



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Masteroppgave 2016

Institutt for matematiske realfag og teknologi

# Biogass potensiale for svartvann

Biogas Potensial Blackwater

Jawad Hassan Khan

Master - vann og miljøteknikk



# Sammendrag

I denne gradsoppgaven ble biogass potensiale for svartvann undersøkt, samt ble utløpet til en modifisert UASB reaktor undersøkt, for til slutt se på gjenvinnings muligheter av sluttprodukt i fra reaktor. Svartvanns prøvene ble hentet fra et kildeseparerende avløpssystem på NMBU.

Det ble målt parametere for å si noe om kvaliteten på kvaliteten på svartvannet og utløpet til reaktoren, som viste ikke så ulike resultater fra tidligere studier.

Gassforsøk ble gjennomført for å si noe om metan produksjonen og biogass produksjonen, forsøks metoden for gassforsøkene ble fulgt etter BMP test metodikk, og beregninger ble gjennomført ved bruk av ideal gass loven, og det ble gjennomført forsøk for svartvann i alt 4 serier med filtrerte og ufiltrerte prøver, samt prøver som ble tilsatt inokulum og ingen inokulum. Det samme gjaldt for utløpet til UASB reaktoren.

Basert på det beskrevet over ble det gjennomført målinger knyttet til gassforsøkene med en periode på 1-2 måneder, som varier for prøvene, resultatene viste et høyere metan produksjon, samt biogass produksjon for prøver som var ufiltrerte og fikk tilsatt inokulum, sammenliknet med de andre prøvene. Resultatene viste også at ved et slikt forsøksopplegg så er vil flushing av flasker for å fjerne oksygen i forsøksflasken være et mer presist resultat.

Fra data fra gassforsøkene var det mulig å gjøre en COD massebalanse for å lage et grovt estimat for et 2 reaktor system, der reaktorene er koblet i serie. Estimater viste positive resultater og en reduksjon nærme 90% for COD.

Det ble også sett på gjenbruksmuligheter for sluttproduktet fra reaktoren, og et grovt estimat ble gjennomført for å se om krav for stabilisering av organiske gjødslings produkter. Estimater viste et positivt resultat med verdier innenfor tillatte verdier.

## Abstract

Inn this master thesis the aim of the thesis was to look at the biogas potential of blackwater, there was also smaller objectives where the outlet of a modified UASB reactor was examined, to check if there was any more potential remaining, last the possibility of recycling the end product for agricultural reuse was examined.

The blackwater samples was collected from source separated system at NMBU, and the samples from the outlet of the UASB reactor was also collected form NMBU.

Parameters regarding the quality of the samples was examined, and showed similar attributes to previous study for the blackwater. Also various parameter for the effluent of the UASB reactor was measured.

The work included gas experiments witch used BMP test procedure and calculation was done in regards to the ideal gas law equation. In the experiments 4 series of blackwater samples was prepared and 3 series of the UASB effluent samples was prepared, the samples in the series varied from unfiltered to filtered, and with or without inokulum.

Based on the above, measurements was done in a period of 1 to 2 months and the time length varied for each series. The results showed higher methane and biogas production for the unfiltered samples that was inserted inokulum. The result also showed that flushing of bottles (used for the gas experiment) was need and the result would be more accurate that way.

The data from the gas experiments was also used to do a COD mass balance, and a estimate was done to look at a two-reactor system. The result from this estimate showed positive reduction was two reactors and a COD reduction of 90% was shown.

The final part of the thesis look at the recycling possibility of the products of the experiment for agricultural purposes, an estimate was again done to look at how the end product form the experiment was in regards to regulation regarding to the stability criteria for agricultural purposes.

## Forord

Denne oppgaven er skrevet våren 2016, og er avsluttende arbeidet master gradet vann og miljøteknikk ved NMBU.

Hovedveileder for denne oppgaven har vært Arve Heistad og John Morken, biveiledere har vært Melesse Eshetu Moges og Daniel Todt.

Jeg ble interessert i oppgaven allerede våren 2015 og ble introdusert til tema via Arve Heistad, muligheten for svartvann vekket stort interesse og det har vært spennende å bidra til et felt med lite litteratur tilgjengelig.

Målgruppen for dette arbeidet er fagfolk med interesse for svartvannet. Områdene er blant annet rensing, biogass og gjenvinning til landbruket.

Jeg vil rette en stor takk til min hovedveileder Arve Heistad for å vekke interessen for denne oppgave, samt til John Morken, Melesse Eshetu Moges, Daniel Todt for å vært til stor hjelp og ikke minst tålmodig med meg. Til slutt vil jeg takke Shaza Salih Sayed Aioub for veiledning knyttet til laboratoriet.

# Innholdsfortegnelse

<b>Sammendrag</b> .....	I
<b>Abstract</b> .....	II
<b>Forord</b> .....	III
<b>Innholdsfortegnelse</b> .....	IV
<b>Liste over symboler</b> .....	VII
<b>Liste over ordforklaring</b> .....	VII
<b>Liste over forkortelser</b> .....	VIII
<b>Liste over figurer</b> .....	VIII
<b>Liste over tabeller</b> .....	IX
<b>1. Introduksjon</b> .....	1
<b>1.1 Klima</b> .....	1
<b>1.2 Energi</b> .....	5
<b>1.2.1 Karbon syklusen</b> .....	5
<b>1.2.2 Ulike energikilder</b> .....	6
<b>1.3 Biogass</b> .....	7
<b>1.4 Problemstilling</b> .....	9
<b>2. Teori</b> .....	10
<b>2.1 Avløpsvann</b> .....	10
<b>2.2 svartvann</b> .....	13
<b>2.3 Svartvann parametere</b> .....	13
<b>2.3.1 pH</b> .....	13
<b>2.3.2 Temperatur</b> .....	14
<b>2.3.3 SS</b> .....	14
<b>2.3.4 TS</b> .....	14
<b>2.3.5 VS</b> .....	14
<b>2.3.6 COD</b> .....	14
<b>2.3.7 Fosfor</b> .....	14
<b>2.3.8 Nitrogen</b> .....	15
<b>2.4 UASB</b> .....	16
<b>2.5 Anaerobisk nedbrytning</b> .....	18
<b>2.5.1 Hydrolyse</b> .....	18
<b>2.5.2 Acidogenese</b> .....	18
<b>2.5.3 Acetogenese</b> .....	18

2.5.4 Metanogonese.....	19
2.6 Parametere som påvirker AD.....	19
2.6.1 Temperatur.....	19
2.6.2 pH.....	19
2.6.3 Ammonium.....	19
2.6.4 C:N forhold.....	20
<b>3. Material og metode.....</b>	<b>21</b>
3.1 Materiale.....	22
3.1.1 Svartvann.....	22
3.1.2 UASB reaktor.....	22
3.1.3 Inokulum.....	23
3.2 Formler for beregning.....	23
3.2.1 Gass beregninger.....	23
3.2.2 COD masse balanse.....	24
3.3 Metode.....	25
3.3.1 pH.....	25
3.3.2 Temperatur.....	25
3.3.3 TSS.....	26
3.3.4 COD.....	27
3.3.5 Fosfat.....	28
3.3.6 Orthofosfat.....	28
3.3.7 Ammonium.....	29
3.3.8 VS.....	30
3.2.9 Gassforsøk.....	31
<b>4. Resultat og diskusjon.....</b>	<b>33</b>
4.1 Svartvann og UASB parametere.....	33
4.3 BW Akkumulert metan produksjon.....	35
4.4 UASB Akkumulert metan produksjon.....	38
4.5 Svartvann akkumulert biogass produksjon.....	40
4.6 UASB akkumulert biogass produksjon.....	45
4.7 COD massebalanse.....	49
4.7.1 Simulering av 2 reaktor system.....	49
4.8 Beregning for gjenvinnings muligheter av substrat.....	50
<b>6. Konklusjon.....</b>	<b>51</b>
<b>7. Fremtidig arbeid.....</b>	<b>52</b>
<b>7. Referanser.....</b>	<b>53</b>

<b>Vedlegg .....</b>	<b>i</b>
<b>Vedlegg A: Måling avslutning av gass forsøk .....</b>	<b>i</b>
<b>Vedlegg B: COD massebalanse for prøver uten oksygen .....</b>	<b>iii</b>



## Liste over symboler

°C	Celsius grader
CO <sub>2</sub>	Karbondioksid
CH <sub>4</sub>	Metan
N <sub>2</sub> O	Lystgass
EJ	Exajoule (10 <sup>18</sup> joules)
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Orthofosfat
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Monohydrogeno
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Dihydrogenfosfat
P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>4-</sup>	Pyrofosfat
P <sub>3</sub> O <sub>10</sub> <sup>5-</sup>	Tripolyfosfat
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ammonium
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Nitritt
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrat
mL	Milli liter

## Liste over ordforklaring

GHG	Drivhusgass
Gt	Gigatonn
F-gaser	Liste over gasser i Kyoto avtalen
Yr	År
TPES	Total energi forsyning
Mtoe	Millioner tonn olje ekvivalent
BOD	Biochemical oxygen demand
COD	Chemical oxygen demand
COD <sub>t</sub>	COD total
COD <sub>s</sub>	COD soluble (løselig)
SS	Suspended solids (Suspendert tørrstoff)
VS	Flyktig tørrstoff
TS	Tørrstoff
TKN	Total, kalium, nitrogen
TP	Total fosfor
AD	Anaerobic digestion (anaerobisk nedbrytning)
TN	Total nitrogen
VFA	Flyktige fett syrer
TSS	Total suspendert tørrstoff
B.C	Before Christ (før Kristus)
GC	Gas Chromatography (gasskromatografi)
BW	Blackwater (svartvann)

## Liste over forkortelser

NMBU	Norges miljø og biovitenskapelige universitet
IPPC	Intergovernmental Panel on Climate Change
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
WOI	Without inokulum

## Liste over figurer

<b>Figur 1: Global middeltemperatur, figuren er hentet fra miljødirektorates faktaark som de har basert på (IPPC 2007).</b> .....	1
<b>Figur 2: Drivhusgass forurensing i perioden 1970-2010 (IPPC 2014).</b> .....	2
<b>Figur 3: Verdens totale energi forsyning(TPES) perioden 1971 til 2013, oppgitt i millioner tonn olje ekvivalent(Mtoe) (IEA 2015).</b> .....	5
<b>Figur 4: Energi behov fra ulike kilder (Shell 2008).</b> .....	6
<b>Figur 5: Antall biogass anlegg i Tyskland i perioden 1991-2006 (Deublein and Steinhauser 2008).</b> ....	8
<b>Figur 6: Figuren viser prinsippskisse av UASB-reaktor (Tilley et al. 2014).</b> .....	16
<b>Figur 7: De 4 trinnene i den anaerobisk nedbrytningen (Al Seadi 2001).</b> .....	18
<b>Figur 8: Figuren viser UASB reaktoren i forbindelse med forsøket.</b> .....	22
<b>Figur 9: Fremgangsmåte COD analyse.</b> .....	27
<b>Figur 10: Fremgangsmåte fosfat analyse.</b> .....	28
<b>Figur 11: Figuren viser fremgangsmåte for ammonium forsøk.</b> .....	29
<b>Figur 12: Akkumulert CH4 produksjon BW serie 1.</b> .....	35
<b>Figur 13: Akkumulert CH4 produksjon BW serie 2.</b> .....	35
<b>Figur 14: Akkumulert CH4 produksjon BW serie 3.</b> .....	36
<b>Figur 15: Akkumulert CH4 produksjon UASB serie 1.</b> .....	38
<b>Figur 16: Akkumulert CH4 produksjon UASB serie 2.</b> .....	38
<b>Figur 17: Akkumulert biogass produksjon BW serie 1.</b> .....	40
<b>Figur 18: Akkumulert biogass produksjon BW serie 2.</b> .....	40
<b>Figur 19: Akkumulert biogass produksjon BW serie 3.</b> .....	41
<b>Figur 20: Akkumulert biogass produksjon BW serie 4.</b> .....	41
<b>Figur 21: Akkumulert biogass produksjon ufiltrert BW m/ inokulum (serie 1,2,3,4).</b> .....	44
<b>Figur 22: Akkumulert biogass produksjon UASB serie 1.</b> .....	45
<b>Figur 23: Akkumulert biogass produksjon UASB serie 2.</b> .....	45
<b>Figur 24: Akkumulert biogass produksjon UASB serie 3.</b> .....	46
<b>Figur 25: Akkumulert biogass produksjon ufiltrert UASB m/ inokulum.</b> .....	48
<b>Figur 26: Simulering av 2 reaktor system, basert på data fra COD masse balanse for prøver uten oksygen. Tall for reaktor(R1) er hentet via (Morges 2016) som er en personlig meddelelse.</b> .....	49
<b>Figur 27: Eksempel på fornybar syklus.</b> .....	52

