

Tero Willman

Laboratoriomittakaavan biokaasureaktorin käyttöönotto ja testaus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikan koulutusohjelma

Insinööryö

16.12.2012

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Tero Willman Laboratorion mittakaavan biokaasureaktorin käyttöönotto ja testaus 30 sivua + 1 liite 16.12.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kemiantekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Ympäristötekniikka
Ohjaajat	yliopettaja, Pekka Lehtonen laboratorioinsinööri, Marja-Leena Åkerman
<p>Biokaasureaktoreiden ja biokaasun käyttö kasvaa maailmalla ja biokaasun potentiaali energiatalouteen kuin myös liikennepolttoaineena kasvaa jatkuvasti. EU on asettanut tavoitteen saada 20 % energian kokonaiskulutuksesta pelkästään uusiutuvista luonnonvaroista vuoteen 2020 mennessä sekä pienentää samalla kasvihuonekaasuja 20 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Biokaasulla saattaa olla tämän tavoitteen saavuttamisessa melko suuri merkitys.</p> <p>Tässä insinööriyössä paneuduttiin laboratoriomittakaavan biokaasureaktorin käyttöönottoon ja testaukseen. Työssä selvitettiin, saadaanko reaktori tuottamaan biokaasua halutulla tavalla ja miten kaikki siihen liittyvät anturit ja instrumentit toimivat. Työssä kuvataan yleisimpiä biokaasuprosesseja, miten biokaasu muodostuu ja mitä se on, sekä prosessien hallintaan liittyviä asioita ja prosessiin liitetyn automaatiojärjestelmän toiminta pääpiirteittäin.</p> <p>Kokeellisia mittaustuloksia saatiin vähän johtuen antureiden nesteliitosten tukkeutumisesta biomassalla. Biokaasua saatiin kuitenkin tuotettua jonkin verran lisäämällä biokaasureaktoriin kasviperäistä syötettä. Kaasunmuodostus olisi voinut olla runsaampaa, mutta tämä riitti todistamaan, että reaktorilla voidaan tuottaa biokaasua.</p> <p>Parannusehdotuksia antureiden nesteliitosten tukkeutumisen estoksi voisi olla jonkinlainen tiheä suojaverkko, joka suojaisi antureiden nesteliitoksia tukkeutumiselta. Toinen ehdotus voisi olla jonkinlainen mekaaninen puhdistin suoraan reaktorin sisälle. Kaasunvirtausmittari olisi hyvä asentaa seuraamaan kaasun muodostusta.</p>	
Avainsanat	biokaasu, mädätys, reaktori

Author Title Number of Pages Date	Tero Willman The Introduction and Testing of a Laboratory Scale Biogas Reactor 30 pages + 1 appendix 16 December 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineering
Specialisation option	Environmental Technology
Instructors	Pekka Lehtonen, Principal Lecturer Marja-Leena Åkerman, Laboratory Engineer
<p>The usage of biogas and biogas reactors has been growing all around the world and their potential for energy economy and transportfuel is increasing constantly. The EU has placed a goal to achieve 20 % of all energy consumption by using renewable resources by 2020, as well as at the same time decrease greenhouse gases by 20 % from 1990's level till year 2020. Biogas might have a huge influence on this achievement.</p> <p>The purpose of this final project was to introduce and test laboratory scale biogas reactor. The reactor was tested for producing biogas as intended and also the instruments and sensors in the reactor were tested. The thesis explains common biogas processes, how the biogas forms, and what this biogas is. Also some things concerning how to control the biogas reactor and how the automation system connected to the process works.</p> <p>The results were very limited because liquidbonds of the probes were blocked by biomass. Biogas was produced in small amounts by adding feed from plants into the biogasreactor. There could have been much more biogas production, but this was enough to know that the reactor is working and producing biogas.</p> <p>I came up with a few improvements. There should be some wiremesh to protect liquid-bonds of the probes or some mechanical cleanser that cleans the probes inside the reactor. There should also be a gasflow-meter that shows the formation of gas which comes from the reactor.</p>	
Keywords	biogas, digestion, reactor

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Biokaasu	2
2.1	Raaka-aineet	3
2.2	Biokaasun hyödyntäminen	4
3	Anaerobinen hajotusprosessi ja biokaasun kehitys	5
3.1	Anaerobinen hajoaminen	5
3.2	Hydrolyysi	5
3.3	Asidogeneesi	6
3.4	Asetogeneesi	6
3.5	Metanogeneesi	7
4	Biokaasuprosessityypit ja olosuhdetekijät	8
4.1	Psykrofiilinen prosessi	8
4.2	Mesofiilinen prosessi	8
4.3	Termofiilinen prosessi	9
4.4	Märkä- ja kuivaprosessit	9
4.5	Jatkuva- ja panostoimiset prosessit	11
4.6	Yksi- ja monivaiheiset prosessit	12
5	Biokaasuprosessin hallinta	12
5.1	Kuormitus	12
5.2	Inhibitiot	13
5.3	Viipymäaika	13

5.4	Alkaliteetti	13
6	Laitteisto ja instrumentit	14
6.1	Biokaasureaktorin anturointi	14
6.2	Redox-anturi	14
6.3	pH-anturit	15
6.4	Lämpötila-anturit	17
6.5	Paine-anturit	18
6.6	Sekoitin	19
6.7	Lämmitin ja virtalähde	19
7	Automaatiojärjestelmä	20
7.1	Prosessiasema	20
7.2	Anturinvahvistimet	21
8	Biokaasureaktori	23

9	Biokaasureaktorin testaus	25
9.1	Alkutestaus	25
9.2	Ensimmäinen koe	26
9.3	18.1.2012	28
9.4	19.1.2012	28
9.5	23.1.2012	28
9.6	24.1.2012	28
9.7	25.1.2012	29
10	Johtopäätökset	30
11	Parannusehdotukset	30
	Lähteet	31

Liitteet

Liite 1. Bioreaktorin seuranta-kaavake

1 Johdanto

Biokaasureaktoreiden käyttö on lisääntynyt Suomessa viime vuosina. Vuonna 2009 laitoksia oli noin 35, ne ovat jätevedenpuhdistuslaitoksia, yhteiskäsittelylaitoksia, maatilalaitoksia ja koelaitoksia. Suunnitteilla vuonna 2009 oli noin 14 uutta laitosta. Biokaasun käyttö mautiloilla on kannattavaa, koska syötteet tulevat omasta takaa ja syötteellä pystyttäisiin saamaan mahdollisesti korkea oma-varaisuusaste energian suhteen. Lämmön- ja sähköntuotantoon pystyttäisiin käyttämään tuotettua biokaasua ja samalla sitä voitaisiin käyttää ajoneuvoihin ja työkoneisiin. Biokaasuprosessin jäännöstuotteet pystyttäisiin käyttämään lannoitteena. Alkukustannukset ovat todennäköisesti suurin este uusien biokaasulaitosten perustamiselle. [3]

Euroopan unionin tavoitteena on nostaa uusiutuvien energialähteiden osuus energian tuotannossa 20 % vuoteen 2020 mennessä. Myös kasvihuonekaasujen määrää tulisi vähentää 20 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Biokaasun ympäristöystävällisyys puhuu puolestaan, koska biokaasun palaessa siitä syntyy vain hiilidioksidia ja vettä sekä minimaalisesti hiukkaspäästöjä. Biokaasussa on paljon potentiaalia vaihtoehtoiseksi energiantuotantomuodoksi, koska toistaiseksi sitä hyödynnetään melko vähän. Jatkuva kehitystyö biokaasun tuotantomenetelmissä ja käyttökohteissa avaa uusia ovia. [2, 3]

Julkisen liikenteen käyttövoima Suomessa voitaisiin periaatteessa hoitaa suurelta osin biokaasulla. Teoriassa biokaasun käytöllä voitaisiin mahdollistaa ainakin 10 % Suomen kaikesta polttoaineen kulutuksesta, jos jakeluverkosto tulisi kaikille saataville. Varsinkin ympäristönäkökulmasta katsottuna tämä olisi todella hyvä asia, ja fossiilisen öljyn tuontia voitaisiin vähentää. [3]

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli ottaa käyttöön ja testata valmiiksi rakennettu laboratoriomittakaavan biokaasureaktori. Työssä testattiin kaikki siihen asennetut instrumentit ja anturit ja selvitettiin, saadaanko reaktori tuottamaan kaasua halutulla tavalla. Työssä keskityttiin kuvaamaan yleisiä biokaasuprosesseja, mitä biokaasu on, miten biokaasu ylipäänsä muodostuu ja millainen on reaktoriin liitetyn automaatiojärjestelmän toiminta pääpiirteittäin.

2 Biokaasu

Biokaasu on kaasuseos, joka koostuu metaanista 55–70 % (CH₄), hiilidioksidista 30 - 45 % (CO₂) ja hyvin pienistä pitoisuuksista rikkiyhdisteitä. Se muodostuu orgaanisen aineksen hajoamisen yhteydessä anaerobisissa olosuhteissa eli hapettomissa olosuhteissa. Biokaasuprosessin jäännöstuotteena saadaan hyvää lannoitetta. Biokaasun koostumus riippuu paljon siitä, millaista ainesta hajotetaan. Aineksen sisältäessä paljon esim. hiilihydraatteja (glukoosi) tai polymeerejä (selluloosa) metaanin tuotto on vähäistä. Aineksen sisältäessä taas paljon rasvoja, metaanin tuotto nousee korkeaksi. Metaani on väritön ja hajuton kaasu sekä yksinkertainen hiilivety ja alkaani. Biokaasu on uusiutuva luonnonvara. Biokaasua käytetään lämmön- ja sähköntuotannossa ja ajoneuvojen polttoaineena.

