys täyttöas 135,35043
Välpeen paino 22.9.		2240	kg			Pohja Kalteva os. Yht.
Välpeen paino 16.10		2340	kg			Täyden kontin tilavuus 1,38 1,70 3,07 m <sup>3</sup>
k.a.		2290	kg			Tilavuus täyttöasteella 1,26 1,42 2,68 m <sup>3</sup>
						Välpeen tiheys 855,24204 kg/m <sup>3</sup>
						<b>Viikon aikana syntyvän välpeen paino 21068 kg</b>
						<b>Viikon aikana syntyvän välpeen tilavuus 24,63 m<sup>3</sup></b>

## HUBER Välpeenpesuri WAP



Välpeen pesu- ja puristuslaite eri käyttötarkoituksia varten:

- kuiva-ainepitoisuus jopa 45 % TS
- painon aleneminen jopa 75 %
- valmistettu kokonaan ruostumattomasta teräksestä

## ➤ Rakenne ja toiminta:

### WAP – kustannustehokas välpeen pesu!

Käsiteltävä välpe puretaan välpistä tai ruuvikuljettimesta suoraan välpeenpesurin syöttökaukaloon.

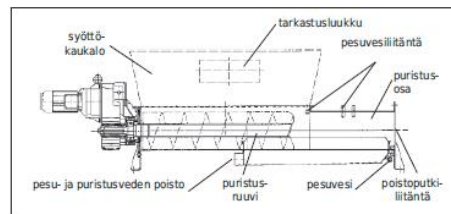
Tukevarakenteinen kuljetus- ja puristusruuvi kuljettaa välpeen pesualueelle. Välpe altistetaan voimakkaasti virtaavalle pesuvesisuihkulle (käytetään teknistä vettä). Vesipyörteen ansiosta orgaaninen aines voidaan erottaa lähes täysin välpeestä joten pesu on tehokas. Pesun voimakkuutta ja kestoja voidaan säädellä yksilöllisesti.

Pesty välpe kuljetetaan edelleen kaltevasti nousevaan putkeen, ja puristetaan ja kuivataan ruuvin avulla. Lopputuotteen kuiva-ainepitoisuudeksi saadaan jopa 35-45 % TS. Välpeestä puristettu suodos sekä pesuvesi on hiilipitoinen ja se palautuu takaisin puhdistamon jätevesivirtaan.

Laitteen alla sijaitsevan suodoksen kaukalo huuhdellaan automaattisesti. Lopuksi pesty ja kuivattu välpe kuljetetaan kartionmuotoisen poistoputken kautta erilliseen astiaan.

## ➤ Käytön edut:

- Kuivausteho on jopa 45 % TS.
- Jätteen määrä ja käsittelykustannukset vähenevät jopa 75 %.
- Laitteen kapasiteetti on jopa 12 m<sup>3</sup>/h välpettä.
- Laite on valmistettu kokonaan ruostumattomasta teräksestä myös puristusruuvi.
- Laite on korroosiosuojattu passiiviomalla happokylvyssä.
- Hiilirikas suodos palautuu jäteveteen.
- Kestää hyvin karkeaa ainesta.
- Välpättyä- tai teknistä vettä käytetään pesuvetenä.
- Syöttökaukalon pituus määritellään asennuspaikan mukaan
- Investointi maksaa itsensä nopeasti takaisin alhaisempina jätteen hävittämis- ja kuljetuskustannuksina.



Välpeen voi purkaa laitteeseen eri tavalla



WAP Välpeenpesuri käsittelee välpeen luotettavasti

## Hydropress HUBER AB

Hankasuontie 9 · 00390 Helsinki  
 Puh: 0207 120 620 · Fax: 0207 120 625  
 info@huber.fi · Internet: www.huber.fi

Tekniset muutokset mahdollisia  
 0,0 / 1 – 3.2014 – 3.2014

HUBER Välpeenpesuri WAP