



BIOKAASULAITTEISTON SUUNNITTELU, RAKENTAMINEN JA VALIDOINTI

Opinnäytetyö

Jukka Kervinen

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Automaatio- ja mittaustekniikka

Vesihuoltotekniikka

Ympäristörakentaminen

Ympäristönsuojelu

SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU TEKNIikka KUOPIO

Koulutusohjelma

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Tekijä

Jukka Kervinen

Työn nimi

Biokaasutuslaitteiston suunnittelu, rakentaminen ja validointi

Työn laji

Päiväys

Sivumäärä

Insinöörityö

30.11.2010

50+27

Työn valvoja

Yrityksen yhdyshenkilö

yliopettaja Merja Tolvanen

Projekti-insinööri Teija Rantala

Yritys

Savonia-ammattikorkeakoulu, tekniikka Kuopio

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella, rakentaa ja validoida laboratoriomittakaavan biokaasutuslaitteisto, joka tulee palvelemaan sekä Savonia-ammattikorkeakoulua että Itä-Suomen yliopistoa yhteisissä laboratoriotiloissa. Taustana työlle toimi lisääntynyt tarve eri aineiden kaasuntuutkimuksille tarve sekä puutteet olemassa olevassa laitteistossa. Biokaasualan tutkimus- ja kehitystyö on yksi Savonia-ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan painopisteistä.

Työssä vertailtiin muualla käytössä olevia vastaavia biokaasutuslaitteistoja ja tutkittiin eri materiaalien soveltuvuutta suunniteltavaan laitteistoon. Näiden ja työn tilaajan tarpeiden pohjalta suunniteltiin uusi laitteisto. Laitteistolle asetettiin vaatimuksiksi läpinäkyvyys ja autoklaavin kestävyys. Valmiin ja hyväksytyin suunnitelman pohjalta kilpailutettiin laitteiston eri osien valmistaminen eri yrityksillä ja rakennettiin prototyyppi, jossa on vastaavat rakenteet. Prototyypillä tutkittiin laitteiston yleistä toimintaa, käyttöä ja tulosten luotettavuutta osana validointia.

Suunnittelun mukaisesti rakennettiin neljän reaktorin muodostama kokonaisuus. Valmis laitteisto koepaineistettiin kaasutiiviuden varmistamiseksi. Rakennettu laitteisto todettiin luotettavaksi, toimivaksi ja edulliseksi. Kehitetylle laitteistolle laadittiin käyttöohjeet laitteen opetus- ja tutkimuskäyttöön.

Avainsanat

biokaasutus, koelaitteisto, anaerobinen hajoaminen

Luottamuksellisuus

julkinen

SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Programme

Environmental Engineering

Author

Jukka Kervinen

Title of Project

Designing, Constructing and Validating of Biogas Plant for Continuous Tests

Type of Project

Date

Pages

Final Project

30 November 2010

50+27

Academic Supervisor

Company Supervisor

Mrs Merja Tolvanen, Principal Lecturer

Ms Teija Rantala, B.Sc.

Company

Savonia University of Applied Sciences

Abstract

The purpose of this thesis was to design, construct and validate a new laboratory-scale biogas plant for continuous tests. The subscriber was Savonia University of Applied Sciences. The apparatus will be used for testing the gasification and anaerobic digestion of different organic materials, like biomass and biowaste. Writing the manual for the apparatus was also part of the thesis. Main requirements set for the apparatus were transparency and autoclave durability.

The designing process was based on similar apparatuses currently in use. Designing also included charting of suitable materials for the biogas reactor. With these and after finding an affordable manufacturer, the final design was formed after a few sketches. Before constructing the actual apparatus, a prototype was made. This prototype included all the features of the actual one, except that it was much cheaper to construct. The prototype was used for the validating process along with some other tests carried out before ordering the parts for the actual apparatus. The main parts of the plant were constructed by subcontractors, leaving practically only the assembly to be done within this thesis.

The apparatus constructed combined all of the best features of the apparatuses used by others and was made out of lasting materials. The requirements set were all met and the design works perfectly.

Keywords

Anaerobic digestion, biogas

Confidentiality

public

ALKUSANAT

Tässä opinnäytetyössä on käsitelty ainoastaan jatkuvatoimisen biokaasulaitteiston suunnittelu ja rakentaminen mutta kokonaisuudessaan työssä pääsin tutustumaan biokaasualaan ja sen tutkimiseen perusteellisesti. Myös muita yleishyödyllisiä osa-alueita, kuten osien tilaamista ulkomailta, pääsi työn aikana harjoittelemaan. Työn ohessa rakensin Savonia-ammattikorkeakoululle myös käytettävät panoskoepullot, joiden rakenne ei tosin ollut minun suunnittelemani. Opinnäytetyöprosessin aikana työskentelin Savonia-ammattikorkeakoululla muutaman kuukauden ja pääsin osaksi useita muita käynnissä olevia projekteja, joista varmasti tulee olemaan minulle hyötyä tulevaisuudessa. Lisäksi työskentelyn kautta minulle karttui muitakin erinomaisia kokemuksia, kuten muuttaman esitelmän pitäminen biokaasualasta ja AutoCAD:lla mallintamisesta.

Haluan kiittää kaikkia työssäni mukana olleita henkilöitä, joita näin laajassa projektissa on monia Savonia-ammattikorkeakoulusta, eri yrityksistä ja vapaa-ajan puolelta. Erityisen kiitoksen haluan osoittaa prototyypin valmistamisesta AP-Partsin omistajalle ja toimitusjohtajalle Anssi Peltoperälle.

Kuopiossa 30.11.2010

Jukka Kervinen

SISÄLLYS

SELITTEET	7
1. JOHDANTO	8
2. BIOKAASUTUS PROSESSINA	9
2.1. Biokaasutustapahtuman vaiheet ja edellytykset	9
2.2. Biokaasutus laboratorionkoluokassa	11
2.3. Biokaasutuksen merkitys ja hyödyntämismahdollisuudet energiantuotannossa	12
3. MUIDEN KÄYTTÄMÄT ANAEROBILAITTEISTOT	13
3.1. Armfield W8 Anaerobic Digester	13
3.2. Itä-Suomen yliopiston laitteisto	14
3.3. Ostfalia-ammattikorkeakoulun laitteisto	16
3.4. Washingtonin yliopiston kokeessa käytetty laite.....	18
3.5. Aerobinen bioreaktori.....	19
3.6. Yhteenveto muiden käyttämistä laitteistoista	20
4. LAITTEISTOON SOVELTUVA MATERIAALI.....	21
4.1. Lasi.....	21
4.2. Teräs.....	21
4.3. Muovit	21
5. BIOKAASUTUSLAITTEISTON SUUNNITELMAEHDOTUKSET JA LOPULLISET RATKAISUT	23
5.1. Suunnittelun eteneminen	23
5.2. VE 1: Teräskantinen lasinen reaktori	23
5.3. VE 2: Lasikantinen lasinen reaktori	24
5.4. VE 3: Ikkunallinen teräksinen reaktori	25
5.5. VE 4: Muovinen reaktori	26
5.6. VE 5: Teräskantinen lasinen reaktori	26
5.7. Valittu vaihtoehto ja valintaan vaikuttaneet tekijät	29
6. PROTOTYYPIN RAKENTAMINEN	30
6.1. Rakentamisen vaiheet.....	30
6.2. Prototyypillä suoritettut testit ja niiden tulokset.....	31
7. LAITTEISTON VALIDOINTI	35
7.1. Validointimenetelmät	35
7.2. Koe 1. Jätevedenpuhdistamon sakeutettu jätevesiliete.....	35
7.3. Koe 2. Biojätëmurska	37
7.4. Koe 3. Varsinaisten reaktoreiden painekoe	40
8. LAITTEISTON RAKENTAMINEN	41

9.	VALMIIN LAITTEISTON TARKASTELU	46
9.1.	Ratkaisujen onnistuminen ja vaatimusten täytyminen	46
9.2.	Kustannukset.....	46
9.3.	Esiintyneet ongelmat ja tulevaisuuden näkymät.....	47
10.	YHTEENVETO	48
	LÄHTEET	49
	LIITE 1: LOPULLISEN RATKAISUN RAKENNEKUVAT (vain tilaajan käyttöön) (2s)	
	LIITE 2: VALIDOINTITESTIEN MITTAUSPÖYTÄKIRJAT (2s)	
	LIITE 3: LAITTEISTON KÄYTTÖOHJEKIRJA (vain tilaajan käyttöön) (22s)	

SELITTEET

Alkaliniteetti	Alkaliniteetti kuvaa aineksen kykyä sitoa happoja ja estää näin pH:n laskua (puskurikapasiteetti). Ilmoitetaan työssä yksikössä CaCO_3/l .
Anaerobinen, Anaerobi-	Eliö, elinympäristö tai kemiallinen reaktio, josta puuttuu happi /1/.
Asetogeeninen bakteeri	Anaerobinen bakteeri, joka tuottaa erityisten entsyymien avulla ase-taattia. Asetaatin tuottoa kutsutaan asetogeeniseksi /1/.
Autoklaavi	Laite, jolla steriloidaan astioita ja työkaluja.
Biokaasu	Metaanibakteerin hajottaessa anaerobisissa oloissa syntyvä kaa-suseos, jonka ideaalipitoisuudet ovat metaania CH_4 65 % ja hiilidiok-sidia CO_2 35 %. Sisältää myös mm. vetyä H_2 , typpeä N_2 , ammoniak-kia NH_3 ja rikkivetyä H_2S . /1;2/
Biokaasureaktori	Ilmatiivis astia tai säiliö, jossa metaanibakteerien aiheuttama anaero-binen hajoaminen tapahtuu.
Inhibiittori	Aine, joka estää toivotun reaktion tapahtumista.
Kuivaprosessi	Biokaasuuntumisreaktio, jossa kaasutettavan aineksen kuiva-ainepitoisuus on noin 25-40 %. /1;2/
Kuormitus	Biokaasureaktoriin syötetyn orgaanisen aineen massa reaktorin tila-vuusyksikköä kohti ($\text{kgVS}/\text{m}^3/\text{d}$).
Mesofiilinen biokaasutus	Lämpötila-alueella 35-37 °C:ssa toimivien metaanibakteerien avulla toteutettu biokaasuuntuminen. /1;2/
Märkäprosessi	Biokaasuuntumisreaktio, jossa kaasutettavan aineksen kuiva-ainepitoisuus on noin 6-10 %. /1;2/
Termofiilinen biokaasutus	Lämpötila-alueella 55-57 °C toimivien metaanibakteerien avulla to-teutettu biokaasuuntuminen. /1;2/
TS	Total solid, kokonaiskiintoainepitoisuus
Validointi	Prosessi, jossa tarkistetaan, että prosessin kohde täyttää jotkin tietyt kriteerit ja vaatimukset.
VS	Volatile solid, orgaaninen kuiva-aine
Ympäri	Lisäys tai alku. Aines, jossa on toivottu bakteerikanta ja joka siirre-tään uuteen ympäristöön lisääntymään ja nopeuttamaan prosessin käynnistymistä.

1. JOHDANTO

Savonia-ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitysyksikkö tarjoaa asiakkailleen erilaisten organisten materiaalien kaasuuntumis- ja kaasuntuottokeiteita. Näitä kokeita on tehty ”Armfield W8 Anaerobic Digester” –laitteistolla, joka on osa jäteveden käsittelyyn tarkoitettujen tutkimuslaitteistojen sarjaa. Laitteisto on pääasiassa suunniteltu opiskelukäyttöön ja sen toiminnallisena heikkoutena on huono kaasutiiviys. Pätevien ja luotettavien tulosten saamiseksi sekä lisääntyneiden käyttötarpeiden vuoksi Savonia-ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan tutkimus- ja kehitysyksikkö päätti hankkia uuden laitteiston ja jätti sen suunnittelemisen ja rakentamisen opinnäytetyöksi.

Työssä on tarkoituksena suunnitella ja rakentaa laboratoriokokoluokan anaerobilaitteisto Savonia-ammattikorkeakoululle tutkimus- ja opetuskäyttöön. Suunnittelun lähteinä voidaan käyttää sekä yleistä kirjallisuutta anaerobisesta hajoamisesta että useita teoksia normaaleista aerobisista bioreaktoreista (fermentoreista), sillä niissä rakenne on anaerobisia reaktoreita vastaava. Kuitenkin täysin vastaavaa suunnitelmaselostusta laboratoriokokoluokan biokaasutusreaktorien valmistamisesta ei työn aikana löytynyt, joten tämä opinnäytetyö on siltä osin ensimmäinen laatuaan. Tämä raportti sisältää kuvauksen anaerobisesta hajoamisesta ja sen eri käyttötavoista, työn aikana tehdyistä suunnitelmaehdotuksista sekä lopullisen laitteistosuunnitelman rakentamisesta ja validoinnista.

Tämä työ on yksi itsenäinen osa Savonia-ammattikorkeakoulun vesilaboratorion kehityssuunnitelmasta. Prosessi kuitenkin tukee meneillä olevaa hanketta biokaasutuslaitoksen rakentamisesta Pieksämäelle, joka on työn aikana esiselvitysvaiheessa. Laitteiston validoinnissa yhtenä koemateriaalina käytetään rinnakkaisessa opinnäytetyössä /3/ panoskokeina tutkittavaa biojätteen kaasuuntumista ja näin tulokset hyödyttävät molempia opinnäytetöitä sekä Pieksämäen hanketta.

Tilaja on asettanut laitteistolle vaatimuksiksi luotettavuuden, läpinäkyvyyden ja autoklaavin kestävyuden. Autoklaavissa laitteisto puhdistetaan 120 asteisen vesihöyryn avulla. Laitteistossa käytettäviä materiaaleja ei erikseen ole määritelty. Lisäksi laitteisto on oltava edullinen ja opiskelijakäytön kestävä. Jälikäteen tehtäviin muokkauksiin ja laajennuksiin olisi hyvä olla mahdollisuus. Lähtökohtaisesti laitteiston yhden reaktorin tehollinen tilavuus tulee olemaan 10 litraa, ne ovat jatkuvasti sekoitettuja ja näitä reaktoreita rakennetaan neljä kappaletta. Lämmitysratkaisua, kaasunkeräystä tai jatkuvatoimisuuden toteutusta ei ole määritelty lähtötilanteessa. Laitteisto rakennetaan jatkuvatoimiseksi luotettavampien ja toistettavampien tulosten saamiseksi. Tietysti laitteistoa voi käyttää myös panoskokeissa. Jatkuva sekoitus takaa riittävän kontaktin mikro-organismien ja aineksen välillä sekä edesauttaa lämpötilan jakautumista tasaisesti. Sekoitus lisäksi parantaa kaasun vapautumista lietteestä ja vähentää inhibiota sekä pintakuorettumista. /1;4/

Suunnitteluosaan kuuluu muiden käytössä oleviin laboratoriokokoluokan laitteistoihin tutustuminen ja niiden vertailu sekä erilaisten materiaalien soveltuvuuden kartoittaminen.

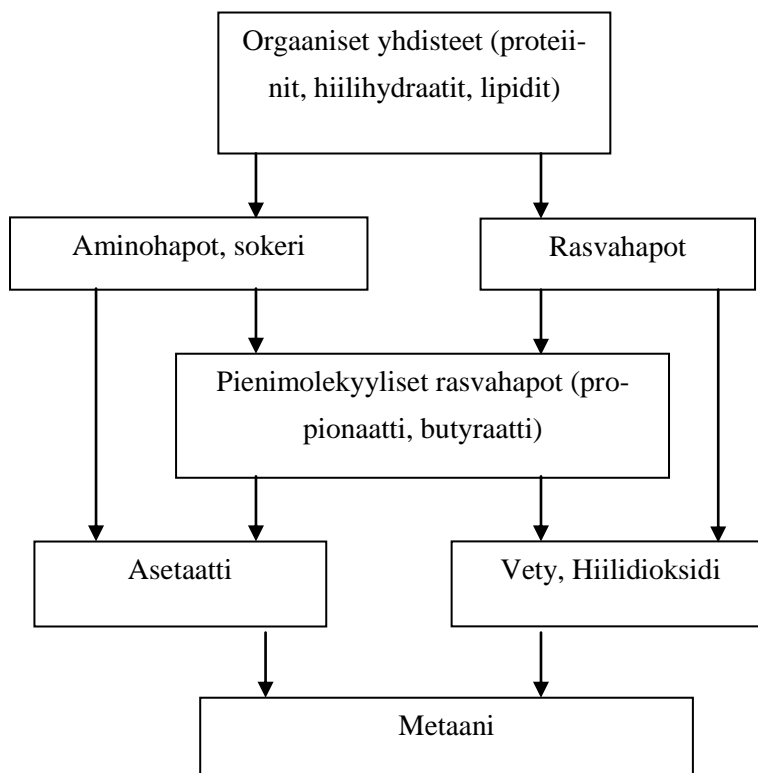
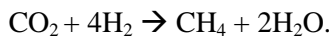
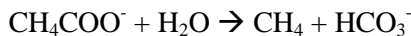
2. BIOKAASUTUS PROSESSINA

2.1. Biokaasutustapahtuman vaiheet ja edellytykset

Biokaasutusprosessilla (ennen käytetty termiä mädätys) tarkoitetaan orgaanisen aineen hajoamista hapettomissa (anaerobisissa) olosuhteissa. Yleisesti biokaasutettavia aineksia ovat biojäte, jätevesilietteet, elintarviketeollisuuden jätteet ja peltobiomassat. Hajoamisessa mikro-organismit pilkkovat suuret orgaaniset molekyylit (hiiliyhdisteet) pienemmiksi, josta vapautuva energia sitoutuu muodostuviin metaanimolekyyleihin. Orgaaniset yhdisteet kuuluvat proteiineihin, hiilihydraatteihin ja lipideihin, jotka hajoavat anaerobisesti eri prosessivaiheissa eri bakteerilajien toiminnan kautta. Näin voidaan hajoamisesta erottaa eri vaiheita, joita ovat hydrolyysi, happokäyminen ja metaanin muodostus. Kuvassa 1 on esitetty kaaviokuva metaaninmuodostuksen vaiheista ja välituotteista. /1/