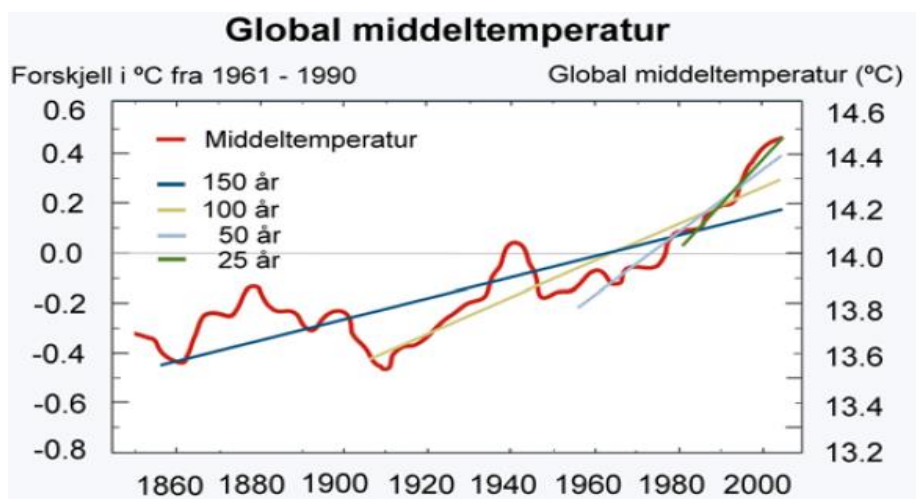
## Liste over tabeller

Tabell 1: Kort oppsummering av oppvarmingen av Jorda. Basert ut i fra (Trenberth et al. 2009). ....	1
Tabell 2: Konsekvenser av klimaforandring, basert på (IPPC 2014; IPPC 2007; Straus 2014). ....	3
Tabell 3: Perioder og biogassutvikling, basert ut i fra (Deublein and Steinhauser 2008). ....	7
Tabell 4: Forskjellige typer avløpsvann, modifisert (Henze et al. 2008). ....	10
Tabell 5: Sammensetning av avløpsvann i utvalgte land, modifisert (Hanjra et al. 2012). ....	10
Tabell 6: Eksempler på patogen mikroorganismer som kan komme fra menneskelig avføring med tilhørende sykdommer og symptomer (Friborg 2015). ....	11
Tabell 7: Konsentrasjon av mikroorganismer i avløpsvann, antall mikroorganismer pr 100ml.modifisert (Henze et al 2008). ....	12
Tabell 8: Sammenlikning av noen parametere anaerobisk og aerobisk prosesser, tilpasset (Sperling et al. 2001) ....	17
Tabell 9: Fordeler og ulemper ved behandling av avløpsvannet ved UASB reaktor, tilpasset (TBW 2001). ....	17
Tabell 10: Temperatur inndeling og oppholdstid (Big east handbook 2008). ....	19
Tabell 11: Tids beskrivelse av forsøkene. ....	21
Tabell 12: Inokulum serier. ....	23
Tabell 13: Liste over gass beregninger. ....	23
Tabell 14: Antall dager i varmeskap for prøver ....	32
Tabell 15: Resultat fra forsøk pH, temperatur, TSS, CODt, CODs for svartvann prøver. ....	33
Tabell 16: Resultat fra forsøk fosfat, orthofosfat, ammonium, for svartvann. ....	33
Tabell 17: Resultat fra forsøk TSS, CODt, CODs, for inokulum. ....	33
Tabell 18: Resultat fra forsøk pH, temperatur, TSS, CODt, CODs for UASB reaktor. ....	33
Tabell 19: Resultat fra forsøk fosfat, orthofosfat, ammonium, for UASB reaktor. ....	34
Tabell 20: Akkumulert metan produksjon (slutt verdi) Svartvann serie 1. ....	36
Tabell 21: Akkumulert metan produksjon (slutt verdi) Svartvann serie 2. ....	37
Tabell 22: Akkumulert metan produksjon (slutt verdi) Svartvann serie 3. ....	37
Tabell 23: Akkumulert metan produksjon (slutt verdi) UASB serie 1. ....	39
Tabell 24: Akkumulert metan produksjon (slutt verdi) UASB serie 2. ....	39
Tabell 25: Akkumulert biogass produksjon (slutt verdi) Svartvann serie 1. ....	42
Tabell 26: Akkumulert biogass produksjon (slutt verdi) Svartvann serie 2. ....	42
Tabell 27: Akkumulert biogass produksjon (slutt verdi) Svartvann serie 3. ....	43
Tabell 28: Akkumulert biogass produksjon (slutt verdi) Svartvann serie 4. ....	43
Tabell 29: Akkumulert biogass produksjon (slutt verdi) UASB serie 1. ....	46
Tabell 30: Akkumulert biogass produksjon (slutt verdi) UASB serie 2. ....	47
Tabell 31: Akkumulert biogass produksjon (slutt verdi) UASB serie 3. ....	47
Tabell 32: Beregning av L biogass / g VS, i henhold til EU kommisjonens fremtidige krav. VS data er hentet fra hentet fra Melesse Eshetu Moges og er en personlig meddelelse (Moges 2016). ....	50

# 1.Introduksjon

## 1.1 Klima

Verden i dag står ovenfor mange globale utfordringer, en av disse er relatert til forurensing og klimaforandring. Klima problematikken har lenge vært et diskutert tema, men i de senere årene har mange forskere rundt omkring i verden ringt alarm bjellene og varslet om kritiske tilstander (IPPC 2014). Klima forandringene er først og fremst knyttet til global oppvarming ved at det skjer temperatur økning av overflaten, figur 1 tar for seg global middeltemperatur.



Figur 1: Global middeltemperatur, figuren er hentet fra miljødirektorates faktaark som de har basert på (IPPC 2007).

Helt siden den industrielle revolusjonen som begynte i Storbritannia rundt 1700-tallet, har den teknologiske utviklingen vært en bidragsyter for global oppvarming, med nye maskiner og fabrikker kom også utslipp og i de senere årene har effekten av alt dette kommet frem. Hvis vi ser på jordas historie så er svingninger i temperatur normalt for ulike tidsperioder, men oppvarmingen i dag kommer av menneskelig aktivitet og økning i utslipp av drivhusgasser ved stadige økende forbruk av fossilt brensel, disse årsakene for et sterkt fotfeste i en rekke rapporter (IPPC 2014; IPCC, 2007). Se figur 1 for trendene i temperatur for de ulike tidsperioder som vist i figur.

Oppvarmingen av kan forklares ved drivhuseffekten. Drivhuseffekten er et naturlig fenomen, og kan ses i sammenheng med tabell 1 under.

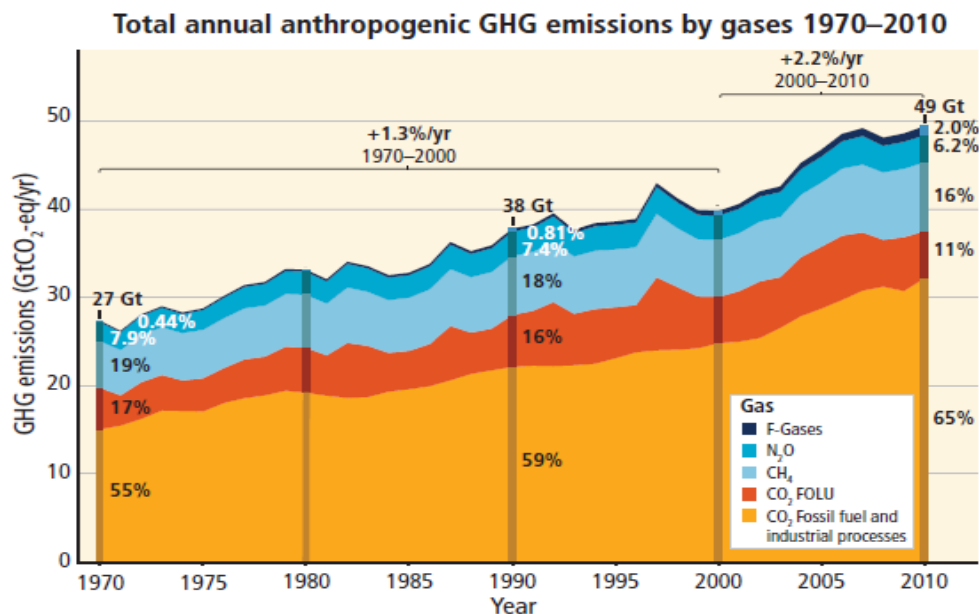
Tabell 1: Kort oppsummering av oppvarmingen av Jorda. Basert ut i fra (Trenberth et al. 2009).

1	Solen sender ut kortbølge stråling.
2	Strålingen fra solen passerer gjennom atmosfæren og bidrar med oppvarming av Jorden.
3	Noe av strålingen vil bli reflektert av atmosfæren, skyer og jordoverflaten.
4	Jorden sender ut langbølge stråling.
5	Noe av den langbølgede strålingen blir absorbert av atmosfæren av drivhusgasser og vanndamp som bidrar til oppvarmingen av Jorda.

Ut i fra tabell 1 ser vi at solen har en stor innvirkning på Jordas temperatur, en undersøkelse gjort av NASA (Lindsey 2009) estimerer at omtrent 30 prosent av strålingen fra solen blir reflektert tilbake av skyer og is forekomster. Strålingen på 70% som dermed er igjen blir for det meste absorbert av hav, land og atmosfæren. Det er denne absorberte energien som varmer opp planeten.

Ettersom denne absorberte energien blir tatt opp av land, hav og luft, så blir det frigitt energi i form av varme, meste parten av denne varmen blir tatt opp i atmosfæren av vanddamp og drivhusgasser som karbondioksid og metan. Når dette så er tatt opp i atmosfæren så vil disse drivhusgassen gi fra seg varme, dette vil skje i tillegg til varmen som blir tatt opp av sol strålingen. Det skal nevnes at drivhuseffekten er essensiell for livet på kloden, og uten denne effekten så ville temperaturen vært lavere og ikke optimal for mange livsformer.