Gas	%
Methane (CH ₄)	55 – 70
Carbon dioxide (CO ₂)	30 – 45
Hydrogen sulphide (H ₂ S)	} 1 – 2
Hydrogen (H ₂)	
Ammonia (NH ₃)	
Carbon monoxide (CO)	trace
Nitrogen (N ₂)	trace
Oxygen (O ₂)	trace

Kuva 1. Biokaasun koostumukseen vaikuttaa biokaasuprosessiin käytetty raaka-aine. [7]

2.1 Raaka-aineet

Biokaasun tuotantoon käytetään monia erilaisia raaka-aineita. Maataloudesta peräisin tulevaa eläinten lantaa käytetään paljon. Tällä hetkellä lannasta käytetään vain n. 4-5 % biokaasun tuotantoon, käyttöaste ei siis ole suuri. Omavaraisen maatilojen yleistyessä mahdollisesti käyttöaste saadaan nostettua korkeammaksi. Biokaasun ehkä suurimpana raaka-aineena käytetään jätevedenpuhdistamoilta tullutta lietettä. Muita hyviä lähteitä ovat peltobiomassat, eritelty kotitalousjäte (biojäte) ja teurastamojätteet, ja vanhoilta kaatopaikoilta voidaan myös pumpata biokaasua. Kaatopaikoilta pumpattua kaasua käytetään yleensä kaatopaikan omiin energiatarpeisiin, kuten sähkön ja lämmön tuotantoon ja työkonoiden polttoaineeksi. Luonnossa biokaasua muodostuu kosteikoissa, eläinten suolistoissa ja vesistöjen sedimenttikerroksissa. [8]

Taulukko 1. Eri biomassojen kaasuntuotanto ja metaanin osuus.

<i>Biomassa</i>	<i>m³ biokaasu/ kg kuivapaino</i>	<i>Metaani %</i>
Sian lanta	0,37	65
Lehmien lanta	0,24	65
Minkkien lanta	0,4	65
Karsinaheinät	0,24–0,37	65
Kanan lanta	0,4	65
Leijuntaliete jätevedenpuhdistamo	0,41–0,86	70
Elintarvikejäte (liha)	0,49–0,57	65
Ensisijainen liete	0,38	65
Biologinen liete	0,11–0,23	65
Kotitalousjäte (biojäte)	0,43	65
Ruoho	0,57	55

2.2 Biokaasun hyödyntäminen

Biokaasulle löytyy useita käyttökohteita kuten esimerkiksi liikennekäyttöön, kotitalouksiin, lämmön- ja sähköntuotantoon sekä lannoitteeksi. Lämmöntuotannossa hyötysuhde ylittää noin 90 %:iin. Sähkön ja lämmön yhteistuotannossa eli CHP:ssä (Combined heat and power) se ylittää noin 85 %:iin. Liikennepolttoaineeksi jalostaessa biokaasusta saadaan korkein jalostusarvo edellä mainituista. Ajoneuvoihin käytetystä biokaasusta poistetaan hiilidioksidi ja epäpuhtaudet. Biokaasuprosessissa käytetyn raaka-aineen jäljelle jäävät ravinteet voidaan hyödyntää. Reaktoriin jäljelle jäävä liete kompostoidaan ja täytetään esimerkiksi puutarhamultana. Anaerobinen käsittely tappaa noin 99 % taudinaiheuttajista lietteessä, joten lietteen käsittely on suhteellisen turvallista. [6]



Kuva 2. Biokaasun tuotanto ja käyttökohteet [12]

	<i>Tonnia</i>	<i>Puhdistettua kaasua</i>	<i>Henkilöautoja</i>	<i>Takseja</i>	<i>Busseja</i>
<i>Yhdyskuntalietettä</i>	20 000	680 000	330	80	20
<i>Lantaa</i>	20 000	295 000	145	35	10
<i>Vihreää massaa</i>	10 000	595 000	280	70	20
	50 000	1 570 000	755	185	50

Kuva 3. Ajoneuvojen lukumäärä, joiden vuosittaisen kulutuksen voisi biokaasua käyttäen hyödyntää.[12]

3 Anaerobinen hajoaminen ja biokaasun muodostuminen

3.1 Anaerobinen hajoaminen

Anaerobista eli hapettomissa olosuhteissa tapahtuvaa orgaanisen aineksen hajoamista sanotaan mädätysprosessiksi. Anaerobinen hajoamisprosessi tapahtuu monien eri mikrobien yhteistoiminnan tuloksena. Näiden mikrobien hajottaessa orgaanisen aineksen ravinteita syntyy biokaasua.

Biokaasun muodostuminen koostuu neljästä vaiheesta: hydrolyysistä, asidogeneesistä, asetogeneesistä ja metanogeneesistä.

3.2 Hydrolyysi

Pitkäketjuiset molekyylit, kuten proteiinit, hiilihydraatit ja rasvapolymeerit hajoavat monomeereiksi eli pienemmiksi molekyyleiksi hydrolyysin aikana. Erikoistuneet bakteerit tuottavat tiettyjä entsyymejä, jotka katalysoivat hajoamisprosessia. Prosessi on solun ulkopuolinen, joten se tapahtuu bakteerisolun ulkopuolella sijaitsevassa nesteessä. [7]

Hydrolyysi tapahtuu proteiineille, tärkkelykselle ja yksinkertaisille sokereille nopeasti. Polymeeriset hiiliketjut hydrolysoituvat hitaammin. Selluloosa ja hemiselluloosa ovat polysakkarideja, jotka hydrolysoituvat nopeasti tiettyjen bakteerien

avulla. Prosessin kulkua hidastaa vain ligniini, polyfenoli, joka toimii kasveissa kuitujen sidosaineena. Selluloosa ja hemiselluloosa ovat kasvien solukossa pakkautuneena ligniinin sisälle. Bakteerien pääsy sinne on siis vaikeaa, sen takia orgaanisen aineksen hajoamisprosessi monimutkaisissa molekyyleissä, metaaniksi pysyy 30–60 % tienoilla. Ligniini ei pysty hydrolysoitumaan anaerobisissa olosuhteissa. Tämän takia biokaasun tuotantoon kannattaa valita siihen sopivaa ravintoa eli syötettä.[7]

3.3 Asidogeneesi

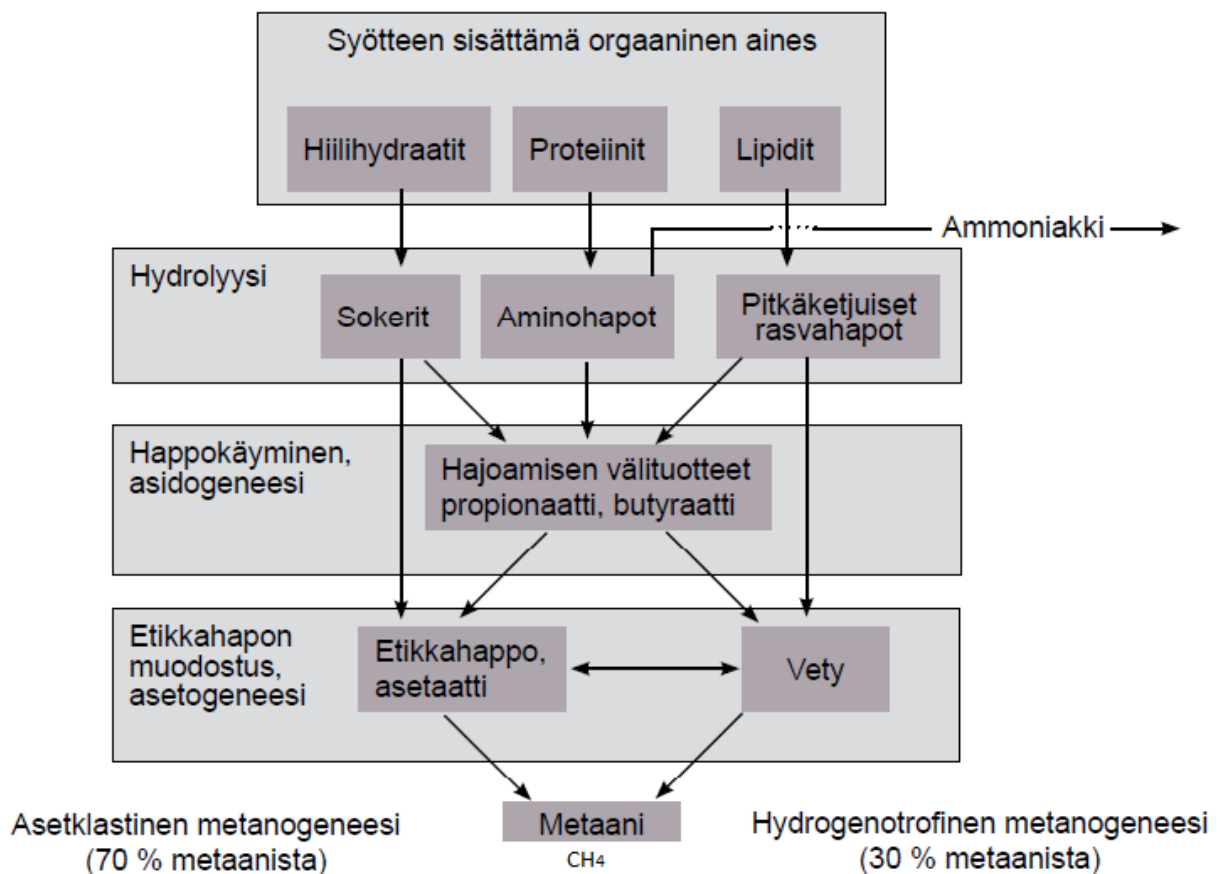
Asidogeneesissa eli happokäymisessä valtaosa, noin 50 %, monomeereistä ja pitkäketjuisista rasvahapoista hajoaa etikkahapoksi. Toisina tuotteina tulee noin 20 % hiilidioksidia ja vetyä. Loput 30 % hajoaa lyhytketjuisiksi rasvahapoiksi. Pitkäketjuisissa rasvahapoissa ja lyhytketjuisissa rasvahapoissa on erona se, että pitkäketjuisissa on enemmän kuin 6 hiiliatomia, kun taas lyhytketjuisissa on vähemmän kuin 6. Näiden rasvahappojen tulisi olla tasapainossa prosessissa, koska lyhytketjuisten määrän noustessa prosessin olosuhteet muuttuvat liian happamiksi. Bakteereilla, jotka hajottavat lyhytketjuisia rasvahappoja, on hidaskasvuvauhti. Tästä johtuen tasainen hajotusprosessi on kriittinen ja monesti rajoittava tekijä biokaasun tuotannossa.[7,8]