Hydrolyysissä orgaaniset yhdisteet hajoavat liukoiseen muotoon, jolloin mikro-organismit pystyvät niitä helpommin käyttämään. Lopputuotteena saadaan aminohappoja, sokereita ja rasvahappoja. Happokäymisvaiheessa hydrolyysituotteet hajoavat pienimolekyylisiksi yhdisteiksi, kuten lyhytketjuisiksi rasvahapoiksi, hiilidioksidiksi ja vedyksi. Tyypillisiä välituotteita ovat butyraatti ja propionaatti. Lopulta muodostuvia happoja ovat asetaatti-, muurahais-, voi- ja propionihappo. /1/

Viimeisessä vaiheessa asetogeeniset bakteerit pilkkovat rasvahappoja ja alkoholeja asetaatiksi, hiilidioksidiksi ja vedyksi. Metaaninmuodostus tapahtuu joko asetaatista tai vedystä ja hiilidioksidista seuraavien reaktioyhtälöiden mukaisesti /1/:



Kuva 1. Kaavio biokaasutuksessa tapahtuvasta aineksen hajoamisesta ja metaanin muodostumisesta. /1/

Biokaasuuntumista tapahtuu anaerobisissa oloissa sopivien lämpötila- ja muiden ympäristöolosuhdeiden vallitessa. Kaasuuntumiselle on kaksi optimilämpötila-aluetta, ns. mesofiilinen (n. 35 °C) ja termofiilinen (n. 55 °C). Näissä lämpötiloissa toimii eri bakteerikannat ja termofiilisellä alueella kaasunmuodostus on runsaampaa. Toisaalta termofiilinen kaasutus vaatii enemmän energiakuluja lämmitykseen ja kyseiset bakteerit ovat herkempiä lämpötilan ja pH:n muutoksille. Termofiilinen prosessi lisäksi hygienisoi käsiteltävän lietteen paremmin. Mesofiilisessä prosessissa viipymäaika on pidempi, jolloin sen vaatima reaktoritilavuus on vastaavasti isompi. Lämpötila on molemmissa pidettävä vakiona ± 2 °C:n tarkkuudella. Käytännön biokaasutussovelluksia ovat mm. maatilojen energiantuotto sekä jäteveden jälkikäsitely. /1;4/

Biokaasureaktori voi toimia joko ns. märkä- tai kuivaprosessina. Märkäprosessissa aineksen kuiva-ainepitoisuus (TS) on noin 6-10 %, joidenkin lähteiden mukaan alle 15 % pumpattaessa ja alle 8 % reaktorissa. Reaktorin sekoittimien ja pumppujen kestävyys määrittää käytännössä märkäprosessin kuiva-ainepitoisuuden. Sen etuna on helppo sekoitus ja massan siirto. Kuivaprosessissa tarvitaan vähemmän reaktoritilavuutta, kun siinä kuiva-ainepitoisuus on n. 25-40 % (20-50 % siirrettäessä, 5-10 % reaktorissa). Prosessi vaatii kuitenkin vähintään 50 % vettä bakteerien hyvinvoinnin kannalta. /1;4/

Biokaasureaktioon ja biokaasun muodostumiseen yksi suuri vaikuttava tekijä on pH. Haponmuodostajabakteerien pH-optimi on 5,2-6,3 ja metaanibakteerien 6,8-7,2. Metaanimuodostuksen aikana pH laskee kuormituksen lisääntyessä ja nousee kuormituksen vähentyessä. Lisääntynyt kuormitus lisää rasvahappopitoisuutta, josta seuraa pH:n aleneminen. pH:n laskiessa metaanin kokonaistuotto vähenee ja sen osuus kaasussa pienenee. Pahimmillaan pH:n vaihtelu voi pysäyttää koko prosessin. Muita pH:n vaikuttavia seikkoja on kaasutettavan aineksen pH ja alkaliniteetti. /1;4/

Biokaasutuksen käynnistämiseksi täytyy koeaineksessa olla ravinteita ja yleensä lisätään myös ns. ymppejä. Ympillä tarkoitetaan ainesta, jossa toivottu bakteerikanta on jo muodostunut. Ymppejä lisäämällä saadaan kaasuuntuminen käynnistymään heti eikä metaanibakteerien muodostumista tarvitse odottaa. Monissa biokaasureaktoreissa käsiteltyä lietettä kierrätetään jatkuvasti syötettävän aineen joukkoon vastaavan vaikutuksen saavuttamiseksi. /1;4/

Tärkeimmät ravinteet biokaasureaktiossa ovat typpi N ja fosfori P sekä muita tarvittavia ovat mm. natrium Na, kalium K, kalsium Ca, magnesium Mg ja rauta Fe. Näistä ravinteista natriumin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin osalta huomioitavaa on, että ne ovat stimuloivia ainoastaan 400 mg/l pitoisuuteen asti. Suuremmat pitoisuudet inhiboivat biokaasun muodostumista. /1;4/

2.2. Biokaasutus laboratorionkokoluokassa

Yleinen käytäntö on suorittaa tutkimuksia ensin pieninä panoskokeina, sitten hieman isompina, ns. laboratorionkokoluokan kokeina. Tämän jälkeen tulee pilot-kokoluokan koe, joka ei enää tapahdu laboratoriossa. Lopulta koe siirretään oikeaan mittakaavaan. /5/ Biokaasuuntumiskokeita tehdään laboratorioissa kahdella tavalla, ns. panoskokeina ja jatkuvatoimisina. Panoskokeella tarkoitetaan yleensä tarkoitusta varten muokatussa säilöpullossa (kuva 2) tai erlenmeyer-lasissa suoritettavaa kaasuuntumiskoeita. Panoskokeessa reaktoriin ei lisätä eikä sieltä poisteta ainetta vaan kaikki aines on lisätty kokeen alussa ja prosessin annetaan edetä kunnes biokaasun muodostuminen hidastuu tai lakkaa. Panoskokeessa voidaan kuitenkin lisätä prosessia sääteleviä aineksia kuten happoja ja emäksiä. Panoskoe on toimintavarma, helppo ja halpa toteuttaa sekä helposti toistettavissa. /5;6/ Sitä käytetäänkin yleensä nopeaan analyysiin jonkin aineen kaasuuntumisominaisuuksista. Parhaiten tuottavat ja paremmin analysoitavat ainekset tutkitaan uudestaan jatkuvatoimisessa koelaitteessa.

Jatkuvatoimisuus tarkoittaa sitä, että laitteistoon lisätään ja sieltä poistetaan tietty määrä ainesta reaktion ylläpitämiseksi pidempään ja tasaisempana. Lisäys ja poisto voi olla jatkuvaa virtausta tai pulssitettua kuitenkin niin, että ainetilavuus pysyy vakiona. /5;6/ Laitteisto tällaisiin kokeisiin on yleensä erikoisvalmistettu ja tilavuudeltaan kymmenestä litrasta muutamaa kuutiota. Jatkuvatoimisella kokeella saadaan realistisempia ja luotettavampia tuloksia, sillä se simuloi paremmin varsinaisia biokaasureaktoreita. Lisäksi sen tuotto on parempi. Jatkuvatoimisessa laitteistossa on panoskoeita suurempi kontaminaatioriski ja se vaatii enemmän ylläpitoa. /5;6/



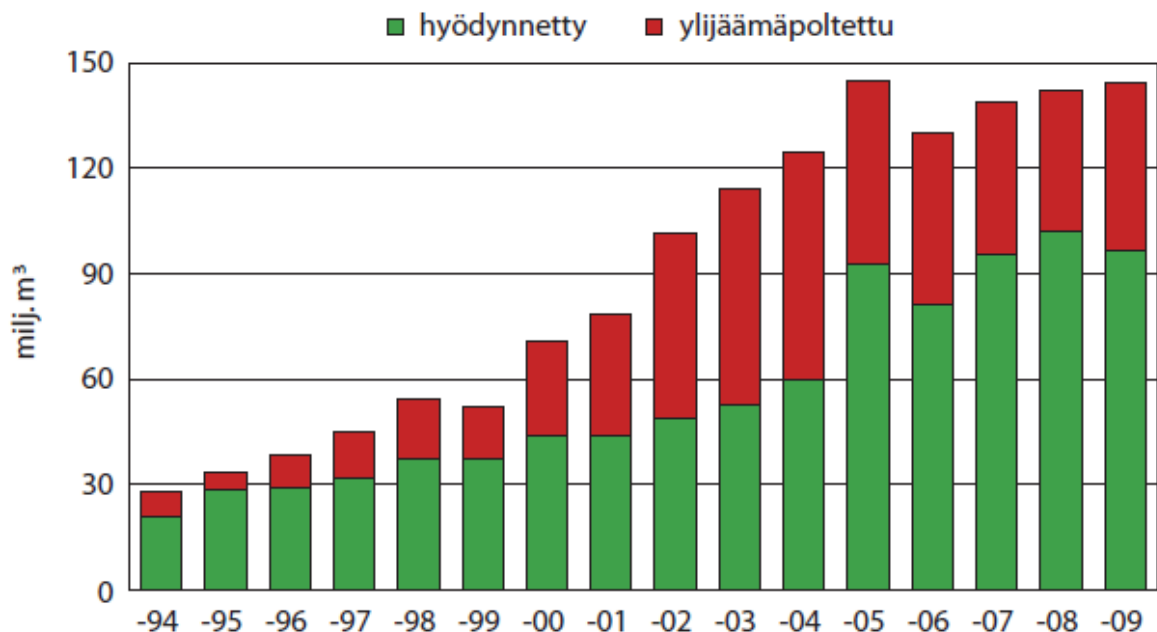
Kuva 2. Savonia-ammattikorkeakoulun käyttämä panoskoepullo. Kuvassa reaktorina toimii viiden litran säilöpullo, johon on kiinnitetty kaasunkeräyspussi. Toisen korkista lähtevän letkun avulla voidaan reaktori typpihuuhdella kokeen alussa.

2.3. Biokaasutuksen merkitys ja hyödyntämismahdollisuudet energiantuotannossa

Anaerobisessa hajoamisessa syntyvää biokaasua voidaan pitää ympäristöystävällisenä ja uusiutuvana energialähteenä, sillä sen palamistuotteena vapautuva hiilidioksidi ei lisää päästöjä verrattuna luonnon omaan kiertokulkuun. Ilman polttoa metaani on yli 20-kertaa hiilidioksidia voimakkaampi kasvihuonekaasu. Biokaasua hyödyntämällä saadaan ilmakehän kuormitusta vähennettyä ja pienennetään fossiilisten tuontipolttoaineiden käyttöä. /7/ Karkeasti yksi kuutio biokaasua vastaa yhtä litraa kevyttä polttoöljyä eli noin 10 kWh:ia. Biokaasu voidaan käyttää sellaisenaan tai jalostaa ajoneuvopolttoaineeksi, paineistettuna tai nesteytettynä. /1;2/

Suomen toimintasuunnitelma uusiutuvien energianlähteiden lisäämiseksi esittää biokaasun käytön lisäämistä 0,7 TWh:iin vuoteen 2020 mennessä ja pitkällä aikavälillä aina 4 - 5 TWh:iin asti. /8;9/ Vuonna 2006 biokaasulla tuotettiin 0,22 TWh:ia ja kokonaisuudessa uusiutuvilla luonnonvaroilla katettiin Suomen energiantuotannosta neljännes. Tällä hetkellä Suomessa on paljon mahdollisuuksia laajentaa biokaasuntuotantoa, sillä pelkästään ylijäämäpoltolla tuhlatiin energiaa 208 GWh (kuva 3). Vuonna 2009 Suomen 342 kunnasta viidessätoista oli biokaasureaktori jätevedenpuhdistamolla. Lisäksi teollisuudessa oli kaksi ja yksityisinä yhdeksän biokaasureaktoria. /2;7/

Maatalouden teoreettinen maksimibiokaasupotentiaali on arvioituna 30 - 140 TWh lannasta ja 1 - 6 TWh peltobiomassoista. Kokonaisuutena on arvioitu, että teknis-taloudellisesti pystyttäisiin maataloudesta tuottamaan 2 - 10 TWh energiaa. Energian lisäksi olisi mahdollista laajentaa liikenteen biopolttoaineiden käyttöä. /2/



Kuva 3. Kaavio Suomessa hyödynnetystä ja ylijäämäpoltetusta biokaasusta miljoonina kuutioina. /7/

3. MUIDEN KÄYTTÄMÄT ANAEROBILAITTEISTOT

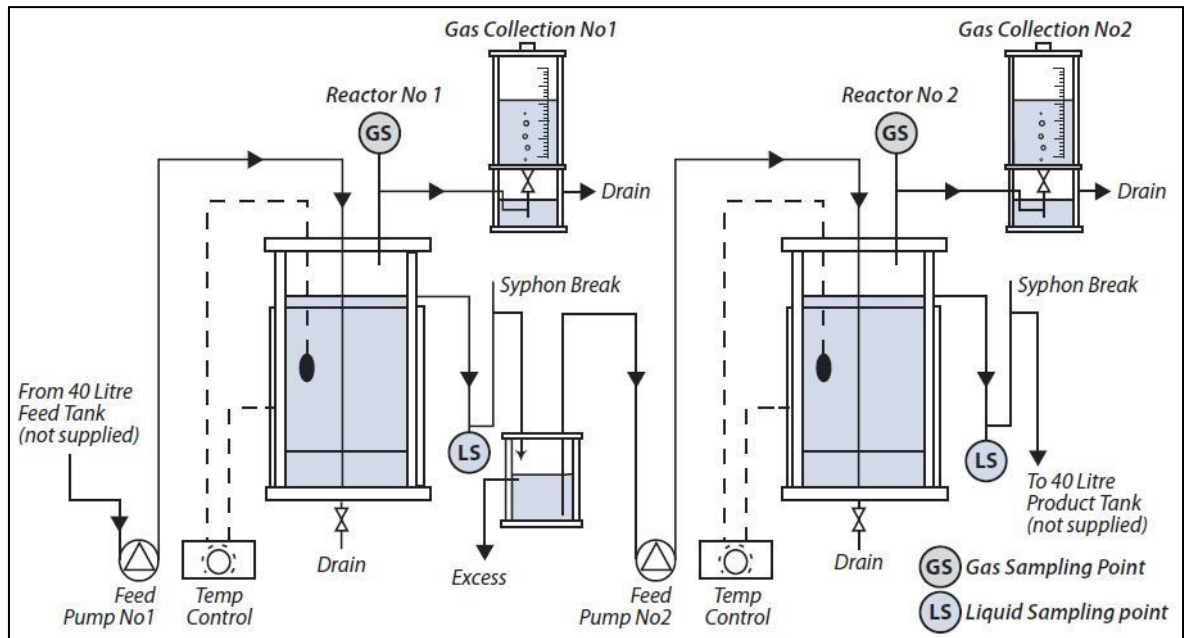
3.1. Armfield W8 Anaerobic Digester

Armfield valmistaa erilaisia tutkimuslaitteistoja opiskelijakäyttöön ja Anaerobic Digester on anaerobisen hajoamisen tutkimiseen suunniteltu laite. Laitteisto koostuu kahdesta neljän litran reaktorista ja kahdesta viiden litran kaasunkeräyssäiliöstä, jotka ovat esitetty kuvissa 4 ja 5. Reaktoreissa muodostunut kaasu johdetaan vesilukkoperiaatteella toimivaan kaasunkeräyssäiliöön, jolloin kaasun muodostama paine syrjäyttää veden, joka poistuu vesilukon lävitse. Näin muodostuneen kaasun tilavuus on luettavissa helposti ja kaasua ei pääse karkaamaan. Reaktoreita voidaan käyttää jatkuvatöinä tai panoskäyttöisinä, sarjassa tai rinnan. Reaktoreiden ja kaasunkeräyssäiliöiden kannet kiinnitetään muovisilla pulteilla ja kansien liitännät ovat kiinni muoviin kierrettyillä kierteillä. Kannen ja sen vastalaidan välissä on O-tiivisterengas. /10/



Kuva 4. Armfield W8 Anaerobic Digester –laitteisto. Kuvassa takana olevat säiliöt ovat kaasunkeräyssäiliöitä, edessä ovat reaktorit lämmitysmatoilla ympäröitynä ja keskellä pieni säiliö on kierrätettävän lietteen tasaussäiliö. /10/

Reaktorit lämmitetään lämmitysmatoilla, joiden lämpötila on säädettävissä välillä ympäristö-55,0 °C. Lämpötila mitataan reaktorin sisältä kannen läpi viedyllä anturilla. Anturin antama lukema säätää lämmitysmaton lämpötilaa. Alkuperäisessä laitteistossa ei ole sekoitusta mutta Savonia-ammattikorkeakoulun laitteistoon sekoitin oli lisätty. Reaktorit ja kaasunkeräysastiat ovat akryyliä (polymetyylimetakrylaatti, PMMA) ja kaasun johtamiseen käytetyt letkut ovat PVC-muovia. /10/



Kuva 5. Armfield W8 Anaerobic Digester –laitteiston toimintaperiaatekaavio sarjaan kytkettynä. /10/

Armfield W8 Anaerobic Digester on toimivuudeltaan epävarma huonojen tiivistysten ja muovisen rakenteen takia. Akryylimuovi ei kestä jännitysrasitusta /11/ ja halkeilee siksi helposti. Lisäksi laitteiston puhdistaminen on hankalaa eikä se kestä puhdistusta autoklaavissa /11/. Kaasunkeräys on rakenteellisesti hyvä ja muodostuneen kaasun tilavuus on helposti luettavissa. Kuitenkin kaasutuksessa syntyvä hiilidioksidikaasu liukenee veteen, jolloin tulokset vääristyvät. Laitteiston lämmitysratkaisu on toimiva ja käytettäessä helppo.

3.2. Itä-Suomen yliopiston laitteisto

Itä-Suomen yliopiston biokaasulaitteisto on itse tehty neljän reaktorin muodostama kokonaisuus, jossa yhden reaktorin tilavuus on 10 litraa. Reaktori on esitetty kuvassa 6. Kaasu kerätään erillisiin kaasunkeräyspusseihin. Pussista kaasun pitoisuudet mitataan, jonka jälkeen pussi tyhjennetään samankaltaiseen vesilukkotoimiseen säiliöön kuin Armfieldin laitteistossa kaasutilavuuden määrittämiseksi. Reaktorit lämmitetään yhteisessä vesihauteessa, josta myös lämpötila mitataan. Reaktorit ovat kokonaan ruostumatonta terästä ja kaasun johtamiseen käytetyt letkut silikonia¹.



Kuva 6. Itä-Suomen yliopiston käyttämä jatkuvatoiminen reaktori. Kuvassa reaktorin pohjasta tuleva putki on tarkoitettu aineksen poistamista varten.