Som nevnt så er drivhuseffekten et naturlig fenomen, men den store debatten i dag er knyttet til at menneskelig innvirkning er en sterk bidrags yter for de økte konsentrasjonene av drivhusgasser i atmosfæren. Meste parten av utslippene som bidrar til de økte konsentrasjonene av drivhusgasser kan ses i sammenheng med fossilt brensel. Der forurensing i form av karbondioksid(CO<sub>2</sub>) har økt med økt betraktelig siden den industrielle revolusjonen. Se figur 2 nedenfor.



Figur 2: Drivhusgass forurensing i perioden 1970-2010 (IPPC 2014).

Fra figur 2 ser vi den stadige økningen i drivhusgasser, og ingen ting i dag tilsier at denne trenden kommer til å stoppe med det første. FNs klimapanel relaterer menneskelig påvirkning som den største årsaken til global oppvarming (IPPC,2014). Global oppvarming som er drevet frem med stadige høyere utslipp av drivhusgasser vil dermed også ha konsekvenser. Se tabell 2 under.

**Tabell 2: Konsekvenser av klimaforandring, basert på (IPPC 2014; IPCC 2007; Straus 2014).**

Endringer/Forventede endringer	Oppsummering
Vær	Med temperaturøkning så vil værforandring forekomme, det er antatt at flere dager i året vil være varme, mens kalde dager i året vil minke. Det er også høy sannsynlighet for at uvær i form av storm og andre hendelser vil skje hyppigere og være mer voldsomt.
Vannivåer	Det er antatt at med globaloppvarming så vil havnivåene øke. Sett i sammenheng med alle kystnære bosetninger, så vil mange mennesker bli berørt, det er allerede tydelige eksempler på dette i Asia, men ettersom havnivåene stiger mer, så vil flere og flere bli berørt. 650millioner kan være utsatt globalt.
Økosystemer	Temperaturøkningen påvirker også naturen og de mange forskjellige mangfold av økosystemer. Det er estimert at ved temperatur økning mellom 1,5 °C til 2,5 °C så vil 20-30 prosent av planter og dyr være utsatt for utryddelse. Det er også tydelige eksempler på forandring i avlings mønster for matproduksjon, værforandring vil gi usikkerhet i avlingsprosessen, her kan eksempelvis lengre varme perioder være en utfordring, siden slike situasjoner vil krev større kapasitet av vann til avlingene, spesielt gjelder dette for allerede utsatte områder som opplever tørke.
Nedbør	Det er forventet og noen av endringene er allerede tydelige med tanke på nedbørsmønster og temperaturøkning, styrt regn er forventet å forekomme oftere og med det kan episoder som flom forekomme oftere, nedbørsmønstret vil i mange steder forandre seg.
Smelting	Det er særlig regioner som Arktis som ses å være utsatt, her vil temperaturøkningen føre til at opptining vil skje dypere i isen, men også isbreer og innlandsis på Grønland har blir observert til å minke i tykkelse og utbredelse. Det er spesielt denne smeltingen av isen på Arktis og Grønland som er med på økning i havnivå.
Ekstrem temperaturer	Hendelser som ekstremtemperatur har blitt mer vanlig de siste årene. Det er observert

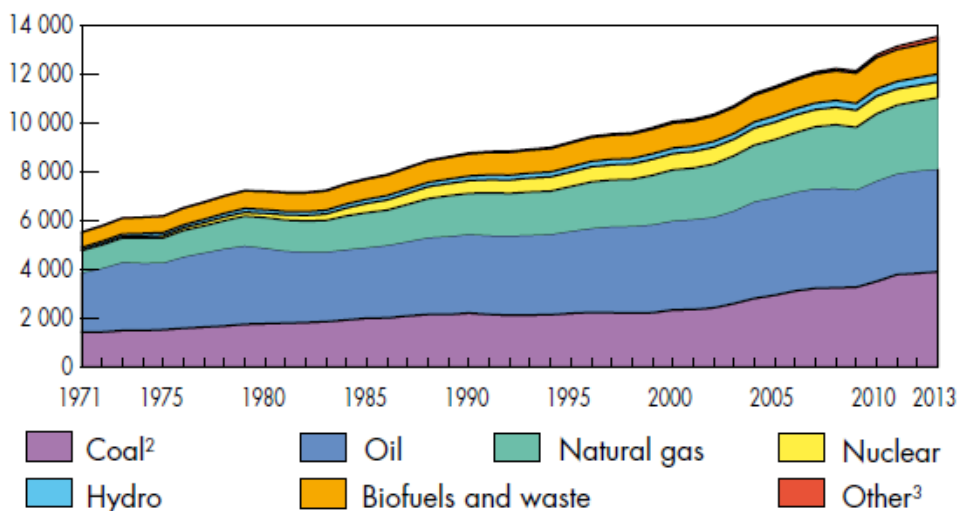
	lengre tørkeperioder. Det er forventet at slike ekstremtemperaturer vil forekomme oftere.
Matsikkerhet	Ved temperaturøkning vil matsikkerheten ble svekket, det er spesielt subtropiske områder som blir utsatt for redusert tilgang på vann. Etterspørsel for mat er antatt å øke, og trenden peker opp, kombinert med værforandringer vil avlingene være utsatt. Det er forekommer også økt opptak av CO <sub>2</sub> av hav forekomster, dette er med på å øke pH i disse forekomstene, og det er antatt at små endringer i pH kan ha konsekvenser for fiskearter.
Helserisiko	Oppblomstring av noen helse spredende arter vil forekomme ved temperatur økning, dette kan blant gi oppblomstring av insekter, som kan være en risiko for avlinger, samt at arter som mygg vil bidra til sykdomsspredning, ettersom vinter periodene blir mindre og perioder med varme varer lengre.

Som nevnt i tabell 2 er det en rekke risikoer knyttet til global oppvarming, der den største pådriverne er menneskelig aktivitet relatert til utslipp av karbon kilder. Det er spekulert i at hvis trenden fortsetter for utslipp, så kan konsekvensene være irreversible.

## 1.2 Energi

I dag er fossilt brensel som olje stor industri og det går mange milliarder av kroner for bare leting etter nye olje funn, men felles for alle fossile energikilder er at det ikke er fornybart og det er bare en viss mengde som tilgjengelig. Det vil komme en tid der mesteparten av den lett tilgjengelige oljen blir brukt opp, og med det må menneske tenke nytt på energi siden. Det er mange som i dag mener at en topp i oljeproduksjon er nådd. Uansett hva menneske velger som fremtidig energikilde, så er en ting klart, menneskeheten vil trenge energi og dermed er det kritisk å tenke nytt fremover, utvikle ny teknologi samt tenke fornybar energi.

World<sup>1</sup> total primary energy supply (TPES) from 1971 to 2013 by fuel (Mtoe)



Figur 3: Verdens totale energi forsyning (TPES) perioden 1971 til 2013, oppgitt i millioner tonn olje ekvivalent (Mtoe) (IEA 2015).

Figur 3 viser verdens totale energi forsyning i perioden 1971-2013, figuren viser kull og olje som de største kildene til energibehov, og dette stemmer overens med rapporter fra IPCC der menneskelig innvirkning blir betraktet som den største bidragsyteren til den globale oppvarmingen.

For å forstå problemet med global oppvarming og fossile energikilder bedre er det nødvendig å knytte en sammenheng med karbonsyklusen, som beskrevet under.

### 1.2.1 Karbon syklusen

Karbon syklusen er et spesielt fenomen på jorden. Tidlig i klodens historie så bestod mye av atmosfæren av ammonium, metan, nitrogen, karbondioksid og det var ingen oksygen tilstede. Ved at plantene kom ble CO<sub>2</sub> forbrukt og vi fikk dannet oksygen, som igjen var med på å forandre atmosfæren (Riebeek 2011).

Syklusen veldig forenklet stater med CO<sub>2</sub> i atmosfæren som blir tatt opp av plantene, og danner oksygen, dette krever også selvsagt at vann og energi fra sollys er tilstede. Plantene kan videre bli spist opp av andre organismer, til slutt vil karbonet ved ulike form av nedbrytning havne ut i atmosfæren, men kan også bli løst opp i hav eller bli lagret i jord. Dette er en veldig forenklet forklaring.

Syklusen er nødvendig for livet på kloden. Problemet er derimot at kloden kan ta opp ca halvparten av karbonet, og dermed går man i pluss årlig i mengde karbon som ikke kan bli tatt opp. Dette er det som igjen bidrar til oppvarmingen av kloden, med tanke på at kilder som karbondioksid holder på

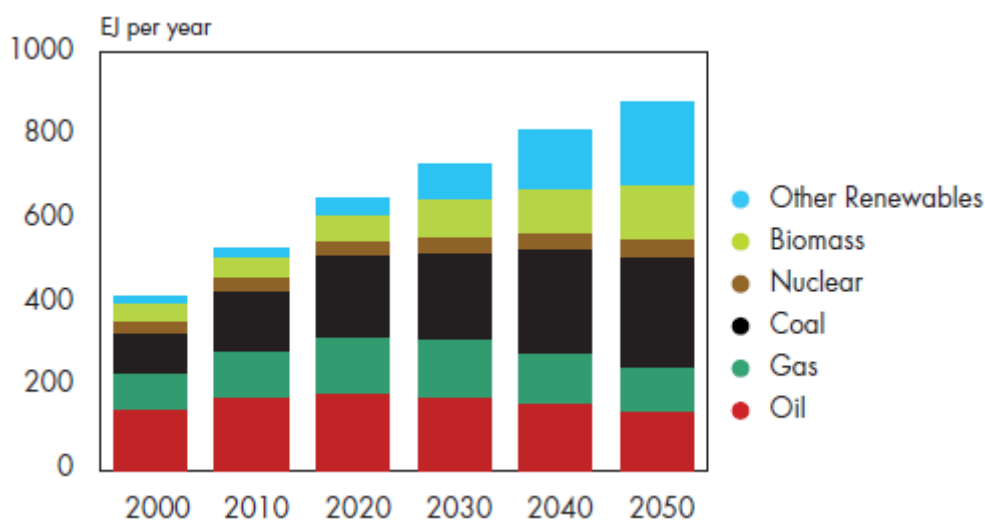


varmen fra solen, og trenden for utslippene blir større år etter år. Det er spesielt fossile karbon kilder som er av viktighet, disse har blitt lagret gjennom millioner av år, og ved menneskelig inngrep så blir disse kildene brukt til energi, og karbon som ikke er med i karbon syklusen blir nå en del av syklusen (Riebeek 2011).

Det finnes også andre drivhusgasser, som metan, lystgass og andre F-gaser, men ingen av disse øker i like stor grad sammenliknet med karbon utslippene (IEA 2015).

### 1.2.2 Ulike energikilder

Som nevnt tidligere så utgjør fossile energikilder for mye av utslippene i verden, fra figur 4 under ser vi at olje med kull står for meste av energi forsyningen de seneste årene, forsyninger som atomkraft, vannkraft, biologiske energi kilder utgjør en relativ liten del av verdens totale energi forsyning, men i årene fremover ser stadig flere til fornybar energi som fremtiden. Der det en dag erstatter kilder som olje, kull.



Figur 4: Energi behov fra ulike kilder (Shell 2008).