3.4 Asetogeneesi

Asetogeneesissä eli etikkahappokäymisessä etikkahappoa ja vetyä tuottavat asetogeeniset bakteerit hajottavat lyhytketjuisia rasvahappoja hiilidioksidiksi, vedyksi ja asetaatiksi. Jos tässä vaiheessa edellä mainituissa tuotteissa ei ole kolmea tai enempää hiiliatomia, niin bakteerit eivät pysty toimimaan. Asetogeenisten bakteerien kasvu on melko hidasta, joten se rajoittaa tätä vaihetta. [4, 8]

3.5 Metanogeneesi

Metanogeneesi eli metaanikäyminen toimii viimeisenä vaiheena metaanin kehityksessä. Tämän mahdollistavat metanogeenit, jotka ovat metaania tuottavia arkkibakteereja. Näitä kyseisiä bakteereita on kahta tyyppiä, ne, jotka hajottavat etikkahapon metaaniksi, ja toiset bakteerit, jotka tuottavat hiilidioksidista ja vedystä metaania. Suotuisissa olosuhteissa metaanin tuotto tapahtuu siten, että 70 % tulee etikkahaposta ja loput tulee hiilidioksidista ja vedystä. Tähän vaiheeseen kuuluvilla metanogeneeneillä on hitain kasvuvauhti koko prosessissa, joten se rajoittaa aina prosessin läpivientä ja sitä, kuinka paljon syötettä voidaan hajottaa.[7, 8]



Kuva 4. Orgaanisen aineksen hajoamisen eri vaiheet ja niiden tuotteet.

4 Biokaasuprosessityypit ja olosuhdetekijät

Biokaasuprosessi etenee yleensä samalla tavalla riippumatta prosessityypistä:

- materiaalin vastaanotto ja varastointi
- esikäsittely (murskaus)
- hygienisointi
- reaktorikäsittely (mädätys)
- jälkikäsittely (neste-kiinteä erotus)
- jäännöstuotteen käsittely (mahdollinen hygienisointi)
- biokaasun puhdistus ja käyttö.

Biokaasuntuotantoon on monenlaisia eri prosessityyppejä, niihin vaikuttavat monet eri muuttujat. Yleisimmät prosessityypit ovat yksi- tai monivaiheisia, panos- tai jatkuvatoimisia ja märkä- ja kuivaprosesseja. Mutta prosessit luokitellaan myös lämpötilan mukaan psykrofiiliseksi, mesofiiliseksi tai termofiiliseksi prosesseiksi.[8]

4.1 Psykrofiilinen prosessi

Psykrofiilisessä prosessissa lämpötila pyritään pitämään 10–15 °C:ssa. Tämä on suosittu ratkaisu lämpimissä maissa, koska erillistä reaktorin lämmitystä ei juuri tarvita. Kustannukset jäävät siltä osin pieneksi. Toisaalta taas käyttölämpötila on niin alhainen, että mikrobien toiminta on melko hidasta, mikä taas johtaa pitkiin käsittelyaikoihin ja suurempiin reaktoreihin, mikä nostaa taas kustannuksia suuremmaksi.[8]

4.2 Mesofiilinen prosessi

Mesofiilisessä prosessissa lämpötila on 15–45 °C. Tähän insinööriyöhön valittiin tämä lämpötila-alue. Optimaalinen lämpötila-alue prosessille on 35–38 °C:n paikkeilla. Tämä on yleisesti käytetyin prosessi, koska mikrobitoiminta on suhteellisen nopeaa, helppo käynnistää ja prosessi pysyy hyvin vakaana. Lämmityskustannukset pysyvät tässä myös melko pieninä. Mutta tässä

prosessissa jäljelle jäävä mädätysjäännös ei ole niin hygieenistä kuin termofiilissä prosessissa, koska alhainen lämpötila ei tuhoa kaikkia patogeenejä. Jälkikäsitteily on tarpeellista.[8, 4]

4.3 Termofiilinen prosessi

Termofiilisen prosessin käyttölämpötila on 50–75 °C, mutta optimilämpötila on 50–60 °C bakteerien toimimisen kannalta. Tässä prosessissa käsiteltävän aineen hajoaminen on paljon nopeampaa kuin edellisissä, mikä tarkoittaa pienempää reaktoria ja alhaisempia rakennuskustannuksia. Prosessin lämpötila on sen verran korkea, että myös hygieenisyys on parempi ja patogeenitaso jää silloin alhaisemmaksi. Termofiilisessä prosessissa biokaasua saattaa muodostua enemmän kuin edellä mainituissa, joten biokaasun tuotanto voi olla myös suurempi, vaikka lämmityskustannukset olisivat korkeammat.[8,7]

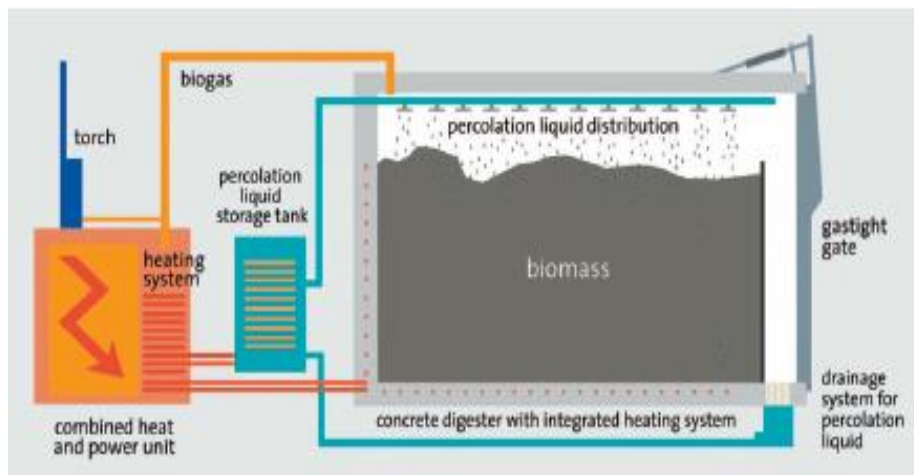
Eräs haittapuoli tästäkin prosessista löytyy, koska se on paljon herkempi pH:n ja lämpötilan muutoksille ja inhibiittorien vaikutuksille. Lämpötilan ja pH:n noustessa ammoniakkin muodostus kasvaa, mikä inhiboi metaanin tuotantoa. Prosessin kyky hajottaa orgaanista ainesta nopeammin voi johtaa liukoisen aineen ja rasvahappojen liikaan muodostukseen, joka taas inhiboi metaanin tuottoa.[7]

4.4 Märkä- ja kuivaprosessit

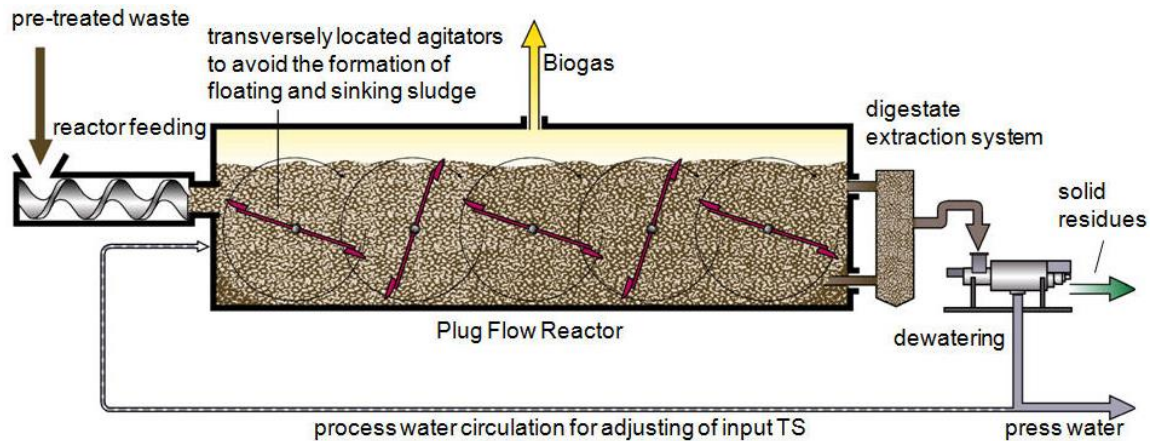
Märkäprosesseissa, kuten nimestäkin voi päätellä, kuiva-ainepitoisuus on suhteellisen alhainen, noin 10–13 % luokkaa. Märän aineksen sekoittaminen ja pumppaus on tämän takia helppoa. Aineksen sekoittaminen voi tapahtua eri tavoilla, lietteen kierrätyksen, kaasukuplien tai mekaanisten sekoittimien avulla. Tällä saadaan mahdollistettua mikrobien leviäminen tasaisesti, lämpötilaerojen tasoittaminen ja biokaasukuplien vapauttaminen käsiteltävästä materiaalista. Märkäprosessien etuna on niiden helppo hallittavuus ja automatisointi, mutta

niiden kaasunkehitys jää yleensä alhaisemmaksi kuin kuivaprosesseissa, johtuen niiden suuresta nestepitoisuudesta. Nestepitoisuutta voidaan kuitenkin muuttaa sekoittamalla vähän kuiva-ainetta syötteeseen, joka laitetaan reaktoriin.[8]