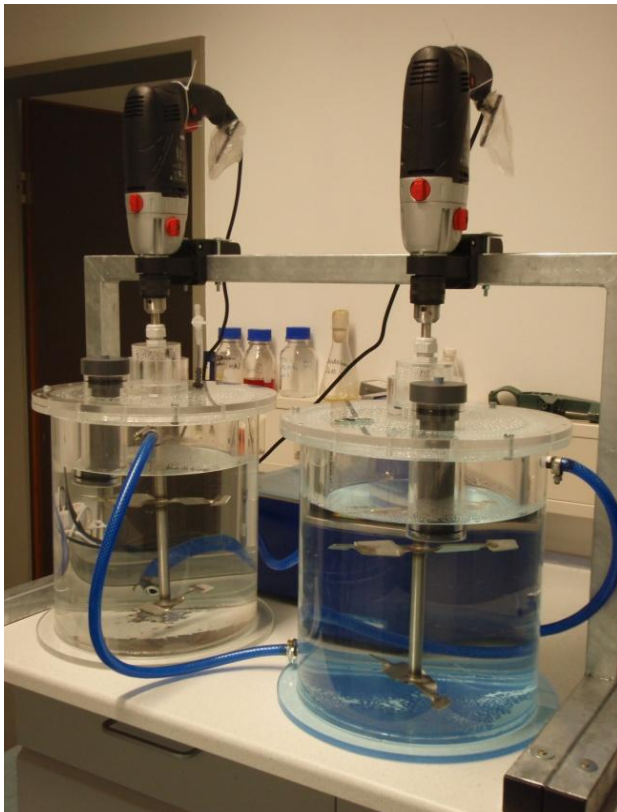
Sekoittimen läpivienti on tiivistetty sitä varten mitoitettulla O-tiivisterenkaalla ja kaikkien reaktoreiden sekoittimet on liitetty yhteen sekoitinmoottoriin. Jatkuvatoimisuus suoritetaan täyttämällä ja tyhjentämällä reaktoreita käsin itse tehdyllä ruiskulla. Täyttö tapahtuu kaasutettavan aineksen pintaan ja tyhjennys otetaan pohjasta tulevasta putkesta¹.

Rakenteeltaan Itä-Suomen yliopiston laitteisto on kestävä, muokattava, luotettava ja edullinen tärkeisen rakenteen ansiosta. Laitteisto kestää myös puhdistuksen autoklaavissa, muttei ole läpinäkyvä. Kaasunkeräys pussiin on luotettava pitoisuuksien kannalta mutta ei ole kätevä tilavuuden määrittämiseen sellaisenaan. Erillinen tilavuusmittausäiliö on halpa verrattuna tilavuusmittariin eikä se vääristä kaasun pitoisuuksia. Vesihaude lämmitysratkaisuna on halpa ja toimiva mutta myös tilaa vaativa ja epäkäytännöllinen. Lisäksi kaikkien reaktoreiden lämmittäminen samassa vesialtaassa estää erillisissä lämpötiloissa suoritettavien kokeiden tekemisen. Heikoin ratkaisu on tyhjennys pohjasta kanteen tulevalla putkella, joka on käytössä hieman hankala.

¹Henkilökohtainen tiedonanto: Kuittinen, Ville. Projektipäällikkö. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Kehittämisen ja palvelukeskus. 28.1.2010.

3.3. Ostfalia-ammattikorkeakoulun laitteisto

Savonia-ammattikorkeakoulun saksalaisena yhteistyökumppanina on Ostfalia-ammattikorkeakoulu Wolfenbüttelissä. Heillä on useita jatkuvatoimisia reaktoreita, tilavuudeltaan viisitoista litraa (kuva 7). Reaktorit ovat vaipparakenteisia, jolloin seinämien välissä kiertävä lämmin vesi toimii lämmityksenä. Kaasu kerätään teflonisiin kaasunkeräyspusseihin. Muodostuneen kaasun tilavuuden mittausta tapahtuu erillisellä kaasutilavuusmittarilla. Reaktorit ovat polykarbonaattia².



Kuva 7. Ostfalia-ammattikorkeakoulun laitteisto. Kuvassa siniset letkut ovat lämmitysveden kierrättämistä varten. Kuva Teija Rantala.

Sekoittajan läpivienti on Ostfalia-ammattikorkeakoulun laitteistoissa tiivistetty innovatiivisesti. Sekoittajan varressa on kiinni ylösalaisin oleva kuppi, joka pyörii reaktorin kannessa kiinni olevassa rummussa (kuva 8). Osat eivät kosketa toisiinsa vaan tiivistyksenä toimii rummussa oleva vesi, joka estää kaasun pääsyn ulos reaktorista ja antaa sekoittajan pyöriä vapaasti. Lisäksi tällainen tiivistys toimii tarvittaessa ylipaineventtiilinä. Jatkuvatoimisuus saavutetaan käsikäyttöisesti kannen läpi menevästä putkesta, joka ulottuu kaasutettavan aineksen pinnan alapuolelle. Täyttö ja tyhjenys tapahtuvat pienellä kauhalla ja putkissa olevilla tulpilla painamalla. Tavallaan kyse on siis kannen kiinnitetystä ruiskusta².

²Henkilökohtainen tiedonanto: Behrendt, Anna. Insinööri, tutkimusassistentti. Ostfalia-ammattikorkeakoulu. Biotekniikka- ja ympäristöinstituutti. 8.–9.3.2010 ja 29.6.2010.



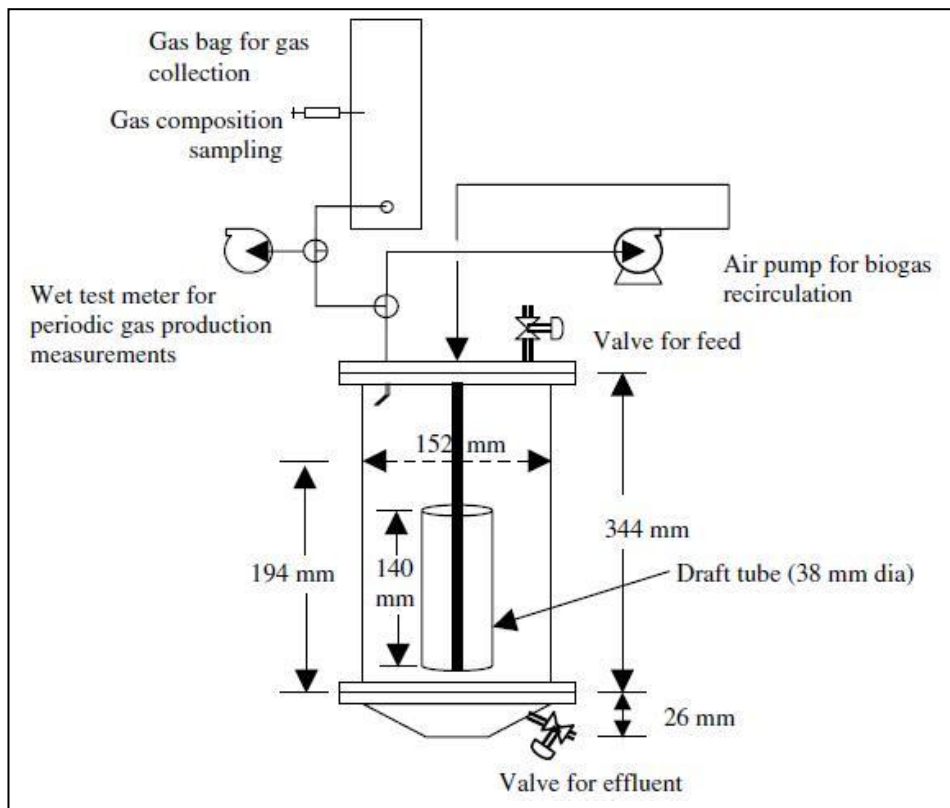
Kuva 8. Ostfalia-ammattikorkeakoulun laitteiston kansi. Kuvasta selventyy sekoittajan läpivientiratkaisu ja kaksoisseinämärakenne. Kuva Teija Rantala.

Ostfalia-ammattikorkeakoulun laitteiston vaipparakenne säästää tilaa ja on edullinen käyttää mutta on myös monimutkainen ja kallis rakentaa. Polykarbonaattimuovin liitokset eivät ole kestäneet käytössä ja reaktorit ovat vuotaneet lämmitysvettä³. Lisäksi puhdistaminen on hankalaa eikä laitteisto kestä autoklaavia. Etuina ratkaisulla on läpinäkyvyys ja erittäin hyvä sekoittajan läpivientiratkaisu.

³Henkilökohtainen tiedonanto: Ahrens, Thorsten. Professori. Ostfalia-ammattikorkeakoulu. Braunschweig-kampus. 29.6.2010

3.4. Washingtonin yliopiston kokeessa käytetty laite

Washingtonin yliopiston kemiallisten reaktioiden tutkimuslaboratoriossa suoritettussa biokaasukokeessa käytettiin kuvan 9 mukaista laitteistoa. Kyseisessä tutkimuksessa tutkittiin kierrätettävän biokaasun toimimista sekoituksena ja sen vaikutusta metaanintuottoon. Tutkimuksen laitteisto koostuu kuudesta reaktorista, joiden tehollinen tilavuus on 3,73 litraa. Reaktorit ovat jatkuvatoimisia ja jatkuvasti sekoitettuja biokaasua kierrättämällä. Kaasu kerätään kaasunkeräyspusseihin. /12/



Kuva 9. Washingtonin yliopiston tutkimuksessa käytetty biokaasureaktori. Kuvasta kannattaa huomata pohjan muoto ja poisto pohjahanan kautta. /12/

Reaktoreiden materiaalia ei tutkimuksessa mainittu mutta kaasupussit ovat tedlaria (polyvinyylifluoridi, PVDF). Reaktoreiden pohjan muoto on kartiomainen ja materiaalin poisto tapahtuu pohjahanan kautta. Kannen läpi tapahtuu syöttö, kaasun keräys ja kierrätys. Biokaasun kierrättäminen sekoituksena poistaa laitteistosta liikkuvat osat ja tarpeen niiden tiivistykselle.

3.5. Aerobinen bioreaktori

Biokaasureaktoriksi sopisi hyvin myös olemassa olevat bioreaktorit eli fermentorit, jotka eivät ole suoraanaisesti biokaasutukseen tarkoitettu tai ovat siihen liian kalliita ja monimutkaisia. Rakentamiseen ja ratkaisuihin näistä kuitenkin voidaan ottaa mallia, sillä reaktorit näissä ovat jatkuvatoimisia, jatkuvasti sekoitettuja ja lämmitettyjä. Savonia-ammattikorkeakoulun bioreaktorissa on lasinen (borosilikaattia) runko ja teräksinen (haponkestävää) kansi (kuva 10). Kansi on kiinnitetty vastapannalla lasirungon laippaan. Sekoittaja on tiivistetty tavallisella tiivisteellä ja lämmitys on toteutettu reaktorin pohjassa olevalla lämmitysvaipalla. Reaktorin pohja on puolipallon muotoinen.

Ratkaisuna lasinen runko yhdistettynä teräksiseen kanteen on hyvä ja toimiva. Se on läpinäkyvä ja puhdistettavissa autoklaavissa. Lisäksi tarvittavat läpiviennit ovat halvempat ja helpommat työstää teräkseen kuin lasiseen kanteen. Samoin myös läpivientien lisääminen jälkikäteen on helpompaa. Lasinen runko on fyysisesti heikkoa ja erikseen työstettynä kallis. Lämmitysratkaisu on toimiva mutta lisää samalla kanteen ylimääräisiä läpivientejä ja reaktorin sisälle ylimääräisiä rakenteita.



Kuva 10. Savonia-ammattikorkeakoulun aerobinen bioreaktori.

3.6. Yhteenveto muiden käyttämistä laitteistoista

Kaikissa laitteistoissa, joihin tutustuttiin, on hyvät ja huonot puolensa. Näiden laitteistojen parhaiden ominaisuuksien ja materiaalien yhdistäminen yhdessä työn tilaajan tarpeiden ja toiveiden kanssa vaikuttaa suunnitteluun. Vertailtujen laitteistojen parhaat ominaisuudet voidaan katsoa olevan aerobisen reaktorin lasi-teräs yhdistelmä läpinäkyvyyden ja kestävyuden takia, Ostfalia-ammattikorkeakoulun kansiratkaisut, Itä-Suomen yliopiston laitteiston toiminta lisäyksen ja poiston suhteen sekä Armfield W8 –laitteiston lämmitysmatot.

4. LAITTEISTOON SOVELTUVA MATERIAALI

4.1. Lasi

Laboratorioissa käytetään yleisesti borosilikaattilasia, joka tunnetaan paremmin tavaramerkkinimellään Pyrex. Borosilikaattilasi koostuu piioksidista SiO_2 70 %, boorioksidista B_2O_3 10 %, natriumoksidista Na_2O 8 %, kaliumoksidista K_2O 8 % ja kalsiumoksidista CaO 1 %. Borosilikaattilasi on normaalia lasia kestävämpää pienemmän lämpölaajenemisen johdosta ja se kestää hyvin nopeitakin lämpötilan muutoksia.

Biokaasutusreaktoriksi borosilikaattilasi soveltuu hyvin sen lämpökestävyyden takia. Lasinen reaktori olisi myös hyvin läpinäkyvä ja puhdistettavissa autoklaavissa. Lasilla ei ole ongelmia kemiallisen kestävyys tai kaasutiiviuden kanssa. Heikkoutena lasissa on sen muotoilun kallis hinta, vaikea työstettävyys ja hajoaminen fyysisen rasituksen tai iskun takia.

4.2. Teräs

Teräslaaduista reaktoriksi sopisi ”haponkestävä” teräs, sillä biokaasun sisältämä rikkivety H_2S syövyttäisi muut heikommalla laadulla puhki (kuten tavallisen ruostumattoman teräksen). Haponkestävä teräs on myös kustannuksiltaan edullinen verrattuna esimerkiksi titaanistabiloituihin teräksiin. Haponkestävä teräs on rautaseos, jossa on kromia Cr 18 %, nikkeliä Ni 8 % ja molybdeenia Mo 2-2,5 %. Sen kemiallinen ja fyysinen kestävyys on riittävä ja se on helposti työstettävä verrattuna muoviin tai lasiin. Teräksen heikkous laboratorion biokaasutuskäytössä on sen läpinäkyvättömyys mutta siihen pystyy lisäämään lasisen tai muovisen ikkunan.

4.3. Muovit

Yksi yleisimmistä käytetyistä ja tunnetuimmista muovilaaduista on polyvinyylikloridi eli PVC. Sitä käytetään laajasti vesijohto- ja viemäriputkissa sen halvan hinnan ja kemiallisen kestävyys takia. PVC on myös helposti muokattava, iskunkestävä ja jäykkä sekä tietynä laatuina läpikuultava. Reaktorimateriaaliksi PVC on huono, sillä se ei kestä erikoislaatuunakaan yli 100 °C:n lämpötilaa eikä voimakkaita liuottimia, jolloin reaktorin puhdistaminen muodostuu ongelmaksi. PVC-letku soveltuu kuitenkin kaasunjohtamiseen hyvin sen halvan hinnan ja kaasutiiviys takia. /11/

Läpinäkyvistä muovilaaduista polykarbonaatti eli PC ja polymetyyliakrylaatti eli akryyli eli PMMA soveltuisivat reaktorin materiaaliksi, joista molempia on käytetty edellä esitellyissä laitteistoissa. Molemmat ovat lujia ja jäykkiä mutta vaikeammin työstettävissä kuin PVC. Kumpikaan ei kestä voimakkaita liuottimia eikä niiden lämpötilakestävyyskään ole riittävä autoklaavissa puhdistamiseen, joten niillä on sama ongelma kuin PVC:llä puhdistuksen osalta. Etuina PVC:hen nähden on niiden lasimaisen kirkas läpinäkyvyys. /11/

Polyasetaali eli POM on tunnettu kestävyystään ja se soveltaisikin laitteistoon fyysisen ja kemiallisen kestävyytensä puolesta. POM on kestävä hetkellisesti yli 150 °C:n lämpötilan eli puhdistaminen autoklaavissa on mahdollista. Laitteistoa varten POM:in suurin heikkous on sen läpinäkyttömyys. /11/

Toinen läpinäkyttömän tunnettu muovilaatu on polytetrafluorieteeni eli tunnetummin Teflon. Se on erittäin hyvin kemikaaleja ja lämpötiloja kestävä. Lisäksi puhdistamisen etuna on sen huono tarttuvuus muihin materiaaleihin. Heikkoutena sillä on läpinäkyttömyyden lisäksi alhainen mekaaninen kestävyys. Teflonia käytetään kaasunkeräyspusseissa ja niiden venttiileissä. /11/

Muut muovilaadut, kuten esimerkiksi polyamidi PA, polyeteeni PE ja polysulfoni PSU, soveltuvat huonosti laitteistoon kestävyytensä tai läpinäkyttömyytensä puolesta ja ovat kalliimpia kuin edellä käsitellyt, joten niiden tarkempi tarkastelu on turhaa. /11/ Yhteenvedon voidaan yleisesti todeta, että läpinäkyvät muovit eivät ominaisuuksiltaan ole lasia parempia eikä läpinäkyttömät terästä ja niitä tulisi harkita reaktorin päämateriaaliksi ainoastaan kustannusten niin vaatiessa. Oheislaitteiden ja -komponenttien materiaaleiksi jotkut muovilaadut soveltuvat hyvin.

5. BIOKAASUTUSLAITTEISTON SUUNNITELMAEHDOTUKSET JA LOPULLISET RATKAISUT

5.1. Suunnittelun eteneminen

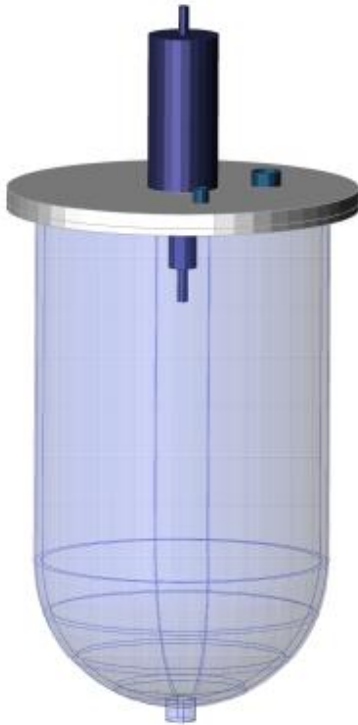
Tähän asti raportissa on käsitelty pohjustavan työn osuutta ja tästä eteenpäin raportissa käsitellään varsinaista opinnäytetyön aihetta, biokaasulaitteiston valmistamista. Kun tarpeeksi taustatietoa laitteistojen ratkaisuista ja soveltuvista materiaaleista oli koossa, eikä uusia ratkaisuvaihtoehtoja enää löytynyt, voitiin aloittaa suunnittelutyö.