Fra figur 4 ser man også at det er forventet at utnyttelsen av kull er forventet å øke, ettersom oljen blir vanskeligere å finne og at store reserver av kull er lett tilgjengelig rundt omkring i verden. Dette vil føre til at land som ikke for dekket energibehovet sitt i fremtiden ved en situasjon der olje produksjonen ikke er nok for å dekke etterspørselen, kommer noen land til å se til kull som en enkel utvei for å dekke behovet, men det er forventet at dette er en midlertidig løsning og at energi fra biomasse og ande fornybare energi kilder vil vokse for å ta over for de sektorer som bidrar mest med CO<sub>2</sub> utslipp (Shell 2008).

### 1.3 Biogass

Biogass er et naturlig fenomen og kan observeres i naturen ved eksempelvis sumper, biogass innholdet består for det meste av metan(CH<sub>4</sub>) og karbondioksid(CO<sub>2</sub>), men det finnes spor av andre gasser. I naturen skjer dannelsen ved at organisk materiale blir byttet ned av bakterier i et miljø der oksygen ikke er tilstede.

Biogass i dag er utbredt og tatt i bruk mange steder, vi må helt tilbake til 3000 B.C for å finne de første bruks områdene, der gamle sivilisasjoner brukte anaerob nedbrytning for rensing av avfall. Se tabell under for noen av de tidligste periodene som forbindes med biogass og anaerob nedbrytning.

**Tabell 3: Perioder og biogassutvikling, basert ut i fra (Deublein and Steinhauser 2008).**

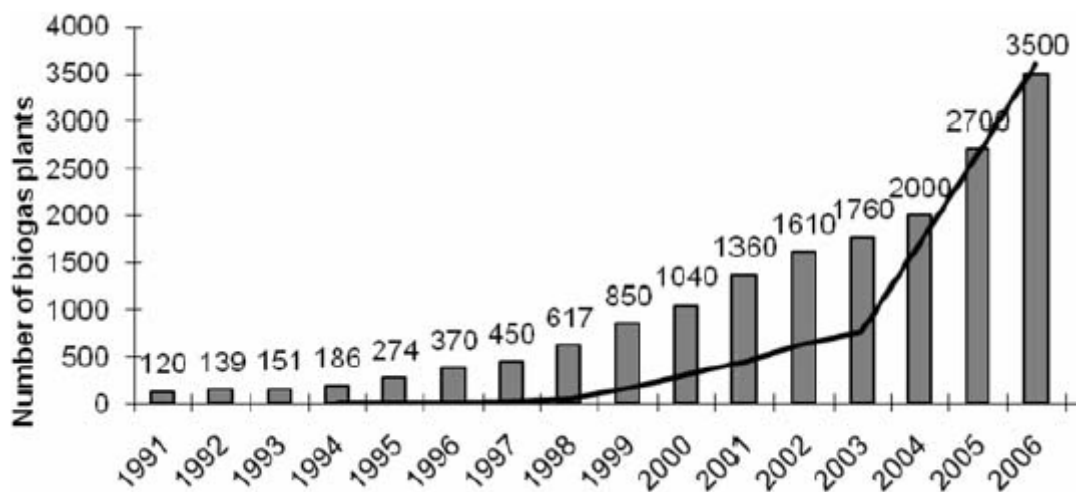
Periode	Hva ble oppdaget
3000BC	Noen av de tidligste sivilisasjoner tar i bruk anaerob nedbrytning
50BC	Den romerske vitenskapsmannen Pliny oppdager aktivitet av lys under overflaten av en sump.
1776	Alessandro Volta tar prøver av biogass, og oppdager sammenhengen mellom fermentering og gass formeringen, og at det kan være eksplosivt ved en blanding av luft tilstede.
1800 tallet	Engelske fysikeren Faraday gjør eksperimenter med sump gas og oppdager hydrokarboner i gassen.
1804 - 1810	Dalton, Henry og Davy gjør den første kjemiske beskrivelsen av metan.
1821	Avogadro beskriver den kjemiske strukturen av metan(CH <sub>4</sub> ) som kjent i dag.
1876	Herter oppdager at acetat i svartvann, støkiometrisk danner metan og karbondioksid i lik stor mengde.
1884	Louis Pasteur brukte avfall fra hest til å produsere biogass.

Tabell 3 tar for seg de tidligste bidragsytere som bidro til biogass forskningen, men det finnes mange flere som også har bidratt. Det er spesielt i 1900 tallet at aktivitet rundt område skjøt fart der ble gjort framskritt rundt svartvann og metan produksjon, men også kjemiske oppdagelser som økte forståelsen rundt prosessene som må til for en slik produksjon (Deublein and Steinhauser 2008).

I Tyskland så ble metan gas først solgt i 1923, og årene etter dette fortsatte utviklingen, og ble mer og mer normal i Europa. Utviklingen innen biogass fortsatte helt frem til andre verdenskrig, og årene etter minket etterspørselen betraktelig pga lett tilgjengelig olje og høye kostnader med å driver biogass anlegg. Det var først rundt 1970 tallet at etterspørsel for biogass økte, igjen så var dette knyttet opp mot olje, som nå hadde økt betraktelig i pris. Biogass teknologien har de senere årene fortsatt å øke, og har 3 bruks områder i dag (Deublein and Steinhauser 2008).

1. Energiproduksjon
2. Resirkulering/gjenvinning
3. Avfalls håndtering

Det er spesielt landbruks industrien som har vært positive til slik teknologi, men prosessen for produksjon av biogass har også blitt vanlig i avfalls rensing der anaerob nedbrytning blir benyttet (Deublein and Steinhauser 2008).



Figur 5: Antall biogass anlegg i Tyskland i perioden 1991-2006 (Deublein and Steinhauser 2008).

Satsingen av fornybare energikilder har virkelig hatt en positiv trend som vist i figur 5, men det er ikke bare i Europa teknologien blir brukt. Siden det biogass teknologien er en relativ enkel teknologi har det også vært en enorm utvikling i Asia, henholdsvis Kina, der antallet på reaktorer har sett en lignende trend som vist i figur 5. Under følger noen av de positive sidene ved biogass anlegg (Deublein and Steinhauser 2008).

- Enkel teknologi
- Lett å installere
- Lave kostnader
- Lite areal kreves
- Enkelt å drifte

Med tanke på fremtidig vekst for sektoren så kan den enorme folkemassen i Asia med Kina og India i førersete ha en betydelig vekst potensiale, men teknologien brukes rundt om i verden og er et spennende alternativ for utviklings land, der kostnader spiller en stor rolle for valg av løsninger.

## 1.4 Problemstilling

Med de stadige økende problemene knyttete til klima relaterte spørsmål og faren for irreversible konsekvenser er det kritisk å tenke nytt. Lenge har det vært eksperimentert med fornybare energikilder, vind, vann, termisk, sol, for å nevne noen.

Noe som det ikke er så mye forskning tilgjengelig på er svartvann, fraksjonen avløpsvann som kommer fra klosett avløp (avføring, urin). Det interessante med svartvannet er at det inneholder organisk materiale som er konsentrert en tradisjonell kommunalt avløpsvann som er mer fortynnet og kan være en løsning med tanke på en viktig fornybar ressurs, samt ved anaerob reaktorer kan vi også få energi utbytte.

I gradsoppgaven så blir biogasspotensiale i svartvannet undersøkt, samt i oppgaven blir det tatt prøver fra utløpet til en UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) reaktor for å se om det er noe mer potensiale igjen for ytterligere reduksjon i organisk materiale. For prøvene fra disse 2 ulike kildene blir det kjørt biogassforsøk for å undersøke dette nærmere.

Fra resultatene ønsker jeg også å si noe om eventuell videre applikasjoner i bruk av slutt produktene til svartvannet og utløpet til UASB reaktoren, med tanke på gjenvinning av viktige næringsstoffer som nitrogen og fosfor.

Problemstillinger beskrives under:

- Biogass potensiale i svartvannet (Hoved problemstilling)
- Biogass potensiale i utløpet til UASB reaktoren
- Si noe om videre bruk for sluttproduktene for de prøver som blir undersøkt.

## 2. Teori

### 2.1 Avløpsvann

Avløpsvannet kan komme fra mange kilder og er ikke bare knyttet oppimot husholdningen, noen typer avløpsvann er beskrevet under i tabell og tabellen er nødvendigvis ikke en komplett liste.

**Tabell 4: Forskjellige typer avløpsvann, modifisert (Henze et al. 2008).**

Avløpsvann fra samfunnet	Avløpsvann fra behandlingsanlegg
Kommunal avløpsvann	Slamvann ved slamstabilisering
Avløpsvann fra institusjoner	Slamvann ved slamavvanning
Avløpsvann fra industri	Drensvann
Fremmedvann i avløpsnett	Vann ved spyling av utstyr
Overvann	
Avløpsvann fra spredtbebyggelse	

Tradisjonelt sett er det vanskelig å si noe om avløps kvaliteten siden denne kan variere med mange faktorer, disse kan variere fra land til land, industri til industri og person til person. Spesielt vil atferd, livstil og økonomiske faktorer spille en rolle for eksempelvis avløpsvann fra husholdninger, men også tettheten av befolkning vil spille en rolle i kvaliteten i avløpsvannet, infrastrukturen av avløpsnett kan også være med på å forandre kvaliteten, ved eksempelvis innlekking av fremmedvann inn i nettet (Henze et al. 2008).

Under følger tabell som viser variasjoner i kvaliteten av avløpsvann i noen land.

**Tabell 5: Sammensetning av avløpsvann i utvalgte land, modifisert (Hanjra et al. 2012).**

Parameter (mg/l)	USA	Frankrike	Marokko (Boujaad)	Pakistan (Faisalabad)	Jordan (As-Mara)
BOD	400-110	400-100	45	762-193	152
CODt	1000-250	1000-300	200	103-83	386
SS	350-100	500-150	160	658-76	-
TKN	85-20	100-30	29	-	28
TP	15-4	25-1	5-4	-	36

**Tabell forklaring: står BOD (Biochemical oxygen demand), COD (Chemical oxygen demand), SS (suspended solids), TKN (Total, Kalium, Nitrogen), TP (total fosfat). Parameter vil bli forklart i underliggende delkapitler.**

Tabellen over tar for seg noen land og viser variasjonen fra de ulike landene, her vil naturligvis livstil og økonomiske faktorer spille en rolle, antall spylinger ved toalett kan også ha en betydning for kvaliteten i avløpsvannet.

Avløpskvaliteten har også helserisiko elementer knyttet seg, med mikroorganismer som utgjør denne største trusselen. Det skyldes først og fremst smitterisiko via menneskelig avføring der mikroorganismer kan smitte over til individer. Under følger tabell for eksempler på patogene mikroorganismer som kan komme fra menneskelig avføring.