Kaasuntuotannon kasvattaminen kuiva-ainepitoisuuden nostamisella tarkoittaa kuivaprosessia, jossa kuiva-aineen pitoisuus on noin 20–40 %. Kuivaprosessit voivat olla yksi- tai monivaiheisia, jatkuva- tai panostoimisia ja sekoittimella varustettuja tai ei. Tulppavirtausmenetelmää käytetään yleensä jatkuvatoimisessa kuiva-aineprosessissa, ja panosperiaatteella toimivat ovat yleensä suotopetiprosesseja. Kaikissa kuivaprosesseissa tärkeää on kuitenkin käsitellyn materiaalin kierrättäminen reaktoriin. Prosessin käsittelyjäännöstä ja prosessista kerättyä nestettä kierrätetään prosessin alkupäähän, koska siinä on valmiiksi soveltuvaa bakteerimassaa syöteraaka-aineiden joukkoon. Metaanin tuotto on suurempi märkäprosesseihin nähden, ja lämmityskustannukset ovat pienemmät, koska nesteen määrä on pienempi. Tässäkin prosessissa on huonot puolensa, sillä puskurointikyky on huonompi kuin märkäprosessissa ja prosessi vaatii enemmän valvontaa ja prosessin ohjausta, mikä taas maksaa enemmän.[8,4]



Kuva 5. Panostoiminen kuivaprosessi.



Kuva 6. Jatkuvatoiminen ja yksivaiheinen kuivaprosessi, tulppavirtausreaktori. Biokaasu kerätään reaktorin yläpuolelta talteen. [1]

4.5 Jatkuva- ja panostoimiset prosessit

Tähän insinööriyöhön valittiin panostoiminen prosessi, koska se on helppo toteuttaa laboratorio-olosuhteissa, eikä tarvitse jatkuvaa tarkkailua.

Panostoimisissa reaktoreissa reaktori täytetään ja tyhjenetään tasaisin väliajoin, muutaman viikon välein riippuen reaktorista. Panosprosessi toimii yleensä vähällä ylläpidolla, mutta tyhjentämisessä ja biomassan lisäyksessä on sitten se kaikkein suurin työ. Syötteen lisäyksen jälkeen uusi panos ottaa oman aikansa, ennen kuin prosessi lähtee kunnolla käyntiin, siksi panosreaktoreita tehdään kerralla useampia. Jatkuvatoimisissa reaktoreissa käsiteltyä materiaalia pumpataan ulos ja sisään säännöllisesti siten, että tilavuus pysyy kokoajan samana. Tämä prosessi on hyvä tasaisen kaasuntuoton suhteen ja se mahdollistaa syötön automatisoinnin. [8]

4.6 Yksi- ja monivaiheiset prosessit

Anaerobinen hajoaminen on monivaiheinen prosessi. Yleensä biokaasun tuotannossa pyritään erittelemään nämä eri vaiheet omiin reaktoreihin. Tässä insinööriyössä käytetään kaksivaiheista prosessia ja suurimmassa osassa biokaasureaktoreista käytetään kaksi- tai useampivaiheista prosessia. Saksassa 2/3 uusista biokaasulaitoksista käyttää monivaiheista prosessia. Kaksivaiheisessa prosessissa hydrolyysi ja asidogeneesi toteutetaan ensimmäisessä reaktorissa. Toisessa reaktorissa olosuhteet tehdään otollisiksi, jotta ensimmäisessä reaktorissa syntyneet biomassan hajoamistuotteet muuttuvat mahdollisimman tehokkaasti metaaniksi. [8,4]

5 Biokaasuprosessin hallinta

5.1 Kuormitus

Reaktoriin liittyvä kuormitus tarkoittaa syötteen orgaanisen aineksen massaa reaktorin tilavuusyksikköä ja vuorokautta kohden. Kuormitus esitetään yleisesti $\text{kgVS}/\text{r}\cdot\text{m}^3/\text{d}$. VS(Volatile solid) tarkoittaa orgaanista ainetta; $\text{r}\cdot\text{m}^3$ tarkoittaa reaktorin tilavuutta ja d tarkoittaa päivää. Tyypillisesti kuormitus vaihtelee välillä 3-9 $\text{kgVS}/\text{r}\cdot\text{m}^3/\text{d}$, riippuen kuitenkin reaktorin koosta. Prosessin pH:n vaihtelut johtuvat myös orgaanisesta kuormituksesta. Kuormitukseen muutoksia voivat aiheuttaa viipymäajat ja syöteseokset. Jos syötön orgaaninen kuormitus kasvaa liian suureksi, se lisää haponmuodostajabakteerien määrää ja siten rasvahappojen pitoisuuden nousua. Tämä laskee taas pH:ta, joka aiheuttaa metaania tuottaville bakteereille epäedullisempia olosuhteita ja metaanin tuotto vähenee. Biomassan hydrolyysin ja sen aiheuttaman happamoitumisen johdosta pH on suunnilleen 4,5 – 6,3. Reaktorin tärkeimmän reaktion eli metaanin tuoton aikana biomassan pH:n tulisi pysyä 6,8 – 8,0 paikkeilla.[3]

5.2 Inhibitiot

Inhibitio tarkoittaa haittavaikutusta, joko kemiallista tai fysikaalista. Sen johdosta yleensä biokaasun tuotanto tai metaanin pitoisuus laskevat. Mikrobitoiminta inhiboituu syötteen sisältämistä yhdisteistä tai hajotusprosessin aikana syntyvistä tuotteista. Lämpötila, pH ja mahdollinen happi reaktorissa ovat myös tällaisia tekijöitä. Näihin ongelmiin on myös joitain yksinkertaisia ratkaisuja, happotasapainon säätö esim. NaOH:lla, mikrobien sopeuttaminen syötön hidastamisella, inhiboivien aineiden poistaminen tai neutraloiminen toisilla syötteillä. [3]

5.3 Viipymäaika

Syötteen viipymän pituuteen reaktorissa vaikuttavat orgaanisen aineksen määrä (VS), kuiva-aineen määrä (TS), lämpötila, sekoitus ja reaktorin tilavuus. Pidemässä viipymässä biokaasun tuotanto on yleensä parempi, mutta tarpeeksi pitkittyessä lämmitys- sekoituskustannukset taas kasvavat. Yleisesti biokaasulaitoksilla viipymä pyörii noin 12–20 päivän paikkeilla, jos on valittu käyttöön termofiilinen prosessi (55 °C), viipymä voi lyhentyä muutamilla päivillä. Pidemmässä viipymässä on hyvänä puolena biokaasuprosessissa syntyvän jäännöksen hygieenisuus. Normaalisti viipymän voidaan todeta olevan riittävä, kun orgaanisen aineen reduktio (vähenemä) on välillä 50–60 % eikä metaania enää juuri muodostu. [3]

5.4 Alkaliteetti

Alkaliteetti tarkoittaa puskurikapasiteettia, se ilmaistaan yleensä mg CaCO₃/l. Reaktorissa tämän tason tulisi olla noin 3500- 5000 mg CaCO₃/l. Haihtuvat rasvahapot (Volatile Fatty Acids, VFA) muodostuvat haponmuodostusvaiheessa prosessissa. Rasvahappojen pitoisuusmuutoksista pystytään arvioimaan prosessin toimivuutta. Alkaliteetin ja rasvahappojen suhteen avulla pystytään ennakoimaan pH:n vaihteluita ennen kuin pH oikeasti muuttuu. Normaali VFA/Alk-suhde prosessissa on 0,25 tai pienempi, ja silloin prosessi toimii oikein. [3]

6 Laitteisto ja instrumentit

Tässä insinööriyössä käytettiin Metropolia AMK:ssa aiemmin valmistettua laboratoriomittakaavan biokaasureaktoria. Biokaasureaktorin suunnittelusta oli vastaamassa Juha Rautiainen, joka teki automaatiopuolen insinööriyön laitteiston rakentamisesta, suunnittelusta ja siihen tulevasta automaatio-ohjausjärjestelmästä.

6.1 Biokaasureaktorin anturointi

Biokaasureaktoriin oli sijoitettu kaksi lämpötila-anturia, pH-anturi, redox-anturi ja paineanturi. Antureiden tarkoituksena oli seurata prosessin kulkua reaaliajassa, jotta kaikki muutokset pystyttäisiin huomaamaan, ja toimia niiden mukaan halulla tavalla. Toisella lämpötila-anturilla mitattiin hauteen lämpötilaa, ja muut anturit kiinnitettiin kierteillä reaktorin kanteen. Redox- ja pH-antureille oli valmistettu kiinnitysadapterit, jotta ne saatiin kanteen kiinni. Muille antureille oli tehty kierteet suoraan reaktorin kanteen, johon ne saatiin kiinni. Jälkiasennuksena reaktorin kanteen tehtiin uudet kierteet mekaaniselle paine-anturille.



Kuva 7. Kiinnitysadapteri pH- ja redox-antureille.

6.2 Redox-anturi

Kuvassa (8) on biokaasureaktoriin sijoitettu redox-anturi. Redox-anturin tarkoituksena on mitata tässä kyseisessä biokaasureaktoriprosessissa reaktorin liukoisen biomassan redox-potentiaalia.