Suunnittelu aloitettiin vertailtuihin laitteistoihin tutustumisen jälkeen, joiden pohjalta suunniteltiin ensimmäinen versio laitteistosta. Ensimmäisen ja toisen vaihtoehdon valmistaminen kilpailutettiin erikseen ja esiteltiin tilaajalle. Kustannukset olivat näissä budjettiin nähden liikaa, joten suunnitelma sellaisenaan hylättiin ja suunniteltiin vaihtoehdot 3 ja 4. Näihin suunnitelmiin vaikutti edellisen arvioitu hinta ja Savonia-ammattikorkeakoulun projekti-insinööri Teija Rantalan tutustumismatka Ostfalia-ammattikorkeakouluun ja heidän laitteistoihinsa. Samalla lähtökohtaisista vaatimuksista autoklaavin kestävydestä luovuttiin.

Vaihtoehtoista 3 ja 4 ei lähetetty tarjouspyyntöjä, sillä alkuperäistä ratkaisua ja vaatimuksia tukeva ratkaisu löytyi. Nämä suunnitelmat on esitetty vaihtoehtoina 5 ja 6. Kaikki suunnittelun aikana luodut vaihtoehdot on esitetty seuraavassa:

5.2. VE 1: Teräskantinen lasinen reaktori

Ensimmäinen vaihtoehto (kuva 11) koostuu lasisesta rungosta ja siihen vastapannalla kiinnitetystä teräskannesta. Reaktorin sisähalkaisija on 200 mm, korkeus 360 mm ja tilavuus 10,2 l:aa. Kanteen suunniteltiin kaksi ½":n kierteellä olevaa läpivientiä mittauksia varten ja yksi 2 cm halkaisijaltaan oleva läpivienti lisäämistä varten. Kannen ja lasin välissä on lasiin uritettuna O-rengastiiviste. Sekoittajan läpivienti suunniteltiin magneettivälitteisenä. Tällaisessa läpiviennissä sekoittajan varsi on kaksiosainen ja pyörimisliike välitetään kahden magneetin avulla.



Kuva 11. Ensimmäisen vaihtoehdon suunnitelmakuva.

Lasirungon pohja on puolipallo ja pohjassa on halkaisijaltaan 2,5 cm:n läpivienti pohjahanaa varten, jota kautta ainesta poistetaan. Lämmitysratkaisuksi tässä vaihtoehdossa suunniteltiin kahden reaktorin yhteistä vesihaudetta, joka toimii samalla telineenä. Kaasu kerättäisiin kaasupussiin. Reaktori sijoitettaisiin vesihaudesäiliöön niin, että pohjahana jäisi ulkopuolelle. Materiaaleiltaan reaktorin lasiosa on borosilikaattia, kansi haponkestävää terästä ja vesihaudesäiliö polykarbonaattia. Tämän vaihtoehdon hinta olisi noin 1 200 €/kpl käyttämällä tavallista tiivistelaakeria ja 2 000 €/kpl käyttämällä magneettivälitteistä. Hinnat eivät sisällä vesihaudesäiliötä tai oman työn kustannuksia.

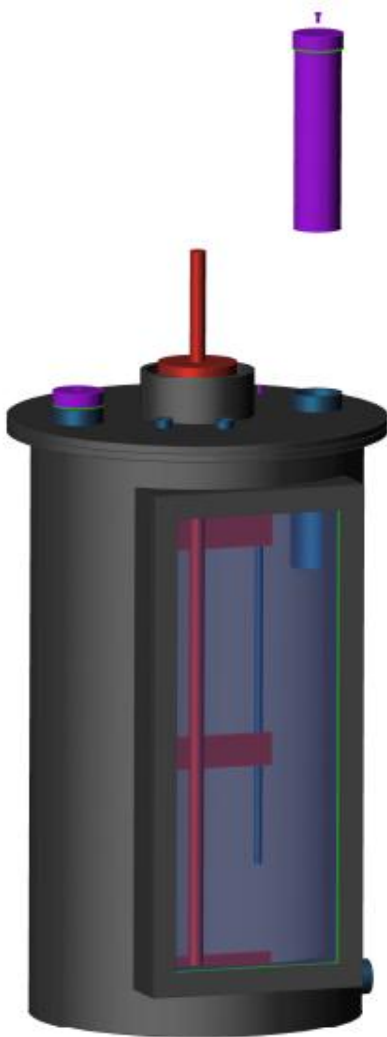
5.3. VE 2: Lasikantinen lasinen reaktori

Tarjouspyyntöjen vastauksena lasinpuhaltamot tarjosivat lasista kanta teräksisen sijaan. Vaihtoehdossa 2 runko on sama kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa ja kansi kiinnitettäisiin runkoon pyöreällä puristimella. Kanteen läpiviennit saisi suunnitelman mukaan teettämällä tai olemassa olevien valmiin kannen mukaan. Kustannuksiltaan lasikantinen olisi noin 100 €/kpl teräskantista halvempi.

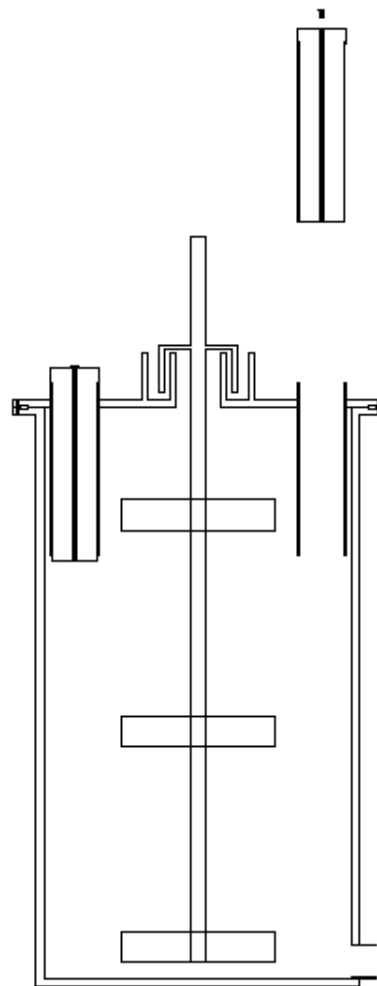
5.4. VE 3: Ikkunallinen teräksinen reaktori

Vaihtoehdossa 3 reaktori muodostuu kokonaan haponkestävästä teräksestä, johon on lisätty lasista ikkuna (kuvat 12a ja 12b). Tätä varten reaktorin kylkeen on rakennettava koroke ikkunalle. Reaktorin sisähalkaisija on 200 mm, korkeus 370 mm ja tilavuus 11,6 l:aa. Kannen ratkaisuihin on lisätty yksi ½”-n läpivienti lisää ja Ostfalia-ammattikorkeakoulun laitteiston mukaiset lisäysputket tulppiin ja sekoittajan läpivientiratkaisu. Tulpassa on tiivisterengas ja tulpan läpi menee pieni reikä, jotta tulppa voidaan poistaa ilman materiaalin imeytymistä putkeen. Reaktorin pohja on tasainen ja pohjahanan läpivienti on sivussa seinämän läpi. Lämmitysratkaisuna toimii kullekin reaktorille oma lämmitysmatto.

Aineksen lisätään kannen putkien läpi ja poistetaan pohjahanan kautta. Kannen läpiviennit mahdollistavat myös muut ratkaisut, kuten kaasun kierrättämisen ja näytteiden oton. Lämpötila-anturia sijoitetaan erilliseen taskuun, jolloin itse anturi ei joudu kosketuksiin kaasutettavan aineksen kanssa. Tämä helpottaa puhdistamista ja kaasutiivyyttä. Kustannuksiltaan tämä vaihtoehto on arviolta 700-800 €/kpl.



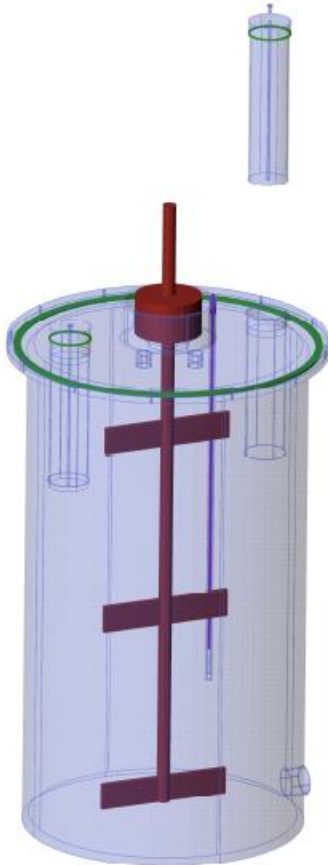
Kuva 12a. Kolmas vaihtoehto, ikkunallinen teräksinen reaktori.



Kuva 12b. Kolmannen vaihtoehdon rakennekuva.

5.5. VE 4: Muovinen reaktori

Vaihtoehto 4 tehtiin suoraan vaihtoehdon 3 pohjalta, jolloin reaktoriratkaisu on muuten sama mutta materiaaliltaan reaktori on polykarbonaattia sekoittajaa ja tiivisteitä lukuun ottamatta (kuva 13). Ikkunaa ja sen koroketta ei luonnollisestikaan tarvita. Tämä ratkaisu on suunnitelluista ainoa, joka ei kestä autoklaavissa puhdistamista. Materiaali valittiin kemiallisen kestävyuden ja läpinäkyvyyden mukaan. Kustannuksiltaan polykarbonaattinen reaktori olisi arviolta noin 500-700 €/kpl.

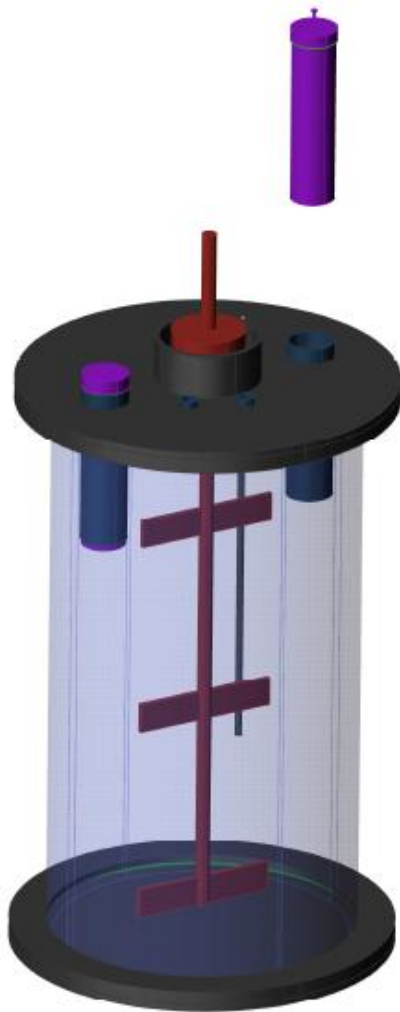


Kuva 13. Neljäs vaihtoehto, muovinen reaktori. Rakenne on sama kuin vaihtoehdossa 3.

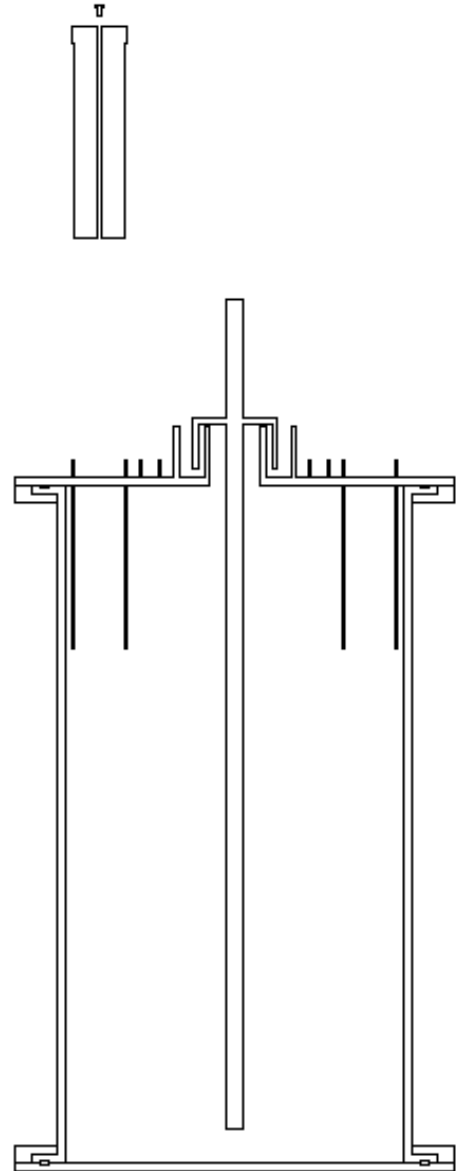
5.6. VE 5: Teräskantinen lasinen reaktori

Viimeinen suunniteltu vaihtoehto pohjautuu lasiseen runkoon ja teräksiseen kanteen kuten vaihtoehdossa 1. Vaihtoehdot luotiin yllättäen löytyneen lasitoimittajan valmiiden ja edullisten reaktorilasiastioiden mukaan. Tältä toimittajalta valittiin kaksi sopivaa astiamallia (vaihtoehdot 5 a ja b) ja suunniteltiin niihin kiinnitettävät kannet. Ensimmäinen ratkaisu sisältää vastapannalla kiinnitettävän kannen lisäksi myös pohjan (kuvat 14a ja 14b) ja toinen pelkän kannen. Toisen ratkaisun (kuvat 15a, 15b ja 15c) lasiastiassa pohja on puolipallon muotoinen ja siinä on läpivienti tyhjennysventtiiliä varten. Tasapohjaista lasiastiaa ei ollut valmiina.

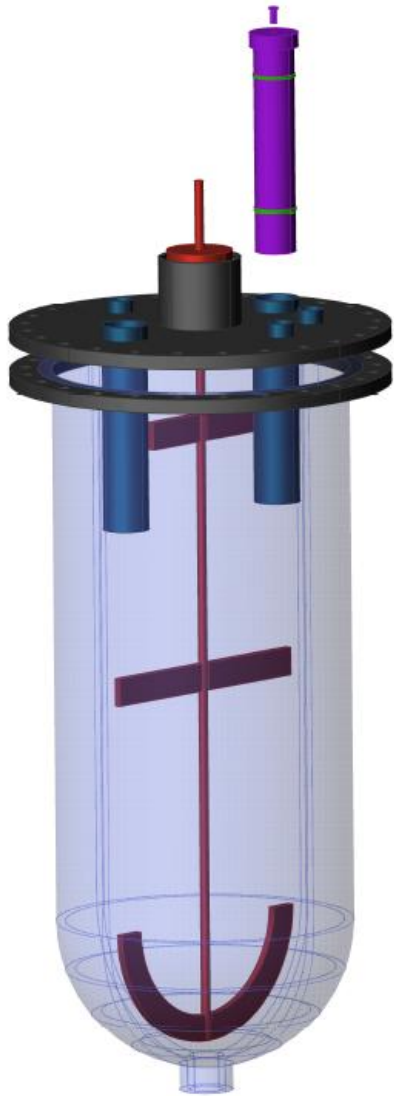
Kannen ratkaisut pysyivät valtaosin edellisten vaihtoehtojen kaltaisina. Kannen paksuus nostettiin 10 mm:iin. Tulppaan lisättiin toinen tiiviste ja lämpömittarin tasku tulee yhteen ½":n kierteeseen, joka sijoitetaan lähelle laitaa. Kannen rummun, jossa sekoittajan varressa oleva ”kuppi” pyörii, pituutta lisättiin paremman painekestävyyden saavuttamiseksi. Tasapohjainen reaktori on 200 mm halkaisijaltaan ja 400 mm korkea. Tilavuutta sillä on 12,6 litraa. Pyöreäpohjainen reaktori on 200 mm halkaisijaltaan ja 550 mm korkea. Tilavuudeltaan se on 14,3 l:aa. Kustannuksiltaan nämä reaktorimallit ovat vain 400-500 €/kpl luokkaa edullisen lasiosan takia.



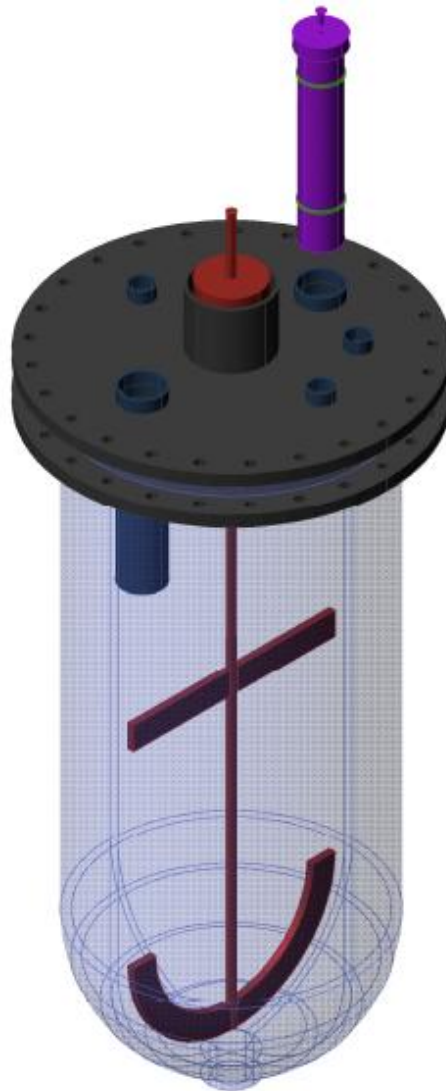
Kuva 14a. Vaihtoehto 5 a, Lasirunkoinen reaktori, jossa teräksinen kansi ja pohja.