**Tabell 6: Eksempler på patogen mikroorganismer som kan komme fra menneskelig avføring med tilhørende sykdommer og symptomer (Friborg 2015).**

Gruppe	Mikroorganismer	Sykdom og symptomer
Bakterie	<i>Aeromonas</i> spp.	Gastroenteritt – magesmerter, kramper, diaré, dehydrering og feber; Guillain-Barré-syndrom
	<i>Campylobacter jejuni/coli</i>	Campylobakterinfeksjon – diaré, kramper, magesmerter, feber, kvalme
	<i>Escherichia coli</i> (EPEC, ETEC, EIEC, EHEC)	Gastroenteritt – magesmerter, kramper, diaré, dehydrering og feber
	<i>Pleisimonas shigelloides</i>	Gastroenteritt – magesmerter, kramper, diaré, dehydrering og feber
	<i>Salmonella typhi/paratyphi</i>	Tyfoid-/paratyfoidgeber – hopepine, feber, allmenn sykdomsfølelse, anoreksi, forstoppelse, bradykardi, splenomegali, hoste
	<i>Salmonella</i> spp.	Salmonellose – diaré, feber, magekramper
	<i>Shigella</i> spp.	Shigellose – dysenteri (blodig diaré), oppkast, kramper, feber; Reiters sykdom – artritt, konjunktivitt, uretritt
	<i>Vibrio cholerae</i>	Kolera – vanntynn diaré, stort væsketap, dødelig om alvorlig og ubehandlet
	<i>Yersina</i> spp.	Yersinose – diaré, feber, magesmerter, leddsmerter, utslett
	Virus	Enterisk adenovirus 40 og 41
Adenovirus (flere typer)		Luftveisinfeksjoner, øyeinfeksjoner
Astrovirus, Calicivirus Norovirus, Rotavirus		Gastroenteritt – magesmerter, kramper, diaré, dehydrering og feber
Coxsackievirus(A og B)		Coxsackievirusinfeksjon – infeksjon i for eksempel munn, svelg, muskulatur, hjernehinne (meningitt), lungesekk, og hjerte; Luftveisinfeksjoner; Gastroenteritt
ECHO-virus		Aseptisk meningitt – hodepine, kvalme, svimmelhet, lysskyhet og nakkestivhet; encefalitt – ofte uten symptomer, men sterke psykiske forstyrrelser forekommer
Hepatitt A-virus, Hepatitt E virus		Hepatitt – infeksjon i leveren, feber, allmenn sykdomsfølelse, anoreksi, kvalme, magesmerter, gulsott
Poliovirus		Poliomyelitt – ofte asymptomatisk, feber, kvalme, oppkast, hodepine, lammelser
Parechovirus		Parechovirusinfeksjon – gastroenteritt, luftveisinfeksjon, meningitt, encefalitt og neonatal sepsis. Infiserer som regel bare små barn
Parasittiske protozoer		<i>Cryptosporidium parvum</i>
	<i>Cyclospora cayetanensis</i>	Ofte asymptomatisk; diaré og magesmerter
	<i>Entamoeba histolytica</i>	Amøbedysenteri – blodig diaré, feber, nedsatt almenntilstand, men ofte asymptomatisk
	<i>Giardia intestinalis</i>	Giardiasis – diaré, magesmerter, vektapp, allmenn sykdomsfølelse
Helminter (Innvollsormer)	<i>Ascaris lubricoides</i> (rundorm)	Ascariasis – generelt asymptomatisk, tung pust, hosting, feber, forstoppelse
	<i>Trichuris trichiura</i> (piskeorm)	Trichuriasis – generelt asymptomatisk, diaré hos små barn

	<i>Ancylostoma duodenale</i> / <i>Necator americanus</i> (hakeorm)	
	<i>Ancylostoma duodenale</i> / <i>Necator americanus</i> (hakeorm)	Ankylostomiasis – blodmangel, magesmerter, diaré; hakeorminfeksjon – ofte asymptomatisk, diaré og jernmangelanemi
	<i>Schistosoma</i> spp. (blodsnyltere)	Schistosomiasis (bilharzia)– kløe, betennelser i urinblæren, urinveier, tykktarmsveggen, fibrose, blodig diaré, blodig urin

Typiske konsentrasjoner av noen av de mikroorganismene nevnt i tabellen over i et typisk kommunalt avløp er vist under i tabell.

**Tabell 7: Konsentrasjon av mikroorganismer i avløpsvann, antall mikroorganismer pr 100ml.modifisert (Henze et al 2008).**

Mikroorganismer	Høy	Lav
<i>E.coli</i>	$5 \cdot 10^8$	$10^6$
<i>Salmonella</i>	300	50
<i>Campylobacter</i>	$10^5$	$5 \cdot 10^3$
<i>Giardia</i>	$10^3$	$10^2$
<i>Enerovirus</i>	$10^4$	$10^3$
<i>Rotavirus</i>	100	200

Avløpsvannet kan også ha innhold av metaller som kan påvirke kvaliteten til avløpsvannet, spesielt blir dette viktig med tanke på å bruke ressurser som er tilgjengelig i avløpsvannet som nitrogen og fosfor til bruk i landbruket. Hvis vi tar i betraktning at verdens befolkning er økende og behovet for mat vil øke og dermed også behovet for viktige næringsstoffer til plantene, før man kan bruke avløpsvannet til for eksempel gjødsling så er det viktig å ta i betraktning at det noen risikoer knyttet oppimot dette, noe av disse er relatert til tung metall innhold (Kalavrouziotis et al. 2008). Det er også risiko knyttet til smittefare ved eksempelvis virus infeksjon via planter som har fått tilført avløpsvann som et gjødslings produkt (Hamilton et al. 2006).

## 2.2 svartvann

Vi kan dele avløpet fra husholdningen i 3 deler (De Mes et al. 2003):

1. Svartvann (Fraksjon avløp som kommer fra toalettet)
2. Gråvann (Fraksjon som ikke kommer fra toalett, eksempelvis fra vask, dusj)
3. Kombinasjon av svartvann og gråvann (Kombinasjon av gråvann og svartvann og i tillegg overvann og drensvann)

Svartvannet kan betegnes som fraksjonen av avløpsvann som kommer fra toalettet og inneholder menneskelig avføring og urin, samt eventuelle kjemikalier (De Mes et al. 2003), svartvannet har dermed høy organisk materiale konsentrasjoner, samt fosfor og nitrogen konsentrasjoner (Graaff et al. 2010; Todt et al. 2015; Todt et al. 2014). Vi kan også anta at svartvannet vil være påvirket av fortynninger som eventuelt skjer ved spyling av toalettet flere ganger, ved bruk av vakuumpolettet blir dette dermed annerledes og vi får ikke like stor grad av fortykning i konsentrasjonene, siden vakuumpoletter bruker mindre vann ved spylingen (De Mes et al. 2003).

Svartvannet har i seg viktige fornybare ressurser som kan brukes til dyrking av mat, spesielt gjelder dette for fosfor og nitrogen som er viktig for plantevekst, men har i likhet med tradisjonelt kommunalt avløpsvann også sykdomsfremkallende mikroorganismer tilstede som kan være en helsefare. Alternativet som gir mest utbyttet med tanke på gjenvinning av ressurser vil være å ta i bruk vakuumpoletter for å få konsentrerte løsninger som ikke er så fortyknet (Kjerstadius et al. 2015).

## 2.3 Svartvann parametere

I dette kapitlet vil noen parametere som beskriver avløpsvann kvaliteten bli nevnt, jeg velger å fokusere på de parametere som var mest relevant for oppgaven og som ble brukt i forbindelse med oppgaven.

### 2.3.1 pH

pH brukes for å si noe om surhetsgrader til en løsning, dvs  $H_3O^+$  ioner i løsningen. Det blir veldig ofte forenklet til konsentrasjonen av  $H^+$  ioner, angitt i mol /l, pH kvaliteten kan måles ved pH- meter som måler  $H^+$  konsentrasjonen ved en elektrode. (Ødegaard 2014).

pH verdien kan defineres som negative logaritmen av konsentrasjonen av  $H^+$  ioner i vannet, uttrykket under. pH verdien blir dermed viktig for mange likevekts reaksjoner der konsentrasjonen av  $[H^+]$  ioner inngår.

$$pH = -\log [H^+]$$

Det er vanlig å betegne et vann som nøytral, surt eller basisk, med følgende pH verdier.

- Nøytral ved pH 7
- Surt ved pH mindre enn 7
- Basisk ved pH større enn 7



### 2.3.2 Temperatur

Temperaturen er en parameter som påvirker andre parametere i en løsning, for å nevne noen, tetthet, viskositet, oksygeninnhold, men den er også viktig for de biologiske prosesser og kjemiske reaksjoner i en løsning og en økning av temperatur kan øke hastigheten ved ulike prosesser og reaksjoner.

(Ødegaard 2014).

Temperaturen kan være en god indikator for hvilket rense metode som kan være mest effektivt. Ved høye temperaturer kan biologiske rensetrinn vurderes, eksempelvis anaerobe nedbrytnings prosesser.

Temperaturen spiller også en rolle for pH, ved nøytral pH ved 25 grader celsius er pH 7, og ved lavere temperaturer øker denne, eksempelvis ved 10grader celsius blir nøytral pH 7,27.

(Ødegaard 2014).

### 2.3.3 SS

Suspendert tørrstoff(SS) sier noe om hvor mye av det totale tørrstoffet i en løsning som er over en viss størrelse, og parametere baserer seg på vekt måling av partikler over en gitt størrelse, det er vanlig å filtrere løsningen gjennom et filter med en viss lysåpning, for å så tørke og veie materialet (Ødegaard 2014). Det finnes ulike filter med ulike lysåpninger og man må bestemme hvilke lysåpning man skal benytte.

### 2.3.4 TS

Tørrstoff(TS) er den vannfrie løsningen av en prøve. Dette kan gjøres ved å tørke en løsning med vann innhold for å fordampe vann delen av løsningen. Produktet etter tørkingen er Tørrstoffet. (Ødegaard 2014).

### 2.3.5 VS

Flyktig tørrstoff(VS) kan defineres som vektdifferansen mellom tørrstoff og gløderest. VS brukes når man ønsker å vite hvor stordel av tørrstoffet som er organisk eller uorganisk, dette kan gjøres etter tørking av en løsning, som eksempelvis TS analyse ved 105 grader celsius. Der man forbrenner prøven etter tørking ved 590grader celsius i en forbrenningsovn. Det man sitter igjen med etter forbrenning er det uorganiske stoffet (Ødegaard 2014).

### 2.3.6 COD

COD (chemical oxygen demand) er et mål på mengden organisk stoff ved kjemisk oksidasjon. COD er basert på kjemiske oksidasjons reaksjoner der man kan regne forbruket av oksidasjonsmiddelet til en konsentrasjon av oksygen (Ødegaard 2014).

### 2.3.7 Fosfor

Fosfor i avløpsvann finnes i form av forbindelser beskrevet under:

1. Organisk bundet fosfor
2. Uorganisk fosfor, deles i 2 kategorier.
  - Orthofosfat ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  og  $\text{PO}_4^{3-}$ )
  - Tripolyfosfat ( $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$  og  $\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$ )

Der summen av disse utgjør total fosfor(tot-P)

Det meste av fosforet i avløpsvannet finnes som orthofosfat, som er en forbindelse som planter kan ta opp og nyttiggjøre (Ødegaard 2014).

### 2.3.8 Nitrogen

Nitrogen finnes i ulike former vann og slam, disse kan enten være organiske eller uorganiske forbindelser som kan være oppløste, partikkelbundet eller i gassform.