Potentiaali mitataan millivolteina (mV). Biokaasureaktorin biokaasun tuotto onnistuu tehokkaasti vain anaerobisissa olosuhteissa. Reaktorissa käytettävät substraatit, jotka sisältävät happea, sulfaattia tai nitraattia, voivat muuttaa merkittävästi redox-potentiaalia. Happi, sulfaatti-ioni ja nitraatti-ioni voivat toimia hapettimina, minkä johdosta redox-potentiaali voi muuttua reaktorissa. Jatkuvalle redox-potentiaalin tarkkailulla voidaan ennakoida redox-potentiaalin muutosta, ennen kuin se tapahtuu. [10]



Kuva 8. Redox-anturi

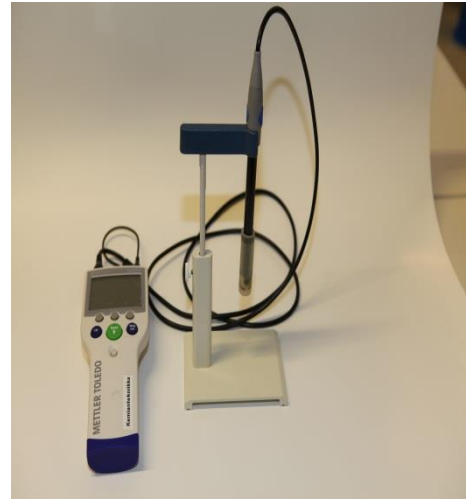
6.3 pH-anturit

Biokaasureaktoriin asennettu pH-anturi on esitetty kuvassa 9, pH-anturilla mitataan reaktorissa olevan biomassan pH:ta. Biomassan pH on tässä työssä oikeastaan tärkein parametri. Biomassasta kaasua synnyttävät bakteerit ovat hyvin herkkiä pH-vaihteluille, ja optimaalinen pH-alue on 6,8-8. Tämän välin alapuolella olosuhteet ovat liian happamat ja yläpuolella taas liian emäksiset. Happamoituminen aiheuttaa inhiboitumista ja metanogeneesi hidastuu tai loppuu kokonaan. Kaasun muodostuminen ei ole enää siis mahdollista. [9]

Reaktoriin lisättiin syötteeksi esihydrolysoitua biomassaa, jonka pH säädettiin optimaalialueelle ennen reaktoriin lisäämistä 2-molaarisella NaOH:lla. Esihydrolysoidun biomassan pH mitattiin tavallisella pH-mittarilla, joka on esitetty kuvassa 10.

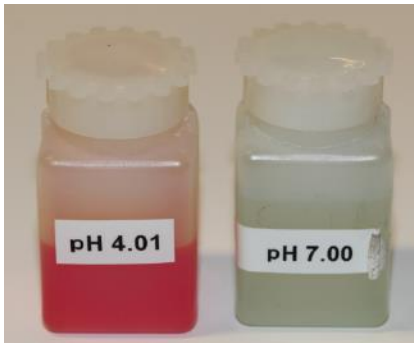


Kuva 9. pH-anturi



Kuva 10. pH-mittari

Tavallinen pH-mittari ja reaktorissa oleva pH-anturi kalibroitiin samoilla kalibrointiliuoksilla. Kalibrointi aloitettiin huuhtelemalla pH-elektrodi ja pH-anturi ionivaihdetulla vedellä. Kalibrointiliuoksia oli kaksi, pH-arvoiltaan 4 ja 7, niitä kaadettiin pieneen dekanterilasiin 50 ml. Aloitettiin kalibrointi upottamalla pH-anturi/elektrodi kokonaan arvoltaan pH 4:n liuokseen ja laittamalla kalibrointiohjelma päälle anturinvahvistimesta tai pH-mittarista. Lukema pysähtyy johonkin tiettyyn pH-arvoon, minkä jälkeen lukema on mahdollista asettaa pH 4:ksi, mikäli se poikkeaa pH-arvosta 4. Tämä sama toistettiin puskuriliuoksella, jonka pH-arvo oli 7. Tätä kutsutaan kaksipistekalibroinniksi. Kalibroinnin voi suorittaa myös yksipiste- tai kolmipistekalibrointina. Yksipistekalibroinnissa käytetään yleensä vain kalibrointiliuosta, joka on pH-arvoltaan 7. Kolmipistekalibroinnissa liuoksia on kolme, pH-arvoiltaan 4, 7 ja 9. Tällä kalibroinnilla taataan suurempi mittaustarkkuus, ja yleensä tämä kalibrointi on käytössä laboratorioissa.



Kuva 11. Kalibrintiliuokset (valmistaja Mettler Toledo AG)

6.4 Lämpötila-anturit

Reaktoriin liitetty lämpötila-anturi oli Pt1000-anturi, ja se oli liitetty kierteillä reaktorin kanteen. Anturi oli normaali vastusanturi, jonka toiminta alue on -50°C ... $+400^{\circ}\text{C}$. Anturiin oli integroitu anturinvahvistin, mikä muuttaa anturilta tulevat vastusarvot 4 – 20 mA:n virtaviestiksi. [11]



Kuva 12. Pt1000 lämpötila-anturi

Toinen lämpötila-anturi oli Pt100-lämpötila-anturi. Se on Pt1000-anturin kanssa melko lailla samanlainen ominaisuuksiltaan. Vastusarvoissa on sen verran eroja, että lämpötilan ollessa tasan 0°C Pt100:n vastusarvo on 100 ohmia ja Pt1000:n 1000 ohmia. Pt100-lämpötila-anturi toimi reaktorin lämpöhauteen lämpötila-anturina. Tällä tavalla reaktorin sisä- ja ulkolämpötiloja pystyttiin seuraamaan. [11]



Kuva 13. Pt100-lämpötila-anturi

6.5 Paine-anturit

Reaktoriin kuului kaksi paineanturia, Druck PTX 1400 ja mekaaninen paineanturi. Druck-paineanturi valittiin sen herkkyyden takia, koska reaktorin paine ei nouse koskaan kovin suureksi. Druckin käyttölämpötila on $-20^{\circ}\text{C} \dots 80^{\circ}\text{C}$ ja lämpötilan vaikutus paineen mittaustarkkuuteen on noin 1,5 % eli ei kovin suuri. Paineen mittausalue tässä anturissa oli $-1 \dots 4$ baaria. Mekaaninen paineanturi jälkiasennettiin reaktorin kanteen, ja sen toiminta alue on $-1 \dots 1,5$ bar. [11]



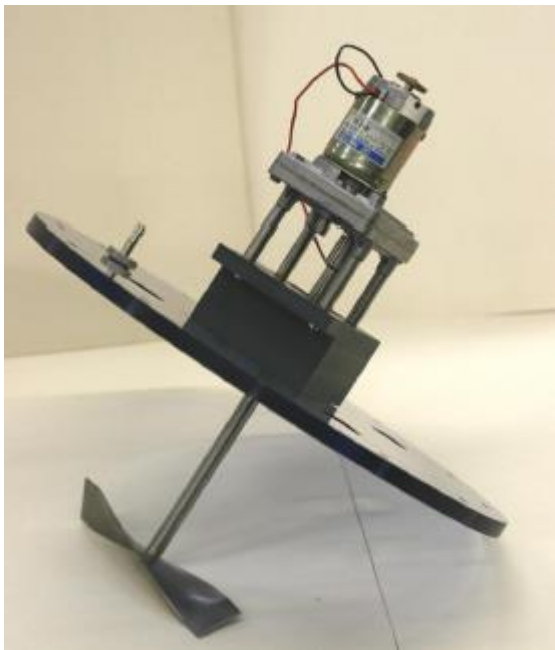
Kuva 14. Druck PTX 1400-paineanturi



Kuva 15. Mekaaninen paineanturi

6.6 Sekoitin

Sekoittimen tarkoituksena on saada reaktorin biomassa liikkeelle, jotta olosuhteet pysyisivät mahdollisimman tasaisina. Biokaasureaktoriin asennetun sekoittimen lapaa pyöritti alennusvaihteistolla varustettu tasavirtamoottori. Moottorin päälle- ja poiskytkentä suoritettiin releohjauksella. Sekoittimen akseli ja sekoitinlapa oli valmistettu haponkestävästä teräksestä, jolloin se sopi hyvin mädätysreaktorin olosuhteisiin. Moottorissa oli itsessään alennusvaihteisto, jolla mahdollistettiin pyörimisnopeudeksi 1 kierros minuutissa. Käyttöjännitteenä moottori käytti 24 V:a, joka oli sama kuin muiden instrumenttien käyttöjännite. [11]



Kuva 16. Biokaasureaktorin sekoitin

6.7 Lämmitin ja virtalähde

Vesihautteessa käytettäviä lämmityselementtejä oli kaksi kappaletta, koska yhden lämmityselementin lämmitysteho ei riittänyt kunnolla vesihautteen vesimäärän lämmitykseen. Lämmityselementit olivat normaaleja akvaarion lämmityselementtejä. Sekoittimen virtalähteessä oli sekä virranvoimakkuuden että jännitteen säätömahdollisuus.