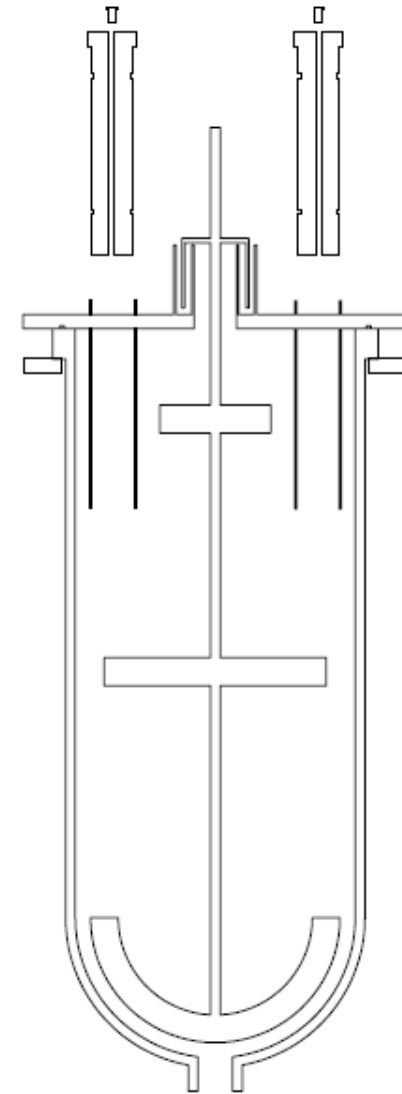
Kuva 14b. Vaihtoehdon 5 a rakennekuva.



Kuva 15a. Vaihtoehto 5 b, pyöreäpohjainen lasireaktori, jossa teräksinen kansi. Kuvassa huomioitavaa on kannen kiinnitys runkoon.



Kuva 15b. Vaihtoehto 5 b, pyöreäpohjainen lasireaktori, jossa teräksinen kansi. Kuvasta selviää kannen ratkaisut paremmin.



Kuva 15c. Vaihtoehdon 5 b rakennekuva.

5.7. Valittu vaihtoehto ja valintaan vaikuttaneet tekijät

Suunnittelun aikana esiteltyt vaihtoehdot ja vastaaviin laitteistoihin tutustumalla päädyttiin suunnittelussa lopulta viidenteen vaihtoehtoon ja sen pyöreäpohjaiseen malliin. Valitun vaihtoehdon yksityiskohtaiset rakennekuvat mittoineen on esitetty liitteessä 1 (vain tilaajalle). Vaihtoehtoon päädyttiin yksimielisesti yhdessä kaikkien työhön liittyneiden toimesta. Kustannuksiltaan ratkaisu on myös hyvin edullinen. Laitteisto on myös alkuperäisten vaatimusten mukainen, vaikka autoklaavin kestävydestä luovuttiin suunnittelun aikana.

Valittu vaihtoehto täyttää vaatimukset läpinäkyvyydestä, autoklaavin ja opiskelijakäytön kestävydestä. Lisäksi kannen useat läpiviennit ja materiaali mahdollistavat eri käyttösovellukset ja muokattavuuden. Sama kansi käy myös lasiosan valmistajan muihin reaktoriastioihin, kunhan sisähalkaisija on sama. Sekoittaja varustetaan tässä suunnitelmassa tasalavoilla ja niiden eri muotojen valmistaminen voidaan tehdä myöhemmin.

6. PROTOTYYPIN RAKENTAMINEN

6.1. Rakentamisen vaiheet

Lopullisen kannen muodon selvittyä päätettiin palaverissa 19.5.2010 prototyypin rakentamisesta. Prototyyppi rakennettiin vaihtoehdon kolme pohjalta. Tarkoituksena oli saada selvitettyä kanteen tehtävien rakenteiden toimivuus ennen varsinaisten laitteiden hankkimista. Näitä rakenteita ovat sekoittajan vesilukkotoiminen tiivistys, näyteputkien kautta suoritettavat lisäykset ja poistot sekä laitteen yleinen toimivuus. Lisäksi prototyypillä oli tarkoitus tutkia erilaisia sekoittajavaihtoehtoja ja harjaantua laitteen käytössä ja mittauksissa sekä tehdä sen perusteella laitteistolle käyttöohjekirja.

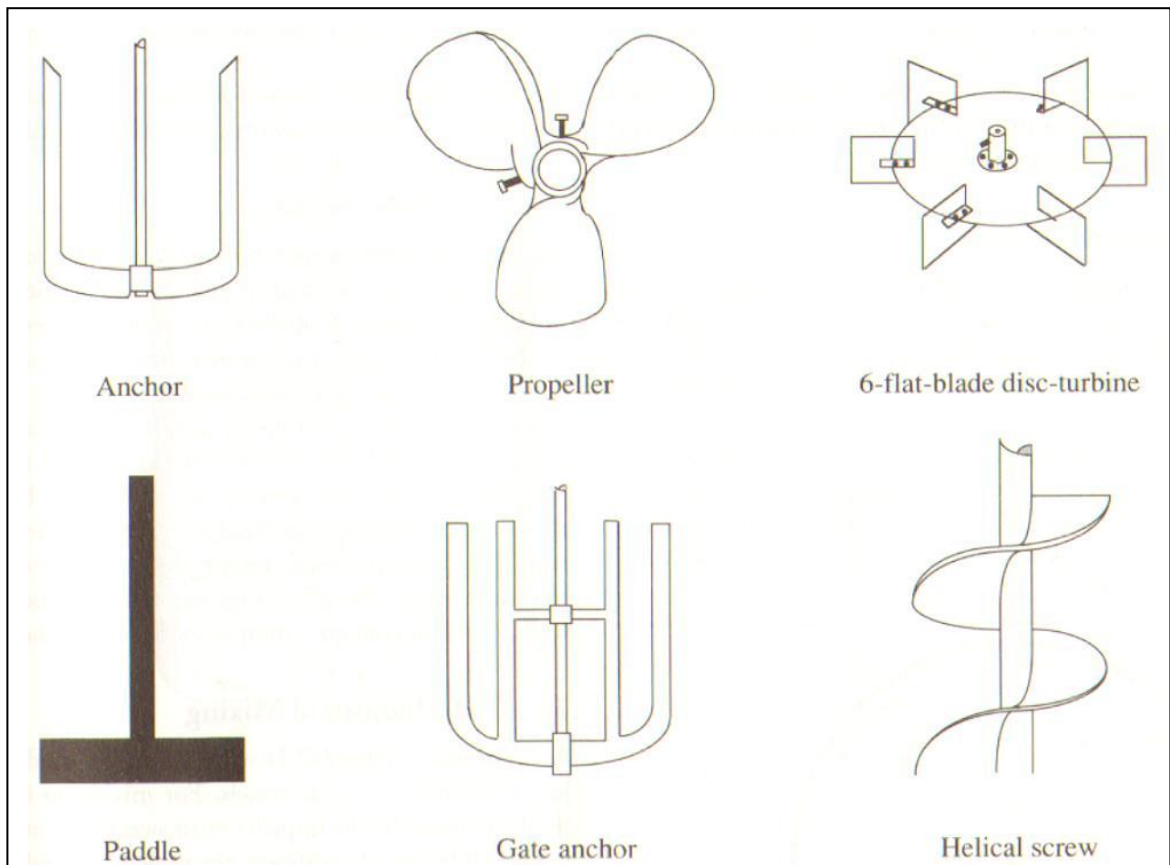
Kustannussyistä prototyyppi päätettiin tehdä ruostumattomasta teräksestä ja lisätä siihen taivuttamalla polykarbonaattimuovinen ikkuna (kuva 16). Runkona prototyypille toimii halkaisijaltaan 200 mm ruostumaton teräsputki, johon teetätettiin 3 mm teräslevystä kansi. Reaktorin tilavuus on kokonaisuudessaan 12,5 l:aa, josta tehollisessa käytössä 10 l:aa. Tilavuudeltaan ja halkaisijaltaan prototyyppi on siis varsinaista laitteistoa vastaava. Näyteputkien tulppina toimii kaksi muoviruiskua, joilla materiaalia myös lisättiin ja poistettiin. Prototyyppi lämmitettiin Savonia-ammattikorkeakoulun vanhan Armfield-laitteiston lämmitysmatolla. Sekoittajamoottorina käytettiin Heidolph:in moottoria.



Kuva 16. Rakenteiden kokeilemistä varten valmistettu prototyyppi. Kuvassa prototyyppi on juuri täytetty toisen validoinnin kaasutettavalla materiaalilla.

6.2. Prototyypillä suoritettut testit ja niiden tulokset

Prototyypillä kokeiltiin eri sekoittajavaihtoehtoja ja kaasun tilavuusmittaustestejä ennen rakenteeseen liittyviä kokeita. Rakenteen toimivuus on tutkittu ja käsitelty kohdassa 7. *Laitteiston validointi*. Reaktorin kunnollisella sekoituksella on suuri vaikutus kaasuntuottoon ja lämmön tasaiseen jakautumiseen. Reaktoreissa usein käytetyt sekoitinlavat on esitetty kuvassa 17.



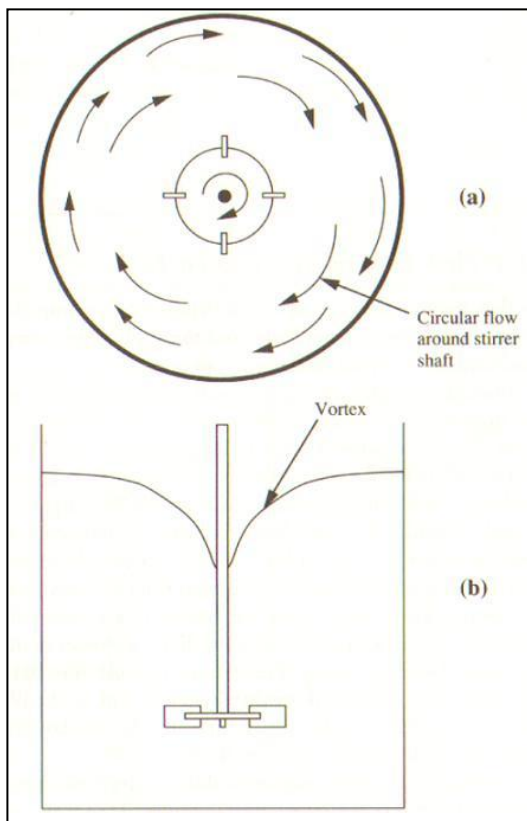
Kuva 17. Erilaisia sekoitinlapamalleja, joita käytetään aerobisissa reaktoreissa. Kuvassa vasemmalta ylhäältä alkaen: ankkuri-, propelli-, tasalapaturbiini-, lapa-, portti- ja ruuvisekoitin. /5/

Eri sekoittajavaihtoehtoja kokeiltiin täyttämällä prototyyppi vedellä ja lisäämällä sinne muovisia täytekkappaleita, joista osa kellui ja osa painui pohjalle. Näiden kappaleiden liikkeiden perusteella pystyi arvioimaan sekoituksen tehokkuutta nimenomaan pinnassa ja pohjassa. Sekoittajavaihtoehdot ovat muodostuneen kaasun kierrätys reaktorin pohjalle ja normaali mekaaninen sekoittaja. Mekaanisen sekoittajan lapavaihtoehtoja ja näiden yhdistelmiä kokeiltiin kolmea erilaista: tasalavat, 45° kulmaan väännetyt lavat ja turbiinimallinen pohjalapa. Tutkitut sekoittajat on esitetty kuvassa 18. Mekaaninen sekoittaja kokeiltiin Heidolph-sekoitinmoottorilla kierrosnopeuksilla 30 ja 45 kierrosta minuutissa.



Kuva 18. Prototyypillä testatut sekoittajavaihtoehdot. Kuvassa oikealta alhaalta: turbiinimallinen pohjasekoitin, kolme tasalapaa, kolme vinoa lapaa ja ylhäällä kanteen kiinnitettynä kaasun kierrättämiseen perustuva sekoitinputki.

Tasalapasekoitus pyöritti koko vesimassaa yhtenä kokonaisuutena eikä pystysuuntaista sekoittumista tapahtunut (kuva 19). Sekoittajan varren alla oli sekoittumaton alue, johon materiaali kasaantui. Kelluvat kappaleet eivät painuneet pinnan alapuolelle. Tulos oli sama molemmilla kierrosnopeuksilla.

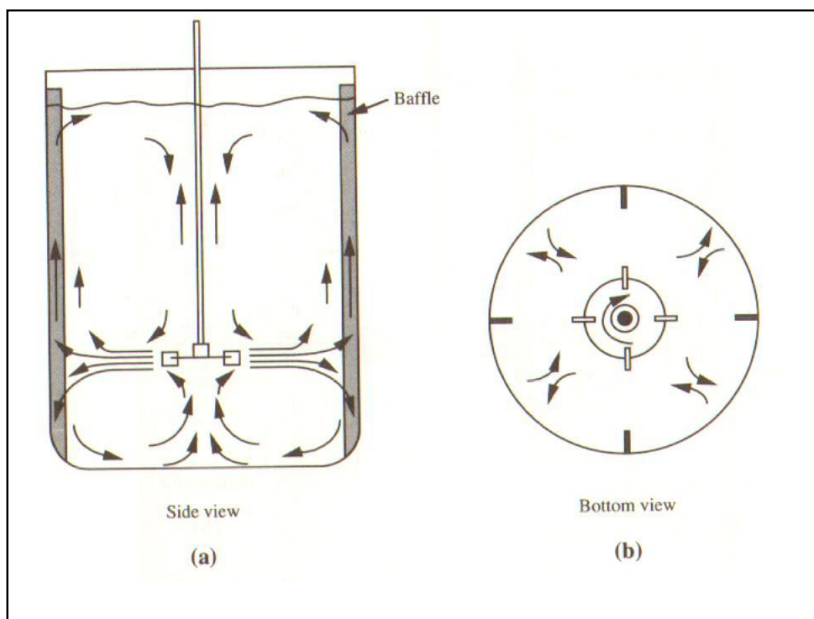


Kuva 19. Tasalapasekoituksen virtausmalli. a) pohjasta ja b) sivulta katsottuna. Kuvasta havaitsee hyvin käytännössä todetun massan pyörimisen ilman kunnollista sekoittumista. /5/

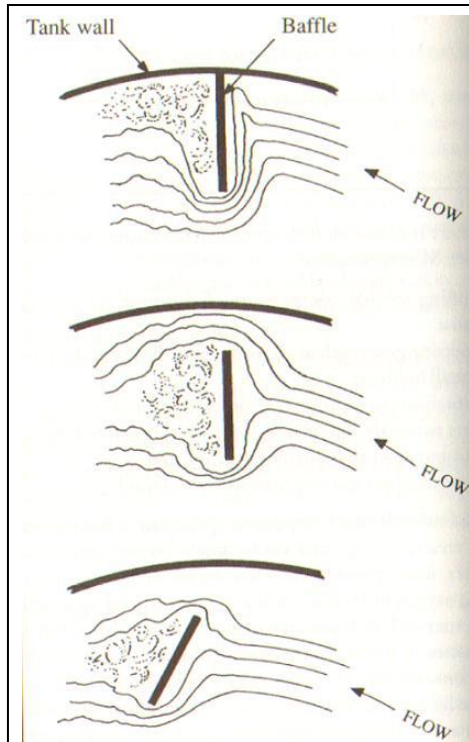
45° asteen kulmaan väännetyt lavat toimivat tasalapoja paremmin. Kaikkien lapojen ollessa samaan suuntaan kulmassa pyöri koko vesimassa edelleen yhtenä mutta myös pystysuunnassa tapahtui sekoittumista joko ylöspäin tai alaspäin riippuen pyörimissuunnasta. Paras sekoitus saatiin kolmen lavan yhdistelmällä siten, että pohjalla oleva lapa nosti materiaalia ylöspäin ja kaksi ylempää painoivat pinnasta alas. Tällöin vesimassan pystysuuntaiset virtaukset olivat voimakkaimmat ja pinnalla kelluvat kappaleet sekoittuivat syvemmälle. Pohjalla painuneet kappaleet sekoittuivat ylempiin kerroksiin lukuun ottamatta aivan sekoittajan varren alapuolella olevaa kohtaa. Kierrosnopeuden kasvattaminen paransi sekoitusta.

Turbiinimallista pohjalapaa kokeiltiin yhdessä kahden vinon ylälavan kanssa. Paras tulos saavutettiin yhdistämällä nostava turbiini painaviin ylälapoihin. Turbiinilla saavutettiin vaihtoehtojen paras pohjan sekoitus mutta hyöty jää pieneksi huomioimalla sen aiheuttama vastus viskositeetiltaan vettä suuremmilla aineksilla. Lisäksi turbiinin lapojen väliin jää isompia partikkeleita kiinni, josta voi pahimmillaan seurata sekoittajan jumiutuminen.

Kaasun kierrättämistä simuloitiin pumpaamalla paineilmaa reaktorin pohjalle, jonka virtaama oli arvioituna noin puoli litraa minuutissa. Purkautuva kaasu sekoittaa massaa hyvin ja epätasaisesti eikä yhtenä kokonaisuutena pyörien. Pienellä virtaamalla pohja ja pinta jäävät sekoittumatta tehokkaasti mutta suurempi virtaama sekoittaa myös ne. Käytännössä ei kovin suurta virtaamaa ole järkevä pumpata takaisin reaktoriin, koska se vaatisi erillisen kaasusäiliön ja iso osa muodostuneesta kaasusta käytettäisiin jatkuvaan sekoitukseen. Kaasun kierrätystä yhdessä mekaanisen sekoituksen kanssa ei tässä yhteydessä tutkittu mutta yhteisvaikutus voisi tuottaa parhaan tuloksen. Mekaanista sekoitusta saisi parannettua rakentamalla joitakin virtausestekappaleita reaktoriin. Niiden vaikutusta reaktorin sisäisiin virtauksiin on esitetty kuvissa 20 ja 21.



Kuva 20. Virtausestekappaleiden vaikutus reaktorin sisäisiin virtauksiin. a) sivulta ja b) alhaalta katsottuna. /5/



Kuva 21. Virtausestekappaleiden vaikutus tarkemmin tarkasteltuna. /5/

Kaasun mittaamista varten otettiin Armfield:in laitteiston tilavuusmittaussäiliö uudestaan käyttöön. Koska vesi vaikuttaa kaasun pitoisuuksiin, pitää kaasusta pitoisuudet mitata ennen säiliöön pumpaamista. Tämä tutkittiin kuvan 22 mukaisella kytkennällä, jossa kaasuanalysointipumppu pumpkaa kaasun pussista vesilukkoon. Koska kaasuanalysointipumppu pumpkaa noin 0,5 litraa /13/ minuutissa, tarvitaan kaasua vähintään puoli litraa luotettavien tuloksien saamiseksi. Kaasun tilavuuden mittaamista kokeiltiin myös virtausmittarilla ja kaasupussia veteen upottamalla mutta nämä osoittautuivat epätarkoiksi ja epäkäytännöllisiksi.