Nitrogen i avløpsvannet kan deles inn følgende:

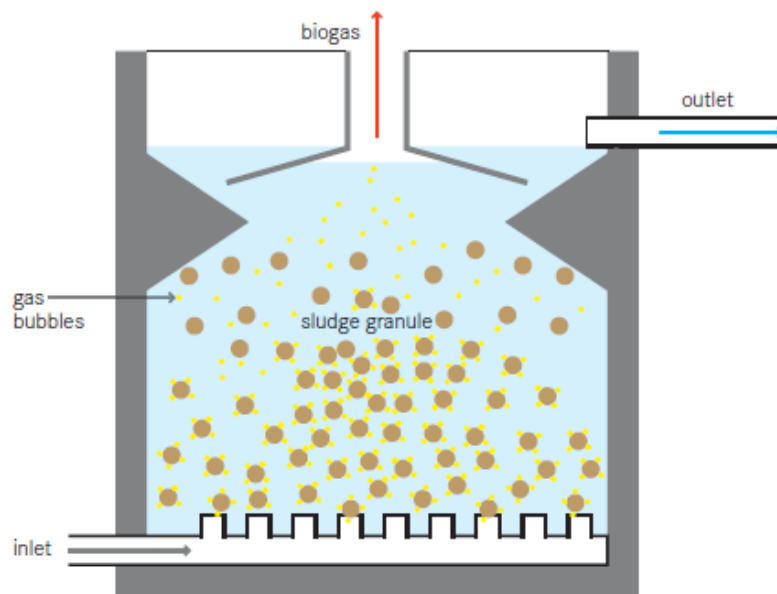
1. Organisk bundet nitrogen
2. Uorganisk bundet nitrogen
  - Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )
  - Nitritt og nitrat ( $\text{NO}_2^-$  og  $\text{NO}_3^-$ )

Der summen av disse utgjør total nitrogen(tot-N) (Ødegaard 2014).

## 2.4 UASB

For behandling av svartvann så har UASB (Upflow anaerobic sludge blanket) reaktor vist seg å være en effektiv måte å behandle svartvannet (Kujawa-Roeleveld et al. 2006), og kan være et alternativ til tradisjonelle aerobe systemer som er mer kostbare med tanke på energibruk sammenliknet med anaerobe systemer som UASB reaktor (Zeeman et al. 2010; Wendland, 2008).

Se under for prinsippskisse av UASB reaktor.



**Figur 6: Figuren viser prinsippskisse av UASB-reaktor (Tilley et al. 2014).**

Systemet ble først beskrevet av Lettinga (Lettinga et al. 1983) Reaktoren består av en tank, der avløpsvannet vil komme inn fra bunnen av tanken og strømme oppover, rensingen av avløpsvannet vil skje via at et slamteppe vil danne seg i bunnen av reaktoren som avløpsvannet må strømme gjennom. Slamteppet i bunn vil være bestående av granuler, som mikroorganismer kan feste seg i og dermed bryte ned det organiske materialet som kommer med avløpsvannet. Granulene vil etter hvert også vokse i størrelse og fungere som et filter for mindre partikler, ved denne nedbrytningen som følge av mikroorganismer så vil det bli produsert metan og karbondioksid som et slutt produkt i denne prosessen, gasses som blir produsert i reaktoren vil bli fanget i toppen av reaktoren og kan brukes som energi (Tilley et al. 2014; Seghezzi 2004)

UASB reaktoren er baserer seg på anaerob nedbrytning, og har derfor noen sterke og svake sider. Under følger tabell med sammenlikning mot et aerobisk system.

**Tabell 8: Sammenlikning av noen parametere anaerobisk og aerobisk prosesser, tilpasset (Sperling et al. 2001)**

Parameter for sammenlikning	Anaerobisk prosess	Aerobisk prosess
Energy behov	Lavt	Høyt
Utbygging av system	Enkel	Komplekst
Slam produksjon	Lavt	Høyt
Næringsbehov	Lavt	Høyt
Reaksjons tid	Lavt	Høyt
Fjerning av næringsstoffer	Lavt	Høyt
Oppstarts periode.	Høyt	Lavt

Ut i fra tabell 8 over så er det spesielt kriterier som energi behov, arealbehov, utbygging som er attraktive for å velge et slikt system, samt at gassen som blir produsert ved anaerobisk prosess kan brukes som energi og investerings kostnadene er lave, dette gjør det spesielt egnet for utviklingsland som ikke nødvendigvis har ressurser for å implementere dyrere alternativer.

Under følger tabell for fordeler og ulemper for behandling av avløpsvannet ved UASB reaktor.

**Tabell 9: Fordeler og ulemper ved behandling av avløpsvannet ved UASB reaktor, tilpasset (TBW 2001).**

Fordeler	Ulemper
Arealeffektiv	Krever spesial kunnskap rundt de anaerobisk prosessene
Kontrollert utslipp av CH <sub>4</sub>	Bedre egnet ved høye temperaturer
Redusering av CO <sub>2</sub> utslipp, ved å ikke benytte fossile energi kilder	CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> og lukt utslipp ved svikt i vedlikeholds og drifts arbeid
Enkel teknologi	Dårlig renseevnen for fjerning av patogene mikroorganismer
Enkle drift ved få mekaniske enheter	Mikrobielle prosesser sensitive for påvirkning for giftige substanser.
Lave investerings kostnader	Lang oppstartstid
Gjenvinning av næringsstoffer	Minimal fjerning av næringsstoffer som nitrogen og fosfor.
Nedbrytning av organisk materiale	
Partikkelreduksjon	

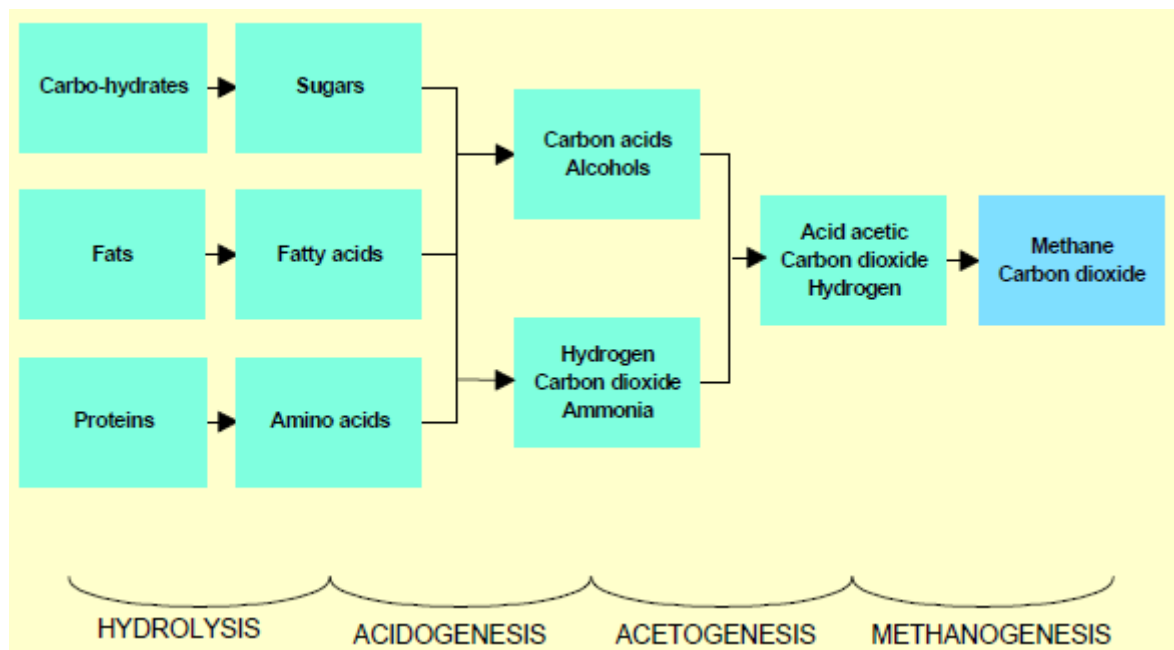
Tabellen over tar for seg noen av fordelene og ulempene, som nevnt over så vil det være dårlig renseeffekt for patogene mikroorganismer som kan utgjøre en helseisiko og flere trinn kan være nødvendig for å møte eventuelle krav. Det blir også nevnt at dårlig effekt for fjerning av næringsstoffer som nitrogen og fosfor, dette kan både være en fordel og en ulempe og må ses i sammenheng med ønsket resultat og videre bruk av utløpet.

## 2.5 Anaerobisk nedbrytning

Anaerobisk nedbrytning(AD) er et naturlig fenomen og kan observeres i naturen ved å observere naturlige nedbrytnings prosesser. Prosessen er kompleks der organisk materiale blir brutt ned og vi kan få metan gass som et produkt, selve prosessen ser skjer uten oksygen tilstede (Seadi 2001).

Prosessen kan deles inn i 4 trinn, hydrolyse, acidogenese, acetogenese og metanogonese, der hvert trinn bryter ned produktet fra tidligere trinn (Al Seadi 2001; Khanal 2008).

Se figur under for illustrasjon av de ulike trinnene.



Figur 7: De 4 trinnene i den anaerobisk nedbrytningen (Al Seadi 2001).

### 2.5.1 Hydrolyse

Hydrolyse er det første steget i den anaerobisk nedbrytningen, her vil materiale som ikke er løst opp bli løst opp ved hjelp av vann (Deublein and Steinhauser 2008). Bakterier i denne prosessen vil være med på å bryte de komplekse forbindelsene som karbohydrater, proteiner og fett. Forbindelser som polysakkarider blir omdannet til monosakkarider, og proteiner blir omdannet til peptider og aminosyrer (ISAT/GTZ 1999).

### 2.5.2 Acidogenese

I dette andre trinnet vil produktene fra hydrolyse prosessen bli omdannet til enklere forbindelser ved hjelp av bakterier, her vil monosakkarider, aminosyrer og fett syrer ble brutt ned til eddiksyre, karbondioksid og hydrogen, og en mindre del til flyktige fett syrer(VFA) og alkohol forbindelser (Big east handbook 2008).

### 2.5.3 Acetogenese

I det tredje trinne acetogenese vil rest produktet fra forrige trinn bli omdannet til hydrogen, karbondioksid og eddiksyre som er nødvendig for å omdannelsen til metan (Vogeli et al. 2014).

## 2.5.4 Metanogonese

Metanogonese er det siste trinne en anaerobisk nedbrytnings prosess. Her vil bakterier i dette trinne ta i bruk produkter som hydrogen og eddiksyre fra forrige trinn og omdanne dette til metan og karbondioksid (Big east handbook 2008).

## 2.6 Parametere som påvirker AD

I dette kapitlet vil bare noen utvalgte parametere beskrives. Det finnes også driftsmessige parametere i forbindelse med optimale forhold i en reaktor ved anaerobe forhold, men disse blir ikke beskrevet med tanke på at gradsoppgaven ikke har fokus på driftsmessige forhold.

### 2.6.1 Temperatur

For anaerobisk nedbrytning så spiller temperatur en stor rolle, vi kan dele temperaturen i 3 deler for mikroorganismer i AD prosessen, se tabell under for beskrivelse.