Kuva 17. Lämmityselementti



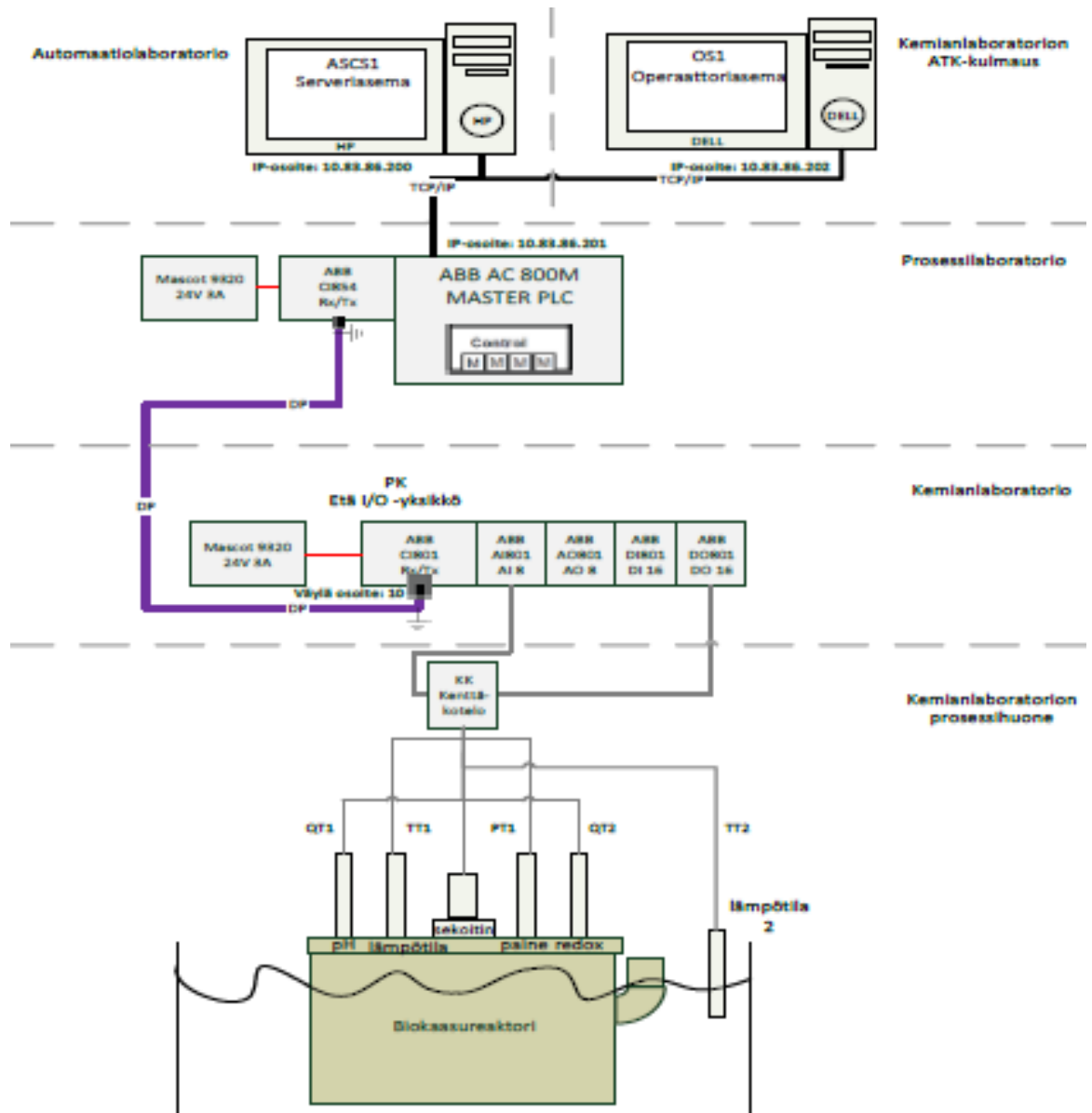
Kuva 18. Virtalähde sekoittimelle

7 Automaatiojärjestelmä

Automaatiojärjestelmiä käytetään paljon teollisuudessa ja muilla tuotannon osa-alueilla. Automaation avulla pystytään ohjaamaan prosesseja ja niihin liitetyjä kojeita. Automaatiojärjestelmien käyttö alkoi kasvaa 1960–1970-luvuilla, jolloin tietokoneiden käyttö mahdollistui teollisuuskäytössä ja muussa vastaavassa tuotantoteknisessä käytössä. Tämän insinööriyön automaatiojärjestelmään kuuluivat; instrumentit, operaattori- ja serveriasema, kenttäkotelo, prosessiasema ja etä-I/O-yksikkö.

7.1 Prosessiasema

Prosessiasemaksi oli valittu ABB:n AC 800M, joka toimi PM851K01-prosessiyksiköllä. ABB:n laitteisto oli tilattu suoraan ABB:lta erillisinä moduuleina. Prosessiasema oli tarkoitettu operoimaan laboratoriossa sijaitsevaa mädätysreaktoria. Prosessiasema oli liitetty serverikoneeseen, jonka tarkoituksena oli operoida prosessiasemaa tietokoneen välityksellä. Tietokoneeseen tehdyn serveriaseman oli asentanut ABB:n oma ohjelmoija, jotta kaikki prosessiin liitetyt instrumentit ja ohjelmat saatiin toimimaan oikein. [11]



Kuva (19). Automaatiojärjestelmä

7.2 Anturinvahvistimet

Kuvassa 20 on reaktorin antureihin liitettävät anturinvahvistimet. Näillä pystyttiin tarkkailemaan pH:n, redox-potentiaalin ja lämpötilan muutoksia prosessissa reaaliajassa, ilman tietokonekäyttöä. Kummassakin anturinvahvistimessa on kalibrointiominaisuus antureille, joten kalibroinnin tekeminen on tehty mahdollisimman helpoksi. pH:n mittausalue on -1...15 pH-yksikköä ja

redox-potentiaalilla mittausalue on $-1200\text{ mV} \dots +1200\text{ mV}$. Lämpötila pystytään mittaamaan lämpötila-alueella $-20\text{ °C} \dots +150\text{ °C}$. Anturinvahvistimissa on ominaisuus, joka tunnistaa automaattisesti Pt100- ja Pt1000-lämpötila-anturit, kun ne liitetään kiinni anturinvahvistimeen. [13]



Kuva 20. pH- ja redox-antureiden anturinvahvistimet.[13]

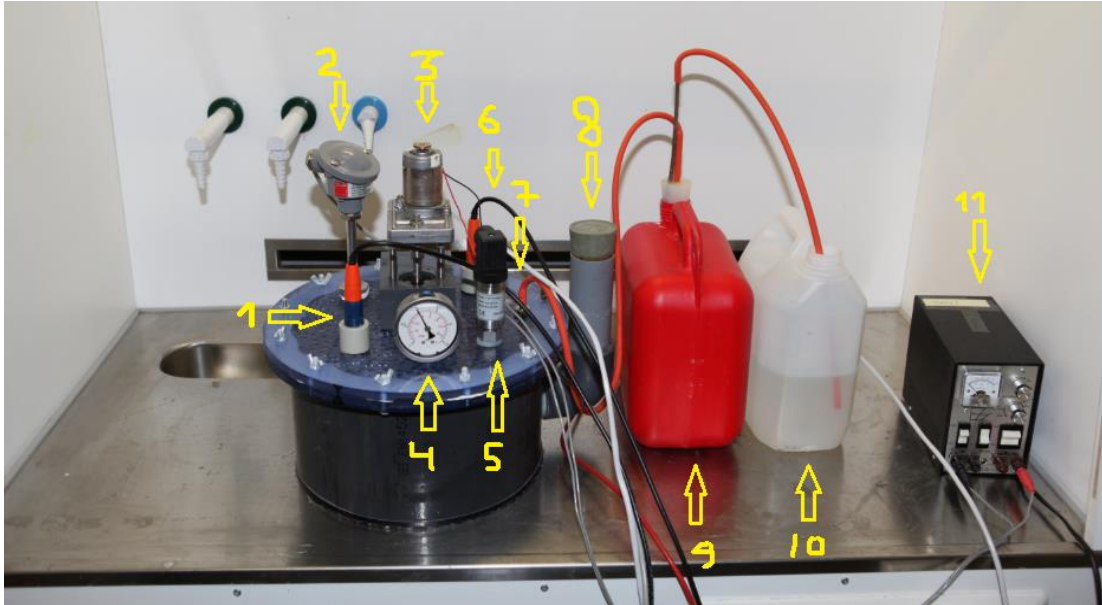
Kuvassa 21 on kenttäkotelo, johon on liitetty Pt100, paine-anturi ja sekoittimen ohjausyksikkö. Tästä tieto lähtee tietokoneelle, joka sijaitsee automaatiotekniikan koulutusohjelman laboratoriossa. ABB:n prosessinohjausohjelmisto näyttää serveriasemalla paineen ja lämpötilan muutokset ja pystyy ohjaamaan sekoittimen liikettä.