Kuva 22. Kaasun pitoisuuden ja tilavuuden mittaamista varten luotu kytkentä.

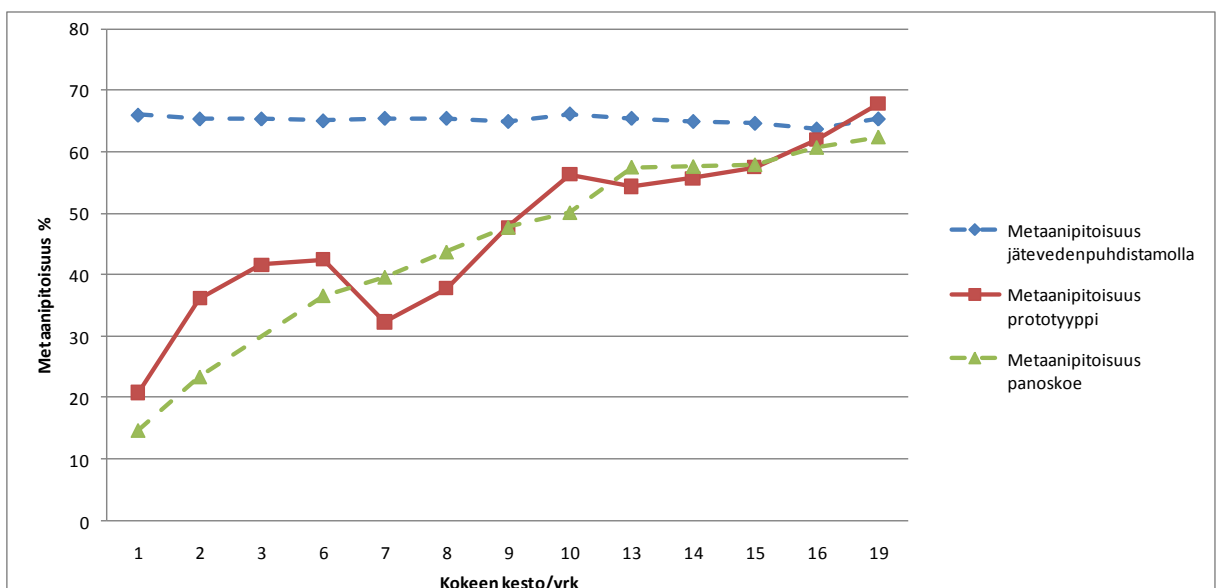
7. LAITTEISTON VALIDOINTI

7.1. Validointimenetelmät

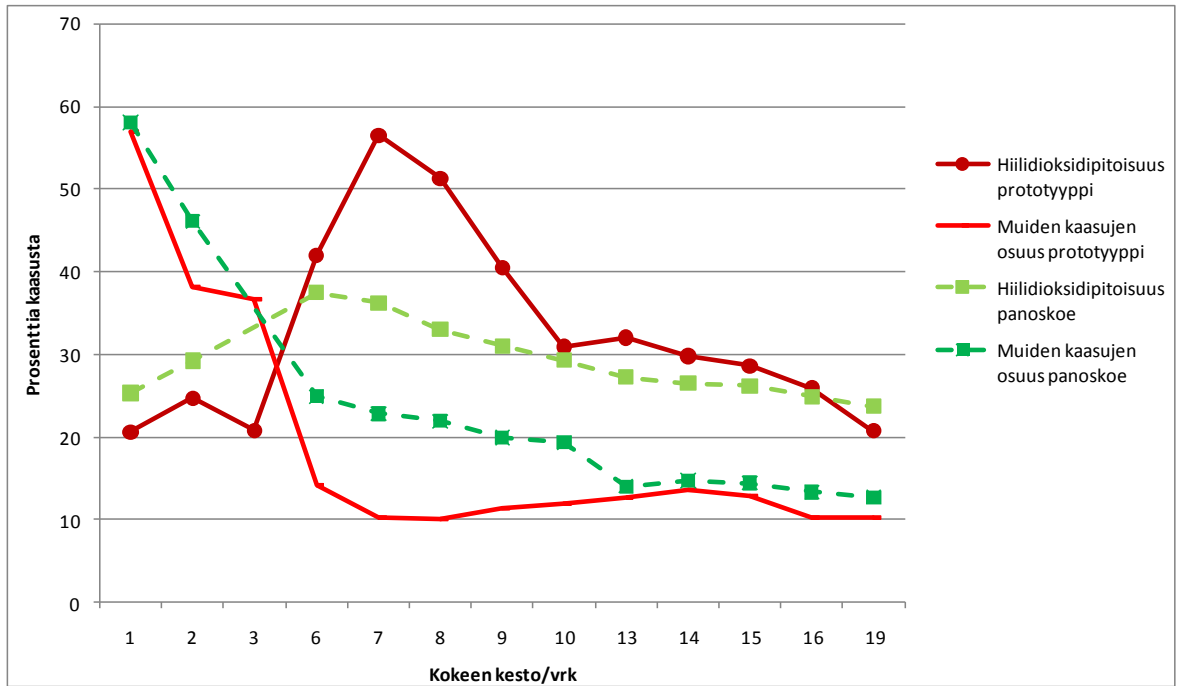
Varsinaisen laitteiston valmistumisen viivästyksen takia suoritettiin validoinneista kaksi koesarjain prototyypillä ja rinnakkaisin panoskokein. Validoinnin tarkoituksena on kokeellisesti varmistaa validoinnin kohteen toimivuus ja vaatimusten täyttyminen. Koska prototyyppi eroaa rakenteellisesti varsinaisista ainoastaan lasisen rungon osalta, voidaan ratkaisujen toimivuus todeta myös prototyypillä. Viimeinen validointi tehdään koepaineistamalla varsinaisen laitteiston reaktorit ja tarkoituksena tässä on varmistaa jokaisen valmiin reaktorin toimivuus. Prototyypillä tehdyillä koesarjoilla laitteiston yleinen käyttö ja luotettavien tulosten saaminen tulevat selvitettyä.

7.2. Koe 1. Jätevedenpuhdistamon sakeutettu jätevesiliete

Ensimmäinen validointi tehtiin 29.6-19.7.2010 ja kokeen kesto oli yhteensä noin 20 päivää. Koeaineksena käytettiin Kuopion Lehtoniemen jätevedenpuhdistamolta 28.6.2010 noudettua sakeutettua jätevesilietettä. Liete otettiin puhdistusprosessista juuri ennen jälkikäsitellynä toimivaa biokaasusta ja sen kiintoainepitoisuus (TS) oli 3 %. Kokeessa prototyypiin laitettiin noin 10 litraa ja yhteen panoskoeputloon noin 4,2 litraa jätevesilietettä. Koe suoritettiin mesofiilisessa lämpötilassa. Ympäristöä ei lisätty eikä laitteistoista huuhdeltu happa pois. Kokeessa jouduttiin keskittymään pitoisuuksien vertailuun, koska tilatut kaasunkeräysspussit eivät olleet vielä saapuneet ja olemassa olevissa kaasupusseissa todettiin tiiviysongelmia. Ensimmäinen validointikoe jouduttiin lopettamaan vaikka metaanipitoisuudet olivat vielä nousussa, sillä rinnakkaisen opinnäytetyön /3/ panoskokeet alkoivat ja tästä oli tarkoitus suorittaa toinen validointi. Kokeeseen käytetyn 20 päivän aikana saadut tulokset riittävät kuitenkin arviointiin laitteiston toimivuudesta. Validointikokeiden mittauspöytäkirjat on esitetty liitteessä 2 ja siitä piirretyt kaaviot kuvissa 23 ja 24.



Kuva 23. Ensimmäisen koesarjan panoskokeen, prototyypin ja Lehtoniemen jätevedenpuhdistamolla mitattujen metaanipitoisuuksien vertailu.



Kuva 24. Ensimmäisen koesarjan panoskokeen ja prototyypin muiden kaasujen (lähinnä typpeä ja vetyä) vertailu.

Koska koesarja jouduttiin lopettamaan kesken, on kuvaajan metaanintuottokäyrät vielä nousussa kokeen päättyessä. Tässä kokeessa kokeiltiin jatkuvatoimisen laitteen tyhjennystä ja täyttööä heti kokeen alusta alkaen, joka näkyy metaanipitoisuuden ajoittaisina romahtamisina kokeen aikana ja hiilidioksidipitoisuuden nousuna. Tällainen pitoisuuksien romahtaminen on normaalia reaktoria syötettäessä /1/. Kokeessa ei ollut tarkoituksena selvittää syytä tähän ilmiöön tai optimoida lisäyksen määrää ja aikaväliä. Lisäyksen jälkeen pitoisuus nousi kuitenkin aina panoskokeen yli.

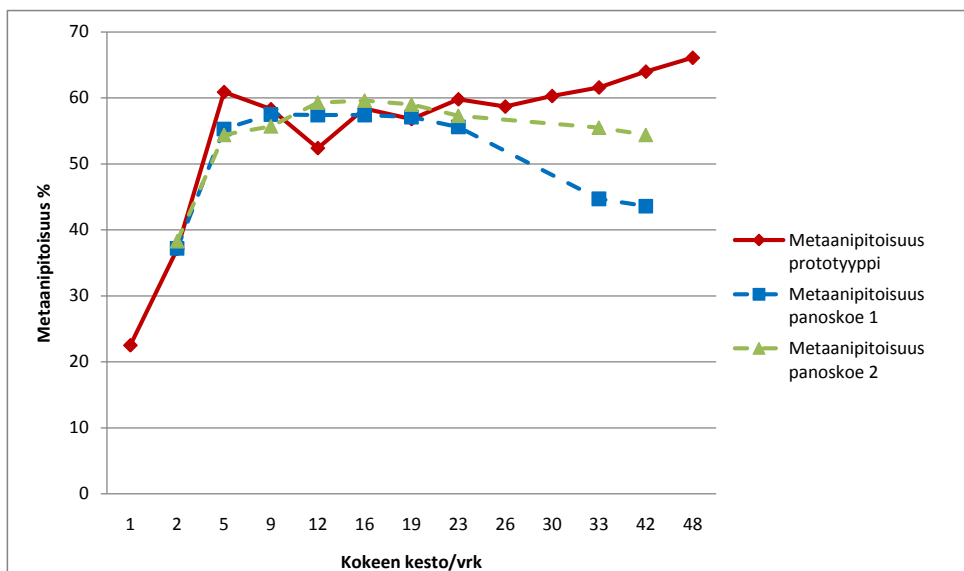
Panoskokeen tulokset olivat odotetun mukaisia ja metaanipitoisuus nousi kokeen aikana tasaisesti saavuttaen yli 60 % pitoisuuden. Kokeen päättymishetkellä on käyrän nousu jo tasoittumassa ja se näyttäisi saavuttavan huippunsa Lehtonimen jätevedenpuhdistamolla mitattujen pitoisuuksien tasolla. Oletettavasti pitoisuuksien hiipuminen olisi alkanut muutaman päivän sisällä. Jatkuvatoiminen koe olisi ilman lisäyksiä noussut panoskoetta vastaavana käyränä ja normaalisti vasta metaanipitoisuuksien saavuttaessa huippunsa olisi aloitettu lisäämään ainesta. Metaanipitoisuuksista voidaan kuitenkin selvästi todeta, että prototyypin rakenne ja toiminnot toimivat oletetusti ja niin myös varsinaisen laitteiston rakenne on toimiva. Hiilidioksidin ja muiden kaasujen pitoisuudet olivat panoskokeessa ja prototyypissä hyvin toisiaan vastaavia, joten tältäkin osin voidaan ratkaisut todeta toimivaksi.

7.3. Koe 2. Biojättemurska

Toinen validointikoe tehtiin 19.7.2010-7.9.2010 ja koe kesti yhteensä noin 48 vrk. Koeaineena käytettiin biojättemurskaa Savonia-ammattikorkeakoulun mobiilista biokaasulaitoksesta. Kyseisen biojättemurskan kaasuntuotto on osa Pieksämäen biokaasulaitoksen esiselvitystä ja oma opinnäytetyönsä /3/. Näyte otettiin 7.7.2010 Halolan koemaatilalta ja näytettä säilytettiin pakastettuna koko kokeen ajan. Biojäte on kerätty Maaningan keskustan alueelta ja se on murskattu ja säilytetty Halolan koemaatilalla. Aineksesta tutkittiin ensin kuiva-aineen (TS) ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VS) osuus standardin SFS 3008 /14/ mukaisesti. Kaasutettavan biojätteen kuiva-ainepitoisuus oli 26,7 % ja orgaanista ainesta oli 21,4 %. Ympäriä käytettiin Maaningan biokaasulaitoksen mädätysjäännöstä.

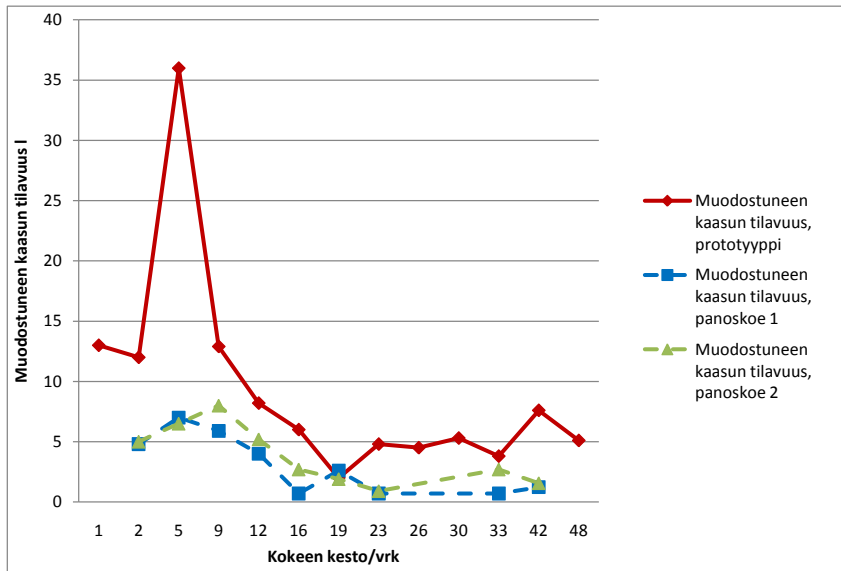
Kokeessa prototyyppiin laitettiin 433 g biojätettä ja 9 568 g ymppeä, joiden yhteistilavuus oli noin 10 litraa. Panoskokeita oli kaksi kappaletta ja ne täytettiin samassa suhteessa, 173 g biojätettä ja 3 827 g ymppeä, jolloin yhteensä ainesta yhteen panospulloon tuli 4 litraa. Koe suoritettiin mesofiilissä lämpötilassa. Kokeen alussa reaktoreiden täytön jälkeen niistä huuhdeltiin typpikaasulla happi pois. Hapettomuus tarkastettiin samanaikaisesti kaasuanalysointorilla mittaamalla.

Prototyyppiin lisättiin ja poistettiin ainesta heti kokeen alusta alkaen työrutiinin kehittymisen ja mahdollisten ongelmien löytymisen vuoksi. Lisättävä aineserä muodostui samassa suhteessa kuin reaktoreiden täyttökä ja lisäykset sovittiin tehtävän kahdesti viikossa. Kerralla lisättiin 250 g, josta siis noin 11 g biojätettä ja 239 g ymppeä. Koesarjan pituus ja toteutus oli ensimmäistä validointikoeita parempi ja sen tuloksista laitteiston toimivuuden toteaminen on luotettavampaa. Kaaviokuvat tuloksista on esitetty kuvissa 25, 26, 27 ja 28 sekä alkuperäiset mittauspöytäkirjat liitteessä 2.



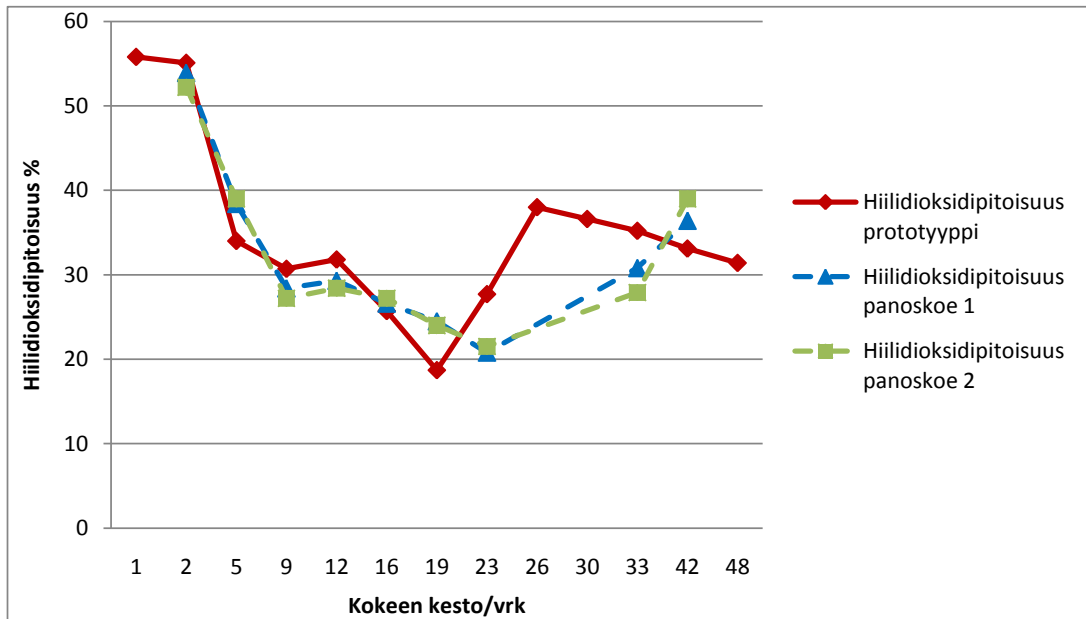
Kuva 25. Toisen validointikokeen prototyypin ja panoskokeiden metaanipitoisuuksien vertailu.