**Tabell 10: Temperatur inndeling og oppholdstid (Big east handbook 2008).**

Gruppe	Temperatur	Minimum oppholdstid
Psychrophilic	< 20 °C	70 til 80 dager
Mesophilic	30 til 42 °C	30 til 40 dager
Thermophilic	43 til 55 °C	15 til 20 dager

Fra tabell over ser vi en klar sammenheng mellom oppholdstiden og temperaturen, det er også vanlig å anta at temperaturen vil få reaksjoner til å skje fortere. Temperaturen må også være stabil i en AD prosess, da forandring i temperatur kan påvirke en biogass produksjon i en eventuelle reaktor negativt (Deublein and Steinhauser 2008; Big east handbook 2008). Fra tabellen ser vi at ved psychrophilic temperatur så er oppholdstiden lang, og er spesielt ikke godt egnet for en effektiv AD prosess. Gruppe 2 og 3 fra tabellen over blir sett som optimal temperatur for de anaerobisk bakteriene i nedbrytnings prosessen. Der mesophilic temperatur vil gi lengre oppholdstid for eventuell optimal biogass utbytte, thermophilic temperatur vil gi høyere biogass utbytte, men er ikke spesielt egnet utviklings land, da kostnader kan spille en stor rolle (Voegeli 2014; (Mata-Alvarez 2003); Deublein and Steinhauser 2008).

### 2.6.2 pH

pH har vist seg å påvirke veksten av metan dannende mikroorganismer, og kan skje i et pH intervall mellom 5,5 og 8,5, med optimal intervall mellom pH 7 og 8 (Big east handbook 2008), og for pH verdier mindre enn dette så vil metan dannelsen være mindre og omdannelsen vil stoppe ved pH mindre enn 5 (In et al. 2004).

### 2.6.3 Ammonium

Ammonium( $\text{NH}_4^+$ ) er en annen viktig stoff som kan påvirke den anaerobisk nedbrytningen, ved for høye konsentrasjoner av ammonium i en eventuell AD prosess så vil stoffet virke som en inhibitor, bakteriene i metanogonese trinnet er spesielt sensitive til en forandring i ammoniums konsentrasjonen. Konsentrasjonen av ammonium kan ses i sammenheng med temperatur, økning i temperatur vil øke risikoen for at ammonium som en inhibitor (Big east handbook 2008).

#### 2.6.4 C:N forhold

Forholdet mellom karbon og nitrogen i organisk materiale kan uttrykkes ved C:N forholdet, for lavt C:N forhold i et substrat så vil man få økning i ammonium, for høy forhold så vil det være lite nitrogen tilstede som vil påvirker protein forholdet i substratet og dermed påvirke AD prosessen (Deublein and Steinhauser 2008), begge forholdene vil dermed påvirke metanproduksjonen negativt.

### 3. Material og metode

Forsøkene for denne oppgaven ble utført på Norges miljø og biovitenskapelige universitet(NMBU) i Ås. Forsøkene ble utført i laboratoriet i TF fløy 5 og bio og energilabben ved Vollebekk forskningsgård, selve prøvene for forsøkene ble hentet fra vann og avløpslaboratoriet i TF fløy 4.

Forsøks opplegget er delt inn i to deler, måling av ulike parametere ble gjennomført i labben på TF fløy 5 og gass forsøkene ble utført i labben på Vollebekk. Se tabell under for beskrivelse.

**Tabell 11: Tids beskrivelse av forsøkene.**

Dato	Prøve	Hva ble gjort(målinger)
25.01.2016	Svartvann	pH, temperatur, TSS, COD <sub>t</sub> , COD <sub>s</sub> , fosfat( $\text{PO}_4^{3-}$ ), ammonium( $\text{NH}_4^+$ )
27.01.2016	Svartvann	Preparering og klargjøring for gass forsøk
01.02.2016	Svartvann og UASB utløp	pH, temperatur, TSS, COD <sub>t</sub> , COD <sub>s</sub> , fosfat( $\text{PO}_4^{3-}$ ), ammonium( $\text{NH}_4^+$ )
03.02.2016	Svartvann og UASB utløp	Preparering og klargjøring for gass forsøk
12.02.16	Svartvann og UASB utløp	pH, temperatur, TSS, COD <sub>t</sub> , COD <sub>s</sub> , fosfat( $\text{PO}_4^{3-}$ ), ammonium( $\text{NH}_4^+$ )
15.02.16	Svartvann og UASB utløp	Preparering og klargjøring for gass forsøk
22.02.16	Svartvann og UASB utløp	pH, temperatur, TSS, COD <sub>t</sub> , COD <sub>s</sub> , fosfat( $\text{PO}_4^{3-}$ ), ammonium( $\text{NH}_4^+$ )
23.02.16	Svartvann og UASB utløp	Preparering og klargjøring for gass forsøk
17.04.2016	Svartvann og UASB utløp	pH, TSS, VS, COD <sub>t</sub> , COD <sub>s</sub>
18.04.2016	Svartvann og UASB utløp	pH, TSS, COD <sub>t</sub> , COD <sub>s</sub>

Tabellen over viser dato for utføring av forsøkene, etter hvert som prøvene ble plassert i bio energilabben ble det også begynt med måling av trykk, gass og måling ved GC-apparat for de ulike prøvene.



## 3.1 Materiale

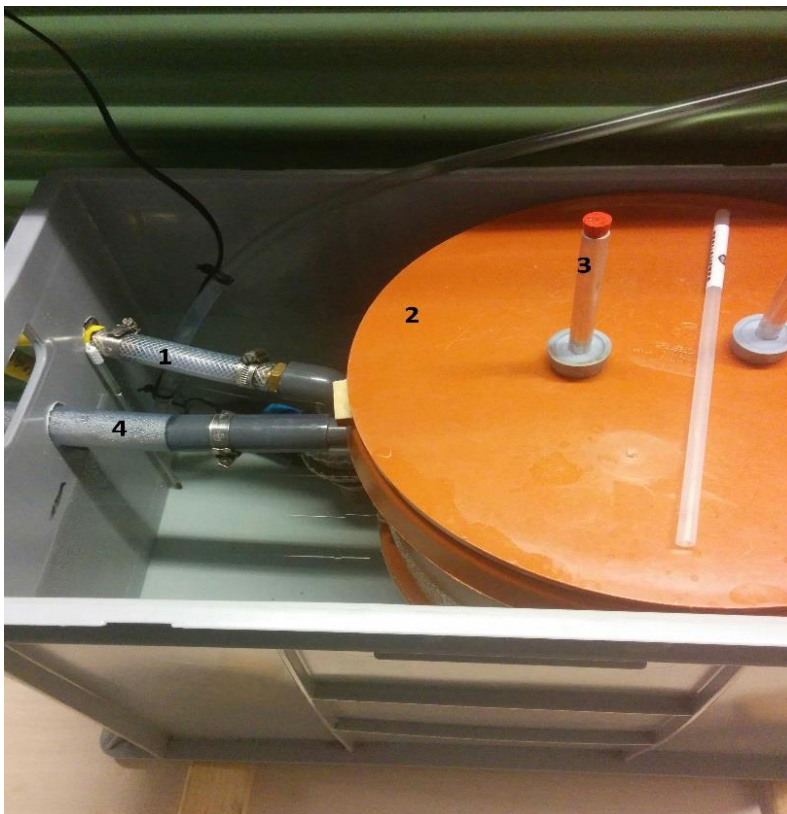
### 3.1.1 Svartvann

Svartvannet for forsøkene ble hentet fra svartvannstanken i vann og avløpslaboratoriet i TF fløy 5, selve tanken mottar svartvannet fra Kaja studentboliger som ligger ved NMBU, studentboligene består av 24 boliger med 48 studenter og har installert vakuumpumper fra Jets der toalettene bruker 1,2 liter pr. spyling. En kvernpumpe (Vacuumator™ 25MB, Jets™) pumper vannet til en pumpeump (500 liter) og blir så pumpet via en ny pumpe (Tsurumi 40U) i et 150meter langt rør (40 mm diameter) til svartvannstanken (700 liter) i TF fløy 5, i selve tanken så skjer det også en omrøring (30rpm) (Todt 2015, Todt et al. 2014).

Det bør nevnes at svartvannet har litt andre forutsetninger enn de tidligere studier gjort ved Kaja student boliger. Det ble meldt om syrevasking av rør, som er et rutinemessig tiltak, noe som kan ha forandre litt på kvaliteten til svartvannet.

### 3.1.2 UASB reaktor

UASB reaktoren for dette forsøket var plassert på vann og avløpslabben i TF fløy 5, og var koblet oppimot svartvannstanken. Reaktoren er utviklet av Rune Bakke ved høgskolen i Telemark og er en kombinasjon av en UASB (upflow anaerobic sludge blanket) og en ABR (anaerobic baffled reactor) med to kammer. Reaktoren har opprinnelig blitt utviklet til stabilisering av husdyrgjødsel (Bergland et al. 2015). Se figur under for reaktor.



Figur 8: Figuren viser UASB reaktoren i forbindelse med forsøket.

Figur 8 viser innløp som går i bunn av reaktoren(1), reaktor kammer(2), gassuttak(3), utløpet for reaktoren(4)

Reaktoren er et lab skala prototyp med et totalvolum av 16.5 liter. Føding skjer med en peristaltpumpe (pumpetype) som er styrt via en frekvensomformer og en PLS. Føding skjer i puls med 45min intervall og 350ml pulsvolum. Hydraulisk oppholdstid (HRT) er 1,5 dager. Parametere var på forhånd justert av veiledere og ble dermed benyttet.

Prøvene for UASB utløp er dermed hentet fra reaktoren.

Det bør nevnes at reaktoren har vært kjørt siden sommer, men stod stille i ca en måned før oppstart, dette pga syrevasking av rør som beskrevet over.

### 3.1.3 Inokulum

Inokulumet for gassforsøkene ble hentet ut fra UASB reaktoren. Det ble tatt ut 2 serier med inokulum. Se tabell under for beskrivelse.

**Tabell 12: Inokulum serier.**

Serie	Kommentar
Inokulum 1	Dette ble tatt ut 200mL inokulum ved starten av forsøket.
Inokulum 2	Et nytt utakk ble nødvendig, da den første prøven ikke var av tilfredsstillende mengde for siste serie.

## 3.2 Formler for beregning

Det ble gjort noen beregninger etter all data var samlet inn. Beregninger ble gjort i sammenheng med gassforsøkene, og for en COD masse balanse.

### 3.2.1 Gass beregninger

Gass beregninger ble gjort, følgende ble målt:

**Tabell 13: Liste over gass beregninger.**

Hva ble målt	Kommentar
Metan volum i mL	Utgangspunkt i ideal gas loven
Spesifikk metan produksjon	Ble beregnet for å få den akkumulerte produksjonen.
Akkumulert metan produksjon	Gjennomsnitt av den spesifikk metan produksjonen, for deretter å akkumulere for hver dag.
Carbon volum i mL	Utgangspunkt i ideal gas loven
Biogass produksjon mL/dag	Sum av metan og Carbon volum i mL
Akkumulert biogass produksjon	Gjennomsnitt av biogass produksjon, for deretter å akkumulere for hver dag.

Beregningen tar utgangspunkt i ideal gassloven og er beskrevet i et annet eksperiment som brukte samme metode for beregning (Estevez et al. 2011).

### 3.2.2 COD masse balanse

I gradsoppgaven så er det utført beregninger knyttet til en COD masse balanse.

Beregningen tar utgangspunkt ideal gass loven, og er hentet fra kalkulasjons metoden som er utviklet av NMBU nitrogen gruppen (Molstad et al. 2007).

$$Mol = \frac{Volume}{R * Temperature}$$

Formelen transformerer gassvolumet til mol og vi for i dette tilfelle mol CH<sub>4</sub>.