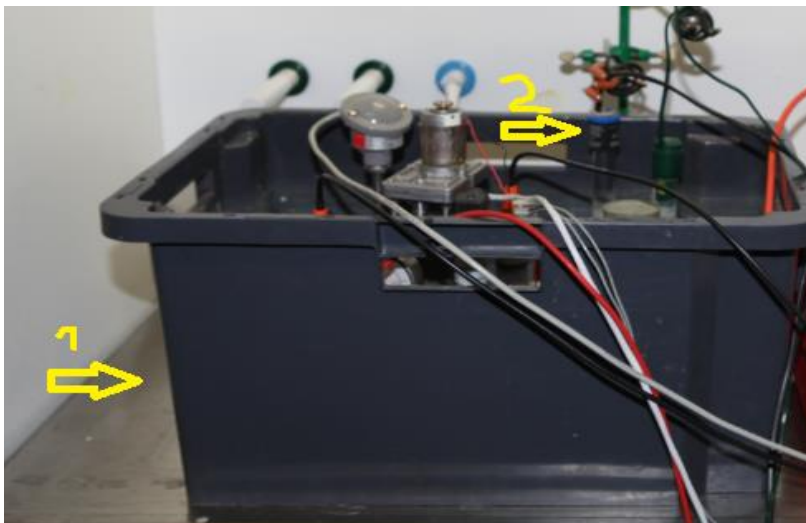
Kuva 21. Kenttäkotelo automaatioinstrumenteille

8 Biokaasureaktori

Reaktori oli valmistettu PVC-muovista (polyvinyylidikloridi), reaktoriastia oli PVC-putkea, ja kansi, pohja ja kannen vastalaippa olivat läpinäkyvää PVC-muovia. Reaktoriastian kylkeen oli asennettu putki, joka mahdollisti syötteen lisäyksen ja näytteenoton. Putki tulpattiin kumikorkilla. Tilavuus reaktorille oli noin 5,3 litraa. Reaktoriin kuului myös pH-, redox-, paine- ja lämpötila-anturit, sekä DC-moottorilla toimiva sekoitin. Kuvassa 22 on esitetty käytetty mädätyslaitteisto vesihaudetta ja lämmityslaitetta lukuunottamatta. [11]



Kuva 22. Biokaasureaktori. (1) Redox-anturi; (2) Pt1000-lämpötila-anturi; (3) sekoitin; (4) Mekaaninen paineanturi; (5) Druck-paineanturi; (6) pH-anturi; (7) kaasuntuloputki; (8) näytteenottoputki; (9) kaasunkeräyskanisteri; (10) syrjäytyskanisteri vedelle; (11) Virtalähde sekoittimelle.



Kuva 23. (1) vesihaude; (2) lämmitysvastus.

9 Biokaasureaktorin testaus

Työn aloitus oli ongelmallinen, ja siinä kohdattiin seuraavia haasteita. Anturinvahvistimien lopullista asennusta ei vielä ollut suoritettu. Anturinvahvistimien asennuksen suoritti automaatiotekniikan opiskelija. Seuraava ongelma oli sekoittimen toimivuus. Sen piti toimia ABB:n prosessinohjausohjelman ohjaamana siten, että sekoitin pyörisi kerran tunnissa. Tätä ei kuitenkaan tapahtunut, koska ABB:n ohjelma ei toiminut. Tämä ongelma ei rajoittunutkaan pelkkään sekoittimeen. Paineanturi ja lämpötila-anturi eivät myöskään tämän takia antaneet mitään informaatiota. Automaatiotekniikan laboratorion käsillä toimiva ohjelma piti siirtää tietokoneelle samaan tilaan, missä biokaasureaktori oli. Se siirrettiinkin, mutta se kävi nopeasti tarpeettomaksi, koska ohjelmaa ei saatu toimimaan. Ohjaus toteutettiin toisella tavalla. Reaktorin kanteen asennettiin mekaaninen paine-anturi, josta näki suoraan paineen, ja tämä osoittautui hyväksi ratkaisuksi.

Sekoittimen suhteen tehtiin ratkaisu siten, että otettiin säädettävä virtalähde, joka liitettiin suoraan sekoittimen moottoriin. Pyörimisen ajastukseen käytettiin normaalia verkkovirtaan liitettävää ajastinta, jolloin sekoitin pyöri 15 minuutin ajan kerran tunnissa.

Lämpötila-antureiden kanssa jouduttiin turvautumaan kahden anturin sijasta yhteen. Reaktoriastiasissa olevaa anturia ei saatu toimimaan, joten vesihauteen anturi liitettiin suoraan pH-anturin vahvistimeen. Lämpötila mitattiin siis vain lämpöhauteesta.

9.1 Alkutestaus

Kokeellinen osuus aloitettiin täyttämällä mädätysreaktori, joka oli valmistettu aikaisemmin kemianteekniikan insinööriyönä. Tässä insinööriyössä testattavaan reaktoriin päätettiin käyttää syötteenä samaa biomassaa, jota oli otettu talteen aiemmin laboratoriossa tehdyssä biokaasuun liittyvässä insinööriyössä. Tarkoituksena oli selvittää aiemmin käytetyn syötteen käyttökelpoisuus tähän

reaktoriin. Syötteestä ja valmiiksi mädätysreaktorissa olevasta biomassasta mitattiin pH-arvo. Saadut pH-arvot olivat alle sallittujen rajojen, eli pH-arvo oli alle 6,8, joten pH säädettiin NaOH-liuoksella pH-arvoon 7. Tämän jälkeen lisättiin syöte mädätysreaktoriin ja odotettiin kaasun muodostumista. Kaasua muodostui noin $0,5 \text{ dm}^3$. Tästä pääteltiin, että biomassan bakteerikanta on vielä toimivaa biokaasuntuottoon.

Tämän jälkeen testattiin reaktorin tiiveys. Kansi ja vastalaippa laitettiin kiinni 12 pultilla. Vastalaippaan oli laitettu valmiiksi silikonimassaa tiivisteeksi, ettei kaasu pääse karkaamaan. Kanteen asennettiin anturit niille varatuille paikoille. Suljettiin näytteenottoputki kumikorkilla. Sekoittimen läpivienttiin laitettiin ruokaöljyä, ettei kaasu pääse vuotamaan sieltä.

Reaktorin tiiveystesti toteutettiin seuraavasti. Laitettiin yhden anturin läpiviennin päälle ilmapallo ja teipattiin se siihen kiinni. Pumpattiin ilmaa kaasuntuloputken kautta reaktoriin ja katsottiin, kuinka ilmapallo alkoi täyttyä. Annettiin ilmapallon olla siinä päivän ajan, ja se näytti pysyvän täynnä.

Tämän jälkeen reaktori laitettiin vesihauteeseen, jonka lämpötilaa voitiin säätää lämmitysvastuksella. Veden alle mentyään reaktorin kannesta alkoi tulla ilmapalloja pH- ja redox-anturien läpivientien kohdalta. Asennettiin niihin uudet o-renkaat ja läpivientien kiertet päällystettiin teflonteipillä. Tämän jälkeen uusittiin upotus eikä vuotoja enää havaittu.

9.2 Ensimmäinen koe

Reaktorin testaus aloitettiin käyttämällä laboratoriossa aiemmin mädätyksessä muodostunutta biomassaa, jota lisättiin noin yksi litra testattavaan reaktoriin. Tämän jälkeen kalibroitiin pH- ja redox-anturit. Anturivahvistin ei aluksi jostain syystä hyväksynyt kalibroimista, mutta tunnin yrittämisen jälkeen saatiin pH-anturi kalibroitua. Redox-anturiin ei ollut siihen tarkoitettua kalibrointiliuosta. Testattiin redox-anturia ilman kalibrointia, mutta se ei toiminut ihan niin kuin olisi

pitänyt, vaan se ilmoitti virhekoodia. Aloitettiin kuitenkin prosessi suunnitellusti, vaikka redox-anturi ei toiminut odotetulla tavalla. Laboratoriossa oli aiemmasta insinööriyöstä talteen otettua hydrolysoitunutta biomassaa, jota käytettiin syötteenä, kuva 24. Syötteen raaka-aineina olivat kaali, peruna ja porkkana, jotka oli alun perin murskattu pienempään partikkelikokoon, jotta massan pinta-ala kasvaa. Biokaasureaktorissa ei voinut käyttää mitään eläinperäistä syötettä, koska niissä on suurempi todennäköisyys patogeenien esiintymiseen.



Kuva 24. Hydrolysoitunutta syötettä, jonka raaka-aineina olivat kaali, peruna ja porkkana.

9.3 18.1.2012

Mittausdata löytyy kokonaisuudessaan liitteestä 1.

Biokaasureaktoriin lisättiin noin 80 ml hydrolysoitunutta syötettä. Tarkistettiin sen pH, joka todettiin pH 4:ksi. Lisättiin syötteeseen 2-molaarista NaOH noin 10 ml, minkä jälkeen pH muuttui 7,9:ään. Katsottiin pH bioreaktorin anturinvahvistimelta, joka näytti pH-arvoa 6,5, reaktorin sisällä olevalle biomassalle. Lisättiin tämän jälkeen laimennettu syöte biokaasureaktoriin ja sekoitettiin sitä hetken ajan. Anturinvahvistin näytti pH-arvoa 7,47, joka todettiin sopivaksi prosessin toiminnalle. Tämän jälkeen jouduttiin typettämään reaktoria kaasuntuloputken kautta, koska reaktoriin oli päässyt happea. Typettämällä syrjäytetään reaktorissa oleva happi, joka inhiboi prosessia.

9.4 19.1.2012

Seuraavana päivänä tarkistettiin tilanne, mutta kaasua ei ollut muodostunut, joten lisättiin syötettä taas 80 ml. Syötteelle tehtiin pH:n säätö, ettei se happamoita prosessia.

9.5 23.1.2012

Lisättiin 80 ml syötettä, koska kaasua ei ollut muodostunut.

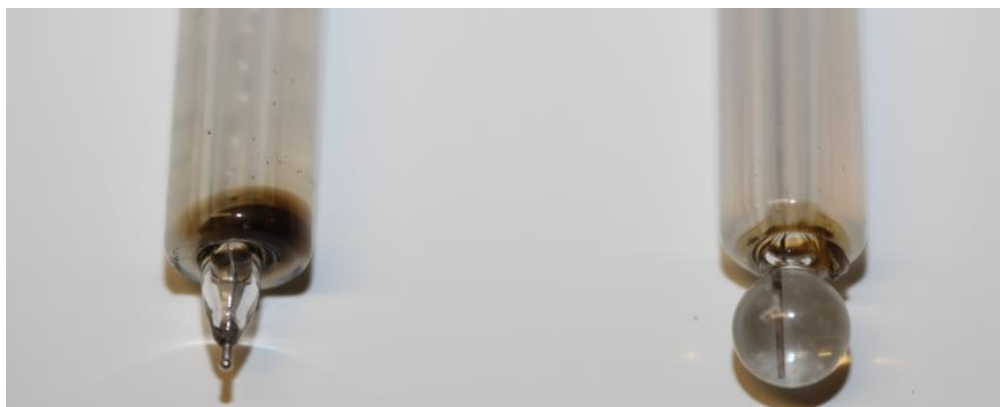
9.6 24.1.2012

Päätettiin lisätä noin klo 9.30 runsaasti syötettä, koska prosessissa ei ilmeisesti ollut tarpeeksi ravintoa mikrobitoiminnan käynnistymistä varten. Lisättiin 200 ml syötettä, jonka pH oli säädetty 22 ml:lla 2 mol/l NaOH. Aamulla lisätty syöte oli saanut prosessin toimimaan, ja biokaasua oli muodostunut iltapäivään

klo 14 mennessä $1,75 \text{ dm}^3$. Prosessin annettiin olla yön yli ja päätettiin katsoa tilannetta seuraava päivänä.