Metaanipitoisuudet kokeessa muodostuivat odotetusti ja vastasivat hyvin toisiaan. Pitoisuuden nousu kokeen alussa oli todella nopeaa. Tämä johtuu alun typpihuuhtelusta ja aineksen suuresta orgaanisen aineen määrästä. Prototyypin metaanipitoisuus vaihtelee panoskokeita enemmän mutta on panoskokeita edellä. Panoskokeiden välillä on havaittavissa loppua kohden eroa ja tämä kertoo biokaasukokeiden luonteesta yleisesti. Ilman mädätejäännöksen tarkempaa tutkimista on mahdollista sanoa miksi toinen panoskokeista hiipuu aikaisemmin kuin toinen. Prototyypin metaanipitoisuus jatkuvasti syötettynä olisi jatkanut nousemista vielä pidempäänkin.

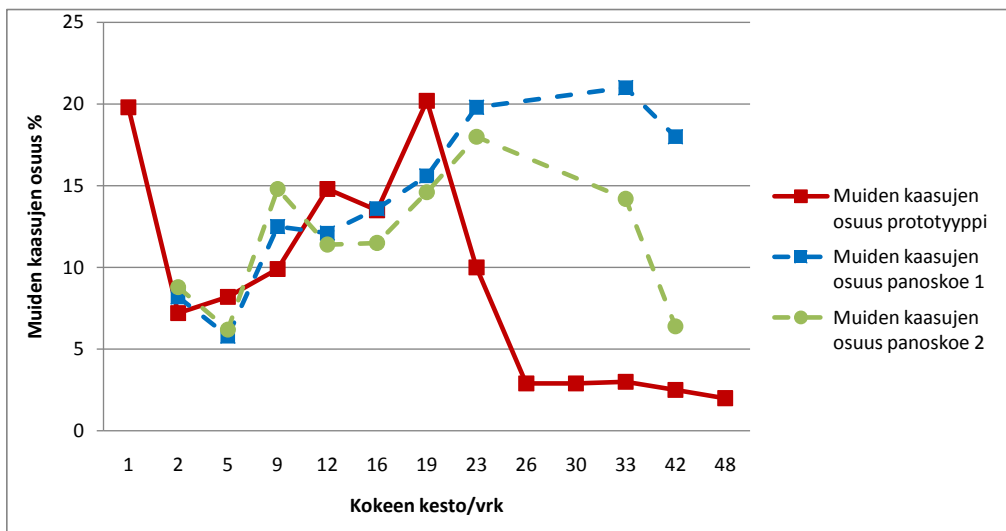


Kuva 26. Toisen validointikokeen prototyypin ja panoskokeiden kaasuntuoton vertailu.

Muodostuneen kaasun tilavuutta tarkastellessa näkee jatkuvatoimisen ja panoskoelaitteistojen eron. Yhteensä panoskokeet tuottivat 27 ja 34 litraa kaasua, prototyyppi 116 litraa samassa ajassa. Prototyypissä on 2,5-kertaisesti biojätettä enemmän panoskokeessa, jos oletetaan että poistettaessa poistuu myös samassa suhteessa kuin lisätään. Tuotollisesti kuitenkin jatkuvatoiminen tuottaa 3,5-4-kertaisesti kaasua verrattuna panoskokeisiin. Muodoltaan kaasuntuottokäyrät vastaavat kuitenkin toisiaan hyvin ja kaasuntuotto on kaikissa reaktoreissa ollut voimakkainta kokeen alussa. Kaasuntuotto ja metaanipitoisuus ovat myös loogisesti yhdenmukaisia.



Kuva 27. Toisen validointikokeen prototyypin ja panoskokeiden hiilidioksidipitoisuuksien vertailu.



Kuva 28. Toisen validointikokeen prototyypin ja panoskokeiden muiden kaasujen (lähinnä typpeä ja vetyä) pitoisuuksien vertailu.

Muiden kaasujen osuus ja hiilidioksidipitoisuus ovat myös hyvin toisiaan vastaavia panoskokeissa ja prototyypissä. Tulokset ovat myös loogisia, jos kaikki pitoisuudet yhdistää reaktorikohtaisesti yhteen kaavioon.

Yleensä biokaasukokeissa materiaalin kaasuuntuvuutta tarkastellaan metaanintuoton suhteen orgaanisen aineksen painoa kohti yksikössä $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{tn VS}$. Muita käytettyjä ovat myös kuutiota metaania kuiva-ainetta (TS) tai märkápainoa (ww) kohti. Koesarjasta laskettuna saadaan prototyypille $430 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{tn VS}$ ja panoskokeille keskiarvona $365 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{tn VS}$. Kirjallisuudesta /15/ saadut

arvot antavat biojätteelle tuotoksi 500-600 m³ CH₄/tn VS. Saadut tulokset jäävät vähän heikomiksi kuin mitä kirjallisuus esittää. Syynä tähän on aineksen tarkemman koostumuksen selvittämättä jättäminen, kokeiden keskeyttäminen hieman ennen kaasuntuoton loppumista ja laitteistoissa esiintynyt lievä vuoto. Kokeen aikana huomattiin, että reaktoreissa käytettävä silikoniletku vuotaa kaasua ulos. Tämä korjattiin vaihtamalla letkut PVC:hen mutta tuloksissa ei näkyvää muutosta enää tapahtunut. Ilman vuotoa olisi kaasuntuotto ollut kaikissa reaktoreissa suurempaa, jolloin myös tulokset olisivat olleet parempia.

7.4. Koe 3. Varsinaisten reaktoreiden painekoe

Lähtökohtaisesti tarkoituksena oli suorittaa laitteistolla todellinen koesarja jollakin aineksella mutta aikataulun venymisen takia se korvataan koepaineistamalla reaktorit ja tarkastamalla niiden kaasutiiviys. Laitteisto otettiin kuitenkin opiskelijavetoisena projektina välittömästi valmistumisen jälkeen koekäyttöön.

Koe suoritettiin siten, että reaktorit kasattiin ja vesilukko sekä reaktori täytettiin vedellä. Tämän jälkeen kytkettiin painemittari Alnor AXD 550 kiinni reaktorin kannen venttiiliin (kuva 29). Reaktoriin puristettiin paineilmapistoolilla vesilukon kestävä ylipaine ja katsottiin painemittarista ylipainelukema. Reaktori annettiin tämän jälkeen olla 10 minuutin ajan ja jos painelukema on pysynyt muuttumattomana tämän ajan, ei reaktorissa katsottu olevan minkäänlaisia vuotoja. Koe toistettiin vielä varmuuden vuoksi kaksi kertaa jokaiselle reaktorille. Kaikki neljä reaktoria läpäisivät nämä kokeet virheettösti. Painemittari antoi noin 430 Pa:n painekestävyyden vesilukon ollessa täynnä. Tämä lukema vastasi vesilukossa olevan vesipatsaan korkeutta eli noin 43 mmH₂O painetta.



Kuva 29. Reaktoreille suoritettu kaasutiiviyskoe.

8. LAITTEISTON RAKENTAMINEN

Varsinaisen laitteiston rakentaminen pohjautui suunnitelman mukaisesti valmiiseen reaktoriastiaan, jonka tilaamisesta rakentaminen alkoi. Lasiosan valmistaja on tšekkiläinen Kavalier /16/. Toimitusaika osille oli 4-8 viikkoa.

Kannen rakennesuunnitelma oli lasiosaa tilattaessa valmiina mutta sitä tarkennettiin vielä ennen kilpailutusta. Lopullinen kansirakenne kilpailutettiin konepajoilla lähinnä Kuopion alueella yhteensä 13 eri valmistajan välillä. Hyväksyviä tarjouksia ei kuitenkaan saatu yhtään. Valtaosa ilmoitti, ettei pysty osaa valmistamaan ja osa yrityksistä ei vastannut ollenkaan. Kyselyistä huolimatta ei syytä kannen valmistamisen ongelmista saatu.

Kannen valmistamiseksi päätettiin näyteputkien tulpat tehdä itse polyasetaalista (POM-muovista) haponkestävän teräksen sijaan (kuva 30). Myös ½”-n kierteet tehdään itse (kuva 31), jolloin jäljelle jää vain leikkaus- ja hitsaustyöt. Näin saatiin myös kustannussäästöjä. Kansi kilpailutettiin uudelleen laser- ja vesileikkausyrityksillä, koska oletettavasti reikien teko oli konepajoille mahdotonta. Näin hyväksyttävä tarjous saatiin ja kannet tilattiin. Näyteputkien halkaisija muuttui tässä vaiheessa vielä parilla millillä pienemmäksi, koska valmistajalla ei ollut alkuperäisen suunnitelman mukaista putkea varastossa ja tilaamalla sitä erikseen olisivat kustannukset olleet suuremmat.

Lämmitysratkaisuksi valittiin aiemmin muussa käytössä olleet lämmitysmatot termostaateineen. Kyseiset matot ovat 20 litran tynnyrin lämmittimiä ja niitä on kaksi kappaletta. Matossa on mukana termostaatti, jossa on lämpötilan mittausta sekä erillisellä anturilla että matossa. Molempien anturien lämpötilarajat voidaan säätää, joten matto ei pääse ylikuumentumaan. Sijoittamalla kaksi reaktoria yhteen mattoon kuvan 32 mukaisesti saadaan lämmitys ratkaistua ilman lisäkustannuksia ja edelleen pystytään käsittelemään ainesta eri lämpötiloissa samanaikaisesti. Lämmitysmattojen lisäksi reaktori telineineen mahtuu lämpökaappiin, jolloin erillistä lämmitystä ei tarvita.

Pohjahana liitettiin letkuliitoksella lasiosaan. Reaktoreille rakennettiin teline terästangosta, jossa on sekoitinmoottori kiinnitettynä. Yhdellä taajuussäätteisellä moottorilla pyöritetään kaikkia neljää sekoitinta. Reaktorit roikkuvat laipasta kiinni telineessä ja sekoittajan varret tullaan kiinnittämään erikseen tehtävään kanteen, joka tulee peittämään kaikki reaktorit. Kannen tarkoitus on sekoittajien kiinnityksen lisäksi estää sormien tai esineiden joutumista sekoitinhihnan väliin. Viimeisinä työvaiheina kanteen kiinnitettiin venttiilit ja valmistettiin muut tarvikkeet kuten tiivisterenkaat (kuva 33). Valmista laitteistoa on esitetty kuvissa 34, 35, 36 ja 37.



Kuva 30. Polyasetaalista itse tehty tulppa. Suunnitelmasta poiketen katsottiin tarpeelliseksi vain yksi tiivisterengas.



Kuva 31. Reaktoreiden kansien läpivienteihin tehty kierteet.



Kuva 32. Reaktoreiden lämmitystä kokeiltiin valmiilla tynnyrilämmitysmatolla. Matto ei ylety kokonaan reaktoreiden ympäri mutta lämmittävä vaikutus on riittävä.



Kuva 33. Kuva reaktoreiden rakentamisen viimeisistä vaiheista.



Kuva 34. Käyttövalmiit ja toimivat reaktorit telineessään.



Kuva 35. Reaktorin kannen lopullinen rakenne. Kuvassa näkyy kaksi venttiiliä, kaksi näytteenottoputkea tulppineen ja lämpötila-anturin tasku.



Kuva 36. Reaktorin kansi kiinnitettynä. Kuvasta näyteputket havainnollistuvat paremmin.



Kuva 37. Havaintokuva yhdestä reaktorista valmiina. Kuvasta selviää pohjajanan liitos ja reaktorin kiinnitys telineeseen.

9. VALMIIN LAITTEISTON TARKASTELO

9.1. Ratkaisujen onnistuminen ja vaatimusten täytyminen

Lähtökohtaisesti laitteistolle asetetut vaatimukset täyttyivät. Prosessin tarkkailua varten ovat reaktorit läpinäkyviä ja kerrostuneisuuden näkee helposti. Kaikki osat tulppia ja tiivisteitä lukuun ottamatta ovat myös autoklaavissa puhdistettavissa, jolloin hygieenisuus varmistetaan. Toimintansa puolesta reaktori toimii hyvin ja käyttö on helppoa. Kannen ratkaisut ovat toimivia ja erilaiset prosessimittaukset ja muutokset ovat mahdollisia. Erityisen hyvin toimiva ratkaisu on sekoittajan läpivienti vesilukkotoimisena. Kokonaisuutena reaktori rakenteeltaan ja toiminnaltaan simuloi hyvin täysimittaisia reaktoreita. Laitteistosta saatiin juuri oikeankokoinen välimuoto panoskoepullojen (4 litraa) ja Savonia-ammattikorkeakoululla olevan mobiilin laitoksen (3 m³) välillä.

Budjettiin nähden laitteistosta saatiin materiaaliltaan ja toiminnaltaan paras mahdollinen. Esimerkiksi joku muovilaatu reaktorin rakenteena olisi ollut lasia heikompi ja ajan kanssa se olisi lohkeillut kuten Ostfalia-ammattikorkeakoulun laitteistossa. Lasi ei tietysti kestä pudottamista mutta muuten se pysyy luotettavana.

9.2. Kustannukset

Savonia-ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehityksyksikölle osoitetusta määrärahasta varattiin biokaasulaitteiston valmistamiseen 4 500 €. Tähän summaan sisältyi sekä jatkuvatoimien laitteisto että panoskoepullot. Suunnittelun edetessä huomattiin budjetin olevan tiukka mutta halvan lasiosan toimittajan löytymisen ansiosta saatiin laitteisto rakennettua halutun mukaiseksi budjetti alittaen. Muut vaihtoehdot olisivat olleet reilusti enemmän, jopa 2 500 € reaktoria kohti ja seuraavaksi halvinkin olisi ollut yli 600 €/reaktori. Kustannussäästöjä saatiin tekemällä itse osa työstä ja osista. Ilman muusta käytöstä saatua lämmitysjärjestelmää olisi lisäkustannuksia kertynyt noin 1 000 €. Lopulliset kustannukset on eroteltuna taulukossa 1, jossa tarvikkeiden osuus on arvioitu.

Taulukko 1. Savonia-ammattikorkeakoulun jatkuvatoimisten ja panoskoelaitteistojen kustannukset (alv. 0 %) yhdistettynä.

	Kokonais hinta/€	Hankittu määrä/kpl
Prototyyppi	121	1
Lasiosa	489,6	4
Kansi	1 480,73	4
Lämmitys	0	2
Sekoitinmoottori	250	1
Teline	0	1
Tarvikkeet	500	-
Panospullot	1 211	14
Kaasupussit	235,08	20
Yhteensä	4 287,41	
Budjetti	4 500	
Ylijäämä	212,59	

9.3. Esiintyneet ongelmat ja tulevaisuuden näkymät

Näin suuressa projektissa työn aikana esiintyviltä ongelmilta ei voi välttyä. Ensimmäinen ongelma-kohta oli laitteiston valmistamisen yllättävän kallis hinta ja budjetin tiukkuus. Tämän seurauksena päädyttiin luomaan halvempia ratkaisuja sisältäviä vaihtoehtoja ja jopa luopumaan alkuperäisistä vaatimuksista. Onneksi kuitenkin alkuperäisen kaltainen laitteisto saatiin rakennettua kohtuuhintaan eikä mistään tarvinnut luopua. Toinen yllättävä ongelma seurasi kannen kilpailuttamisesta konepajoilla. Kaikki saadut vastaukset olivat kielteisiä ja syynä valmistamisen mahdottomuus heidän konekannallaan. Kyselyistä huolimatta ei saatu vastausta siihen, mikä kannen rakenteessa oli mahdotonta työstää. Myös kilpailutusajankohta (kesä 2010) oli huono, sillä konepajojen työntekijät olivat lomilla. Ongelma ratkaistiin toisenlaisella lähestymistavalla ja kilpailuttamalla sama kansi laser- ja vesileikkauspajoilla. Näin saatiin hyväksyttävä tarjous ja kansi rakennettua myös edullisesti, tosin oman työn osuus lisääntyi ja tulppien materiaali muuttui.

Edellä mainitut ongelmat johtivat projektille asetetun aikataulun venymiseen useilla kuukausilla. Tästä ei varsinaisesti ollut haittaa, koska kesän ajalle suunnitellut kokeet pystyttiin suorittamaan myös panoskokeina. Ainoa aikataulun venymisen aiheuttama haitta oli viimeisen koesarjan poisjättäminen ja sen korvaaminen yksittäisellä painekokeella. Pätevyydeltään tämä ratkaisu ei heikennä laitteiston validointituloksia mutta työrutiinien ja käyttöohjekirjan laatimisen kannalta siitä oli haittaa.

Kokonaisuutena työn aikaiset ongelmat olivat vähäisiä ja saatiin ratkaistua lopputuloksesta tinkimättä. Todettava on, että esiintyneet ongelmat olisivat olleet aavistettavissa ja niihin olisi voinut ennakoimalla vaikuttaa.

Laitteiston käytön jatkoa ajatellen sille on tietenkin tarvetta kaasuuntumiskokeisiin osana Savonia-ammattikorkeakoulun bioenergiatutkimuksia. Varsinaisten kokeiden ohella laitteiston käyttöohjekirjaa voi päivittää käytön aikana ilmenneiden seikkojen pohjalta. Lisäksi laitteen yleistä toimintaa, kuten lisäyksien määrää ja aikaväliä olisi syytä tutkia erillisenä tutkimuksena. Laitteistossa on siis jatkoa varten opiskelijoille projektityönaiheita. Rakenteellisesti laitteisto on suunniteltu monikäyttöiseksi ja sitä varten esimerkiksi reaktoreiden sarjaankytkennän edellytykset pitää luoda. Lisäksi myös sekoitusjärjestelmä biokaasua ja/tai lietettä kierrättämällä sekä erilaiset sekoittajan lavat ja virtausestekappaleet ovat jääneet tässä yhteydessä valmistamatta.

Jatkossa budjetin salliessa voisi laitteistoon hankkia jokaiselle reaktorille oman lämmitysmaton ja mittauksia varten kaasutilavuusmittarin. Prototyypin osalta se voidaan jättää sellaisenaan varalle tai lisäreaktoriksi mutta myös sille voisi olla jatkokäyttömahdollisuuksia. Biokaasuuntumisen mikrobiologiaa tutkittaessa pitäisi saada otettua näyte aineksesta reaktorin eri kerroksista. Tätä varten prototyyppiin voisi tehdä näytteenottoventtiilit tai -reiät eri korkeuksille. Valtaosin laitteisto tulee olemaan käytössä alkuperäisessä muodossaan rinnakkaisina reaktoreina mutta lisäsovellusten mahdollisuudet on jätetty avoimiksi ja tässä on esitelty vain muutamia.

10. YHTEENVETO

Biokaasu on orgaanisen aineen anaerobinen hajoamistuote, jonka poltosta saadaan uusiutuvaa energiaa ja vähennetään kasvihuonepäästöjä. Biokaasua muodostuu luonnollisesti esimerkiksi kaatopaikoilla ja tuotettuna jätevedenpuhdistamoiden ja maatalojen reaktoreissa. Biokaasun potentiaali energiantuotannossa ja polttoaineena on jäänyt taka-alalle ja hyötykäyttömahdollisuuksia on paljon. Yleisempien kaasutettavien aineiden, kuten biojätteen ja jätevesilietteen lisäksi uusia ainesvaihtoehtoja tutkitaan jatkuvasti. Tutkimukset näille aloitetaan pienen mittakaavan panoskokeina, jatkaen laboratorion kokoluokan laitteistoon ja edeten aina muutaman kuution kooreaktorin kautta varsinaisiin laitoksiin. Periaatteena on valita parhaiten kaasua tuottavat ainekset seuraavalle tutkimusasteelle. Savonia-ammattikorkeakoulun biokaasulaitteiston rakenteelliset heikkoudet johtivat uuden laitteiston valmistamiseen.

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa uusi jatkuvatoiminen laboratoriomittakaavan biokaasulaitteisto ja todeta se vaatimusten mukaiseksi ja luotettavaksi. Uuden laitteiston suunnittelu alkoi muiden käytössä olevien laitteistojen kartoittamisella ja niissä käytettyjen ratkaisujen selvittämisellä. Tämän jälkeen pohdittiin soveltuvia materiaaleja ja yhdessä vertailtujen laitteistojen kanssa muodostettiin oma, kaikilta osa-alueiltaan parhaaksi katsottu versio, joka ominaisuuksiltaan on asetettujen vaatimusten mukainen ja kestävä. Lopullisen suunnitelman valmistuttua ja tilaajan sen hyväksytyä aloitettiin reaktoreiden rakentaminen lasiosan tilaamisella valmistajalta. Kannen rakenne viimeisteltiin samanaikaisesti ja tilattiin myös se. Osien saavuttua kiinnitettiin venttiilit kanteen ja pohjaan, työstettiin itse tulpat ja rakennettiin teline.

Rakennettu laitteisto yhdistää lasisen rungon ja teräksisen kannen parhaat ominaisuudet, läpinäkyvyyden, kemiallisen ja fysikaalisen kestävyuden sekä työstettävyyden ja muokattavuuden. Rakenne ja toiminta yhdistää muiden käytössä olevien laitteistojen parhaat ja toimivimmat osa-alueet yhdeksi kokonaisuudeksi. Lisäksi koko laitteiston valmistuskustannukset olivat edulliset. Validointitestien pohjalta voitiin laitteisto todeta toimivaksi ja saatiin työrutiinia kehitettyä.

Laitteistolle tehtiin käyttöohjekirja, joka samalla toimii opiskelijoille oppaana biokaasun teoriaan, tutkimiseen ja tulosten käsittelyyn. Käyttöohjekirjaan koottiin lisäksi useista lähteistä kattava lista metaanintuottopotentiaaleja tulosten analysoinnin vertailukohdiksi.

Työn aikana suurimmat ongelmat olivat aikataulun kanssa, josta ei kuitenkaan lopulta ollut haittaa ja lopputulokseen sillä ei ollut vaikutusta. Jatkon kannalta rakennettua laitteistoa voi kehittää edelleen ja suunniteltua monipuolista käyttöä varten luoda edellytykset niihin. Ensimmäisenä vaiheena laitteiston käyttöönotossa on käytön opettelua, toiminnan optimointia ja erilaisia testiajoja, jotta asiakkaille tehtävissä kokeissa ei enää pääse yllätyksiä tulemaan.

LÄHTEET

1. Taavitsainen, Toni. Kapuinen, Petri & Survo, Kyösti. *MaLLa-hankkeen loppuraportti: Maatalouden lietteiden ja lantojen keskitetyn käsittelyn mallinnus*. Pohjois-Savon ammattikorkeakoulu (nyk. Savonia), Tekniikka, Kuopio. 2002.
2. Suomen biokaasuyhdistyksen kotisivut. [online].
http://www.biokaasuyhdistys.net/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=6&Itemid=53
12.9.2010.
3. Manu, Harri. *Liikuteltavan biokaasulaitoksen koejärjestelyjen monitorointi ja tulosten arviointi*. Opinnäytetyö. Savonia-ammattikorkeakoulu, Tekniikka, Kuopio. Painossa.
4. Latvala, Markus. *Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) : biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä*. Helsinki: Suomen ympäristökeskus: Edita. 2009
5. Doran, Pauline M. *Bioprocess Engineering Principles*. Academic Press Inc. 1995.
6. Leisola, Matti *et al.* *Bioprosessitekniikka*. WSOY. 2002. s125-131 ja 269-273
7. Kuittinen, Ville. Huttunen, Markku J & Leinonen, Simo. *Suomen Biokaasulaitosrekisteri n:o 13*. Itä-Suomen Yliopisto. 2009
<http://www.biokaasuyhdistys.net/images/stories/pdf/biokaasulaitosrekisteri13.pdf>
[online, PDF] 21.10.2010
8. Työ- ja elinkeinoministeriö. *Suomen kansallinen toimintasuunnitelma uusiutuviista lähteistä peräisin olevan energian edistämisestä direktiivin 2009/28/EY mukaisesti*. [online, PDF].
http://www.tem.fi/files/27405/NREAP_300610_FINLAND.pdf
12.9.2010.
9. Työ- ja elinkeinoministeriö. *Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 6. päivänä marraskuuta 2008*. [online, PDF].
http://www.tem.fi/files/20585/Selontekoehdotus_311008.pdf
12.9.2010
10. Armfield –yrityksen kotisivut. [online].
<http://www.discoverarmfield.co.uk/data/w8/?js=enabled>.
10.8.2010.

11. Muovituotteiden ja –materiaalien valmistajan Vink Oy:n kotisivuilla oleva sivu muovilaaduista. [online].
<http://www.tuotteet.vink.fi/>
21.10.2010.
12. Khursheed, Karim K. Klasson, Thomas. Hoffmann, Rebecca. Drescher, Sadie R. DePaoli, David W & Al-Dahhan, M.H. *Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mixing*. [online, PDF].
<http://comp.uark.edu/~kkarim/paper9.pdf>.
Elsevier. 20.8.2010.
13. Savonia-ammattikorkeakoulun kaasuanalysaattorin Geotechnical Instruments GA 2000 Plus:n käyttöohjekirja.
14. Standardi SFS 3008. *Veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määrittäminen*. 1990
15. Paavola, Teija. *Biokaasuprosessi –raaka-aineet, tuottokyky, käsittely, prosessi. Maakunnallinen biokaasuseminaari*. Seinäjoki 27.3.2007. [online, PDF]
http://www.cropgen.soton.ac.uk/publications/8%20Other/Oth_35_Biogas%20seminar_Paavola.pdf
29.9.2010.
16. Reaktorin lasiosan valmistajan Kavalier:in kotisivut.
<http://web.kavalier.cz/en/site/onas/index.html>
[online] 4.10.2010.

LOPULLISEN RATKAISUN RAKENNEKUVAT (vain tilaajan käyttöön) (2s)

VALIDOINTITESTIEN MITTAUSPÖYTÄKIRJAT (3s)

Koeaines 1. Jätevedenpuhdistamon sakeutettu jätevesiliete

Aines:	Lehtoniemen jätevedenpuhdistamon sakeutettu jätevesiliete, kiintoainepitoisuus 3 %, otettu järjestelmästä juuri ennen biokaasureaktoria							
Näytteenotto:	28.6 klo 14.00, 30 l kanisteri							
Tilavuudet:	Prototyyppiin noin 10 l, panoskokeeseen noin 4,2 l							
Aloitettu:	29.6 klo 9.30							
Kokeen kesto:	20 pv, noin 460 tuntia							
Kaasuanalysointilaitteisto:	Geotechnical instruments GA2000 plus							
Prototyyppi								
PVM	klo	CH₄	CO₂	O₂	BAL	NH₃	H₂S	Huomioita
30. kesä	9.55	20,8	20,6	1,5	57,0	15,0	13,0	Mitattu suoraan reaktorista
1. heinä	10.45	36,1	24,7	0,9	38,2	6,0	1,0	Mitattu suoraan reaktorista, lisätty n. 150 ml
1. heinä	12.25	32,9	23,6	2,3	41,3	11,0	0,0	Happea pääsi lisäyksen aikana 1,4 %
1. heinä	14.00	31,3	23,5	2,5	42,6	7,0	0,0	Happi näkyy vieläkin
2. heinä	14.00	41,6	20,8	0,9	36,6	15,0	0,0	Mitattu suoraan reaktorista, happi kulunut pois, lisätty n. 150 ml
5. heinä	11.50	42,5	42,0	1,1	14,2	3,0	0,0	Mitattu reaktorista, vesi haihtunut sekoittajan vesilukosta, lisätty n. 250 ml
6. heinä	12.30	32,3	56,5	0,9	10,3	0,0	0,0	Mitattu reaktorista, metaani tippunut? Ei lisätty ainesta.
7. heinä	12.00	37,8	51,3	0,8	10,0	8,0	0,0	Mitattu reaktorista, ei lisätty
8. heinä	12.10	47,7	40,5	0,9	11,4	2,0	0,0	Mitattu reaktorista, metaanihuippu 49,9, ei lisätty
9. heinä	11.45	56,3	30,9	0,9	11,9	5,0	0,0	Mitattu reaktorista, metaanihuippu 59,4, lisätty n. 250 ml
12. heinä	13.35	54,4	32,0	1,0	12,6	11,0	0,0	Mitattu reaktorista, ei lisätty
13. heinä	13.30	55,7	29,8	1,0	13,6	11,0	0,0	Mitattu reaktorista, ei lisätty
14. heinä	14.25	57,5	28,6	1,0	12,8	6,0	0,0	Mitattu reaktorista, metaanihuippu 61,6 lisätty n. 250 ml, päästetty ylipaine pois
16. heinä	13.45	62,0	25,9	1,1	10,2	4,0	0,0	Mitattu reaktorista, metaanihuippu 66,3, ei lisätty
19. heinä	8.40	67,8	20,7	1,1	10,3	0,0	0,0	Mitattu reaktorista, metaanihuippu 71,9, purettu
Panoskoe								
PVM	klo	CH₄	CO₂	O₂	BAL	NH₃	H₂S	Huomioita
1. heinä	12.30	14,7	25,3	1,7	58,1	0,0	0,0	Mitattu suoraan pullosta, happea pääsee vähän mukaan, ravisteltu, pussi luultavasti vuotaa
2. heinä	14.05	23,4	29,2	1,1	46,1	6,0	0,0	Mitattu suoraan pullosta, ravisteltu
5. heinä	12.10	36,6	37,5	1,0	24,9	10,0	0,0	Mitattu suoraan pullosta, ravisteltu
6. heinä	12.35	39,6	36,2	1,2	22,8	7,0	0,0	Mitattu suoraan pullosta, metaanihuippu oli 41,9, ravisteltu
7. heinä	12.05	43,7	33,0	1,3	21,9	6,0	0,0	Mitattu suoraan pullosta, metaanihuippu oli 46,5, ravisteltu
8. heinä	11.55	47,7	31,0	1,2	19,9	1,0	0,0	Mitattu suoraan pullosta, metaanihuippu 50,4, ravisteltu
9. heinä	11.30	50,1	29,3	1,1	19,3	4,0	0,0	Mitattu suoraan pullosta, metaanihuippu 52,0, ravisteltu
12. heinä	13.40	57,5	27,2	1,1	14,0	14,0	0,0	Mitattu suoraan pullosta, metaanihuippu 60,9, ravisteltu
13. heinä	13.35	57,6	26,5	1,1	14,7	7,0	0,0	Mitattu suoraan pullosta, metaanihuippu 61,5, ravisteltu
14. heinä	14.30	57,9	26,2	1,1	14,4	10,0	0,0	Mitattu suoraan pullosta, metaanihuippu 61,7, ravisteltu
16. heinä	13.50	60,7	24,9	1,1	13,3	3,0	0,0	Mitattu suoraan pullosta, metaanihuippu 63,9, ravisteltu
19. heinä	8.30	62,4	23,7	1,1	12,7	0,0	0,0	Mitattu suoraan pullosta, metaanihuippu 67,3, ravisteltu, purettu

Näyte:	Biojättemurška Savonian mobiilin biokaasulaitoksen kokeesta, ympä																			
Näytteenottopvm:	7.7.2010																			
Näytteenottotapa:	-																			
Näytteen säilytys:	Pakastettuna																			
Kokeen tyyppi:	Mesofiilinen panoskoe																			
Näytenuumerot:	9 ja 10																			
Kaasuanalysaattori	Geotechnical instruments GA2000 plus																			
Aloitusaika:	19.7.2010 noin klo 15.00																			
Lopetusaika:																				
Kokeen kesto:																				
Huomioita:	Kaasun keräys aloitettu 20.7.2010 noin klo 15																			
Mittauspäiväkirja																				
Pvm	Klo	H kokeen alusta	Lämpötila/°C	Ilmanpaine/hPa	Näyte 9							Näyte 10							Huomioita	
					CH ₄ /%	CO ₂ /%	O ₂ /%	BAL/%	NH ₃ /ppm	H ₂ S/ppm	Tilavuus/l	CH ₄ /%	CO ₂ /%	O ₂ /%	BAL/%	NH ₃ /ppm	H ₂ S/ppm	Tilavuus/l		
20.7.	n. 14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31,1	58,5	0,9	9,2	0	0	-	Tämä tulos muistiin lähinnä itselle.
21.7	14.00	47	-	-	37,2	53,9	0,7	8,2	302	>	4,8	38,3	52,2	0,7	8,8	124	>	5	> tarkoittaa mittalaitteen sisäisen H ₂ S mittakennon rajan ylitystä eli kaasussa on tällöin yli 200 ppm H ₂ S	
23.7	14.05	95	26,5	1 016,3	55,3	38,4	0,1	5,8	231	>	7	54,4	39	0,3	6,2	72	>	6,5		
26.7	13.05	166	27,2	1 014,6	57,5	28,4	1,7	12,5	50	136	5,9	55,7	27,2	2	14,8	63	>	8		
30.7	10.15	259	26,9	1009,5	57,4	29,3	1,3	12,1	12	11	4	59,3	28,4	1	11,4	28	39	5,2		
2.8	11.45	333	25,9	1014,5	57,4	26,6	2,4	13,6	33	0	0,7	59,6	27,2	1,7	11,5	9	0	2,7		
6.8	12.00	429	26,9	1020,9	57,1	24,5	2,7	15,6	16	0	2,6	59	24	2,3	14,6	16	0	1,9		
9.8	12.15	501	28,3	1009,5	55,6	20,8	3,8	19,8	5	0	0,7	57,3	21,5	3	18	0	0	0,9	Metaanipitoisuudet laskevat	
17.8	8.00-9.00																		Pulloon vaihdettu letkut silikonista PVC:hen	
20.8	11.30	765	21,8	1013,9	44,7	30,8	2,6	21	0	0	0,7	55,5	27,9	2,3	14,2	0	0	2,7		
27.8.	11.00	933	21,5	1007,2	43,6	36,4	1,9	18	8	6	1,23	54,4	39	0	6,4	0	8	1,56		

Kokeen tiedot

Näyte: Biojättemurska Savonian mobiilin biokaasulaitoksen kokeesta, ympäri
 Näytteenottopvm: 7.7.2010
 Näytteenottotapa: -
 Näytteen säilytys: Pakastettuna
 Kokeen tyyppi: Mesofiilinen jatkuvatoiminen koe protolaitteistolla
 Näyttenumerot: -
 Kaasuanalysaattori: Geotechnical instruments GA2000 plus
 Aloitusaika: 21.7.2010 klo 13.00
 Lopetusaika: 7.9.2010 klo 9.00
 Kokeen kesto: 48 vrk
 Jatkuvatoimisuus: Lisäys ja poisto yhteensä 250 g kerralla, josta n. 11 g biojätettä ja 239 g ympäriä (sama suhde kuin täytettäessä), suoritetaan n. 3,5 vrk:n välein.
 Huomioita: Koko massan tasainen lämpeäminen 35 asteeseen kesti noin vuorokauden

Mittauspäiväkirja

Pvm	Klo	H kokeen alusta	Lämpötila/°C	Ilmanpaine/hPa	Näyte							Huomioita
					CH ₄ /%	CO ₂ /%	O ₂ /%	BAL/%	NH ₃ /ppm	H ₂ S/ppm	Tilavuus/l	
22.7	9.35	20,5	25	1 011,5	22,5	55,8	1,8	19,8	107	>	13	
23.7	7.30	45,5	25,7	1 008,2	37,1	55,1	0,7	7,2	146	>	12	
26.7	14.15	124,5	27,1	1 014,4	57,3	34	0,7	8,2	87	>	12	Lisätty
					60,9	31,4	0,2	7,2	104	>	11	
					56,2	31,3	1	11,3	106	>	13	Havaittavat erot arvoissa vaikka ovat olleet samassa reaktorissa kiinni
30.7	11.00	217,5	26,9	1009,5	58,3	30,7	1	9,9	42	>	12,9	Lisätty
2.8	12.15	290,5	25,9	1014,5	51,6	31,8	1,8	14,8	21	33	5,6	
					52,4	22,2	4,2	21,1	36	74	2,6	Lisätty
6.8	12.50	387,5	26,9	1020,9	58,4	25,7	2,3	13,5	42	89	6	Lisätty
												Lisätty, vikavirtakytkin lauennut, lämmitysmaton virta katkennut, lämpötila
9.8	12.30	459,5	28,3	1009,5	56,8	18,7	4,2	20,2	28	36	2	reaktorissa laskenut 30,3:een
13.8	12.00	555	25,1	1025,8	59,8	27,7	2,6	10	0	28	4,8	Lisätty
16.8	12.10	627	23,3	1023,4	58,7	38	0,3	2,9	0	156	4,5	Lisätty
20.8	12.00	723	21,8	1013,9	60,3	36,6	0,1	2,9	7	>	5,3	Lisätty
23.8	13.00	796	21,4	993,8	61,6	35,2	0,1	3	16	>	3,8	Lisätty
1.9	10.30	1009	18,8	1011,6	64	33,1	0,4	2,5	7	>	7,6	Lisätty

**KÄYTTÖOHJEKIRJA: JATKUVATOIMINEN
BIOKAASULAITTEISTO**