9.7 25.1.2012

Aamulla tarkistettiin heti tilanne, ja biokaasua oli muodostunut vielä $0,25 \text{ dm}^3$. pH oli tosin laskenut 7,74:stä 6,83:een. Antureita pitää kalibroida tietyin väliajoin, ja ajateltiin tämän olevan hyvä hetki siihen. Otettiin pH-anturi ulos reaktoriasta ja kalibroitiin se. Anturin referenssielektrodin nesteliitos oli tukkeutunut biomassasta, ja pH näytti pysyvästi 6,83. Yritettiin puhdistaa sitä tuloksetta liuottamalla tislatussa vedessä. Biomassaa yritettiin liuottaa pois myös laimealla suolahapolla (HCl), mutta tuloksetta. Viimeiseksi keinoksi kokeiltiin raaputtaa biomassaa pois erilaisilla apuvälineillä ja anturin sisältä lähtikin osa biomassasta pois. Anturinvahvistimeen liitettynä mitään muutosta signaalissa ei tapahtunut ja pH pysyi silti 6,83:ssa. Todettiin reaktori toimivaksi, vaikka antureiden toimivuus ei osoittautunut kovin pitkäikäiseksi.



Kuva 25. Antureiden päät. Vasemmalla redox ja oikealla pH-anturi. pH-anturin sisältä saatiin massaa vähän pois, mutta se ei muuttanut lopputulosta. Mittaukset pH-anturilla eivät enää onnistuneet tukkeutumisen takia.

10 Johtopäätökset

Tässä insinööriyössä käyttöön otettu ja testattu biokaasureaktori näyttää toimivan odotetulla tavalla. pH- ja redox-antureiden nesteliitosten tukkeutuminen biomassalla oli odotettavissa. Biokaasureaktorissa on painetta prosessin aikana, joka työntää biomassaa nesteliitoksista antureiden sisään. Tämä on ollut ongelmana monessa pienen mittakaavan biokaasureaktorissa, anturit voivat tukkeutua aktiivisessa prosessissa jopa viikon sisällä, kuten tässä insinööriyössä tapahtui. Biokaasureaktori oli tiivis niin kuin kuuluukin, eikä kaasua päässyt karkaamaan ympäröivään ilmaan. Tuotettu kaasun määrä ei ollut suuri, mutta reaktorin varsinaiseen testaukseen käytetty aika oli lyhyt ja syötteen määrä oli melko vähäinen. Automaatiojärjestelmän osuus jäi vähäiseksi monien vastoin käymisten seurauksena, mutta se ei haitannut juuri lopputulosta. Tätä työtä tehdessä huomasi, että biokaasureaktorin käyttö on melko yksinkertaista ainakin laboratoriomittakaavassa. Työtä olisi voinut helposti jatkaa vielä käyttämällä tavallista pH-mittaria reaktorin pH:n säätöön ottamalla reaktorista näytteitä ja niiden perusteella olisi pystynyt tekemään tarvittavat muutokset. Tämän työn tarkoitus oli testata valmiin reaktorin toimintaa, ja se onnistui suhteellisen hyvin.

11 Parannusehdotukset

Tässä työssä käytetty biokaasun tuoton mittausmenetelmä on yksinkertainen ja suhteellisen luotettava, mutta reaktoriin voisi asentaa kaasunvirtausmittarin, joka mittaisi pienimmätkin muodostuvan kaasun tilavuudet. Redox- ja pH-antureille pitäisi tehdä jonkinlainen mekaaninen suoja, jotta biomassaa ei pääsisi kulkeutumaan nesteliitoksista niiden sisään ja aiheuttamaan nesteliitoksen tukkeutumista. Toinen vaihtoehto olisi jonkinlainen jatkuva puhdistusmekanismi, puhdistusharja, joka pyörii reaktorin sisällä puhdistuen jatkuvasti antureita. Antureiden jatkuva irrottaminen reaktorista altistaa reaktorin hapen pääsulle, joka inhiboi prosessia. Biokaasureaktorin mahdollinen opetuskäyttö vaikka jonkin kurssin yhteydessä automaatiotekniikan/kemiantekniikan opiskelijoille lisäisi opiskelijoiden kiinnostusta prosessiautomaatioon, anturitekniikkaan ja biokaasun tuotantoon.

Lähteet

- 1 Strabag. The Sustainable Energy Holdings Ltd. Verkkodokumentti. Enermac. <<http://enermac.com/Strabab-SEHL.htm>>. Luettu 23.11.2012
- 2 Kasvibiomassojen tuottaminen biokaasulaitokselle. 2010. Verkkodokumentti. Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/13309/maenpaa_mika.pdf?sequence=1. Luettu 10.10.2012
- 3 Biokaasuntuotanto suomalaisessa toiminta ympäristössä. 2009. Verkkodokumentti. Ympäristö.fi <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=106756&lan=FI>, luettu 1.12.2012
- 4 Luoranen, Maarit. 2011. Biokaasun valmistus kasvibiomassasta laboratoriomittakaavan biokaasureaktorilla, insinööri työ. Metropolia AMK.
- 5 EU:n ilmasto paketti. 2012. Verkkodokumentti. Ympäristö.fi <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=264826&lan=FI>. Luettu 23.11.2012
- 6 Biokaasun hyödyntäminen. 2011. Verkkodokumentti. Motiva. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/biokaasu/biokaasun_hyodyntaminen. Luettu 10.12.2012
- 7 Biogas, Green energy. 2009. Verkkodokumentti. <http://www.lemvigbiogas.com/BiogasPJJuk.pdf>. Luettu 5.1.2012
- 8 Biokaasusta energiaa maatalouteen. 2007. Verkkodokumentti. http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDEQ-FjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.biokaasufoorumi.fi%2FGetItem.asp%3Fit%3Ddigistorefile%3B127950%3B670&ei=QATOUOPUN8jw4QSqv4DQ AQ&usg=AFQjCNG6-TC5Ja9HUvKmqbFx0po8WUD_Gg&bvm=bv.1355325884,d.bGE&cad=rja Luettu 5.11.2012
- 9 pH-mittaus. 2012. Verkkodokumentti. Prominent. <http://www.prominent.fi/Tuotteet/Mittaus-saaetoe-ja-anturitekniikka-2/Parametrit-2/pH-mittaus-2.aspx>. Luettu 3.3.2012

- 10 Redox-mittaus. 2012. Verkkodokumentti
<http://www.prominent.fi/Tuotteet/Mittaus-saeaetoe-ja-anturitekniikka-2/Parametrit-2/Redoxmittaus.aspx>. Luettu 3.3.2012
- 11 Rautiainen, Juha. 2011. Biokaasureaktorin automatisointi. Laboratorio mitatakaan biokaasureaktorin suunnittelu ja rakentaminen, insinööriyö. Metropolia AMK.
- 12 Biokaasun hyödyntämisen käsikirja. 2008. Verkkodokumentti
http://www.abo.fi/public/en/media/9578/biokaasunkasikirja_web.pdf. Luettu 13.12.2012
- 13 Anturinvahvistimet. 2012. Verkkodokumentti.
[Vhttp://www.prominent.fi/Tuotteet/Mittaus-saeaetoe-ja-anturitekniikka-2/Laehettimet/DULCOMETER-DMT-2-johdin-viestimuuntimet.aspx](http://www.prominent.fi/Tuotteet/Mittaus-saeaetoe-ja-anturitekniikka-2/Laehettimet/DULCOMETER-DMT-2-johdin-viestimuuntimet.aspx). Luettu 3.3.2012

Bioreaktorin seuranta-kaavake

Päivä	pH	Redox / mV	Lämpötila, °C	Kaasun määrä, dm ³	Kommentti			
18.1.12	2,47	-340	21,7		klo 15:20 80 ml syötettä			
19.1.12	7,14	-463	28		klo 9:18			
19.1.12	7,2	-443	27,9		klo 10:45			
19.1.12	7,13	-412	27,9		klo 10:55 lisättiin 80 ml syötettä			
19.1.12	7,43	-424	30,4		klo 14:45			
20.1.12	7,95	-466	33,7		klo 9:00			
20.1.12	7,96	-484	33,6		klo 14:35			
23.1.12	7,95	-470	26,8		klo 8:30 lisäys 80 ml syötettä			
23.1.12	7,85	-477	31,6		klo 15:50			
24.1.12	7,77	-467	30,9		klo 9:20			
24.1.12	7,77	-462	30,6		klo 9:35 lisäys 200 ml syötettä			
24.1.12	7,74	-456	31,9	1,75	klo 14:20			
24.1.12	6,83	-452	31,9		klo 15:10			
25.1.12	6,83	-446	33,1	2	klo 10:05 pH anturi tukossa			
					pH pysyy 6,83:ssa			
					Uudelleen kalibrointi ei auta			