De forskjellige verdiene er som følgende:

R = Universell gas konstant, verdien som ble brukt er 0,08205748 l\*atm\*mole<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>

Volum = mL

Temperatur = Kelvin

Ved bruk av formelen over så er det beregnet teoretisk COD som er mulig å redusere.

$$Teoretisk\ COD\ produksjon = mol\ CH_4 * 64g\ O_2\ per\ mol$$

Ved bruk av denne verdien ble det også funnet reduksjon i prosent i flaskene som fikk evakuert(flushe) ut oksygenet før det ble satt i varmeskap.

### 3.3 Metode

For prøvetaking for svartvannet ble det tatt mange prøver fra svartvannet for hver serie, disse ble så blandet godt før eventuell måling av parametere, under måling av parametere ble det passet på at prøvene ble rørt godt før et uttak.

For UASB utløps prøvene ble utløpet samlet opp i en forseglet bøtte, der utløpet ble samlet opp i løpet av 24 timer, bøtten ble så rørt godt før et uttak av prøver til analyse.

Det ble utført målinger for pH, temperatur, COD, fosfat, orthofosfat, ammonium, for prøven.

Prøvene ble så preparert og satt i varmeskap og det utført målinger for trykk, gass og GC.

Data ble så brukt for beregninger.

Til slutt ble pH, VS TSS, CODt og CODs målt for hvert enkelt replikasjon for siste serie som fikk evakuert ut oksygen. Samt en gjennomsnitts målinger for de resterende prøvene der samme parametere ble målt.

COD masse balanse ble gjennomført for siste serie som startet ved anaerobe forhold i prøve flaskene, for deretter bruke dataene for å se hvordan et system med 2 reaktorer kunne eventuelt ha sett ut.

#### 3.3.1 pH

##### Materiale:

pH meter

##### Metode:

Målingen av pH ble gjort ved standard pH meter. pH ble målt for Svartvannet og utløpet til UASB reaktoren. Målingen skjedde før preparering av flaskene.

#### 3.3.2 Temperatur

##### Materiale:

Temperatur måler

Termometer

##### Metode:

Temperatur måling for svartvannet ble avlest ved innebygget temperatur måler i svartvanns tanken, for utløpet til reaktoren ble det benyttet termometer for avlesning av 24 timers prøven.

Temperaturen for gassforsøket ble satt til 28 °C.

### 3.3.3 TSS

#### Materiale:

Vekt (Mettler AT200)  
Aluminiumformet skåler  
Glassfiberfilter (Whatman® GF/C 1,2µm)  
Vakuumpumpe (VWR VP86)  
Filteroppsett for filtrering gjennom glassfiber  
Tørkeskap (Termaks)

#### Metode:

Målingen startet med aluminiumformet skåler med glassfiberfilter lagt i skålen som ble veid, et bestemt mengde(mL) for de ulike prøvene ble valgt som varierte med tykkelsen på prøven som skulle filtreres. Prøven ble så filtrert ved vakuumpumpe og filteroppsett, filtrert ble så satt i skålen igjen, skålen ble plassert i tørkeskap for 2 timer ved 105 °C. Etter tørking ble skålen med filter veid, og det ble gjort en konvertering fra gram til mg/L. Konvertering ut fra formel under.

Konvertering til mg/L:

$$TSS\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{(Vekt\ på\ skål\ med\ filter\ før\ filtrering(g) - Vekt\ etter\ varmeskap(g)) * 1000}{(mengde\ filtrert(mL)/1000)}$$

Det ble tatt 4-5 prøver for svartvanns prøvene og UASB prøvene.

### 3.3.4 COD

#### Materiale:

LCK 014 kyvetter (Hasch Lange)

LCK 514 kyvetter (Hasch Lange)

Oppvarmings apparat (Hasch Lange LT200)

Målings apparat (Hasch Lange DR3900)

#### Metode:

Metoden er beskrevet på pakningen fra Hasch Lange. Figuren under hentet fra pakningen.



**Figur 9: Fremgangsmåte COD analyse.**

Figur 9 over tar for fremgangsmåten beskrevet i kyvetteboksen som ble brukt for COD analysen, kyvettene ble rørt/ristet, 2mL prøve ble tilsatt, rørt/ristet igjen, og satt i oppvarmings maskin for 2 timer ved 148°C, etter oppvarmingen ble prøvene på nytt rørt og kjølt ned før en avlesning ved målings apparat.

LCK014 ble brukt for svartvanns prøvene der løsningen ble fortynnet 1:10, samt utløpet for UASB reaktoren uten noen fortynning. LCK514 ble brukt for prøvene som ble filtrert i sammen heng med TSS forsøket, samt for filtrerte prøver av utløpet til UASB reaktoren.

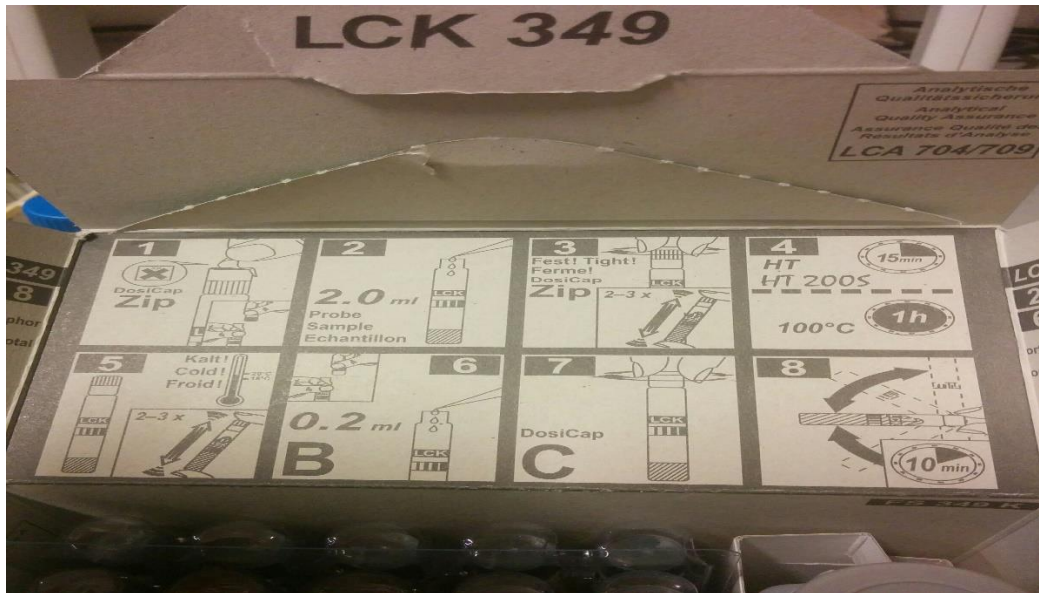
### 3.3.5 Fosfat

#### Materiale:

LCK 349 kyvetter (Hasch Lange)

#### Metode:

Metoden er beskrevet på pakningen fra Hasch Lange. Figuren under hentet fra pakningen.



**Figur 10: Fremgangsmåte fosfat analyse.**

Figur 10 over tar for fremgangsmåten beskrevet i kyvetteboksen for utstyret som ble brukt for fosfat analysen, 2mL løsning ble tilsatt, original lokk på kyvette ble snudd for utblanding av stoff med løsning, prøven ble ristet for god ut utblanding, prøven ble varmet i 1time ved 100°C.

Prøven etter oppvarming ble ristet på nytt, blandet med stoff B (fra figur 10) som ligger inne i pakningen, nytt lokk ble satt på for utblanding mellom kjemikalie i lokket og løsningen, prøven ble ristet på nytt, kjølt ned i 10minuter, for å så avleses i målings apparat.

For svartvannet ble løsningen fortynnet 1:1000, og dermed 2mL av denne ble tilsatt i kyvette. UASB utløpet hadde samme fortynnings faktor.

### 3.3.6 Orthofosfat

#### Materiale:

LCK 349 kyvetter (Hasch Lange)

#### Metode:

Fremgangsmåten er lik den for fosfat, men prøven ble ikke oppvarmet.

Det ble benyttet samme fortynning som for fosfat forsøket.

### 3.3.7 Ammonium

#### Materiale:

LCK 304 kyvetter (Hasch Lange)

#### Metode:

Metoden er beskrevet på pakningen fra Hasch Lange. Figuren under hentet fra pakningen.



Figur 11: Figuren viser fremgangsmåte for ammonium forsøk.

Figur 11 tar for seg fremgangsmåten som følgende, 5mL prøve ble tilsatt kyvette, original lokk ble snudd for utblanding med kjemikalier tilstede og prøven, kyvetten ble så ristet godt, og avlest 15minutter senere ved målings apparat.

Svartvanns prøven ble fortynnet 1:1000, samt ble UASB utløps prøven fortynnet 1:1000. Det ble dermed tatt 5mL fra den fortynnede prøven.



### 3.3.8 VS

#### Materiale:

Keramikk skåler

Tørkeskap (Termaks)

Forbrenningsovn (W.C. Heraeus Hanau MR170)

#### Metode:

Keramikk skåler ble veid, for deretter ble veid igjen med tilsatt 2mL fra de ulike prøvene.

Keramikk skålene med 2mL prøve ble så satt i tørkeskap ved 105 °C for 24 timer og ble veid igjen.

Deretter ble det satt i forbrenningsovn ved 550 °C for 30minutter og veid på nytt.

For å finne VS konsentrasjonen så ble vekt etter 550 °C (ash weight) trukket i fra vekt etter 105 °C (dry weight). Formel som ble benyttet følger under:

$$VS\left(\frac{g}{L}\right) = \frac{\text{Dry weight} - \text{Ash weigh}}{\text{volume} * 1000}$$

### 3.2.9 Gassforsøk

#### Materiale:

120mL glassflasker, med tilhørende forseglings utstyr  
Trykkmåler (Greisinger electronic, GMG 3161)  
Sprøyte  
GC apparat (Agilent technologies, 300A micro GC)  
Varmeskap (Termaks)

#### Metode:

Det ble totalt kjørt 4 serier med svartvann og 3 serier med utløpet til UASB reaktoren.  
Disse ble preparert i små flasker som ble lukket og forseglet, og satt inn varmeskap ved 28 °C.

Gassforsøk ble følgende prøver preparert: (Gjelder for Svartvann serie 1 til 3 og UASB serie 1-2)

#### Svartvann:

- Ufiltrert svartvann 50mL (Totalt 3 replikasjoner)
- Ufiltrert svartvann 45mL med 5mL inokulum (Totalt 3 replikasjoner)
- Filtrert svartvann 50mL (Totalt 3 replikasjoner)
- Filtrert svartvann 45 mL med 5mL inokulum (Totalt 3 replikasjoner)
- Kontroll prøve med 45 mL destillertvann og 5mL inokulum (Totalt 3 replikasjoner)

#### UASB:

- Ufiltrert UASB utløp 50mL (Totalt 3 replikasjoner)
- Ufiltrert UASB utløp 45mL med 5mL inokulum (Totalt 3 replikasjoner)
- Filtrert UASB utløp 50mL (Totalt 3 replikasjoner)
- Filtrert UASB utløp 45 mL med 5mL inokulum (Totalt 3 replikasjoner)
- Kontroll prøve med 45 mL destillertvann og 5mL inokulum (Totalt 3 replikasjoner)

Det ble også til slutt laget en serie med svartvann og UASB utløp, der prøvene fikk evakuert oksygenet ut av flaskene før innsetting i varmeskap, fjerningen av oksygen ble gjort ved å flushe inn nitrogen for å så flushe ut oksygenet, samt tilsvarende prøver i samme serie som ikke fikk fjernet oksygenet.

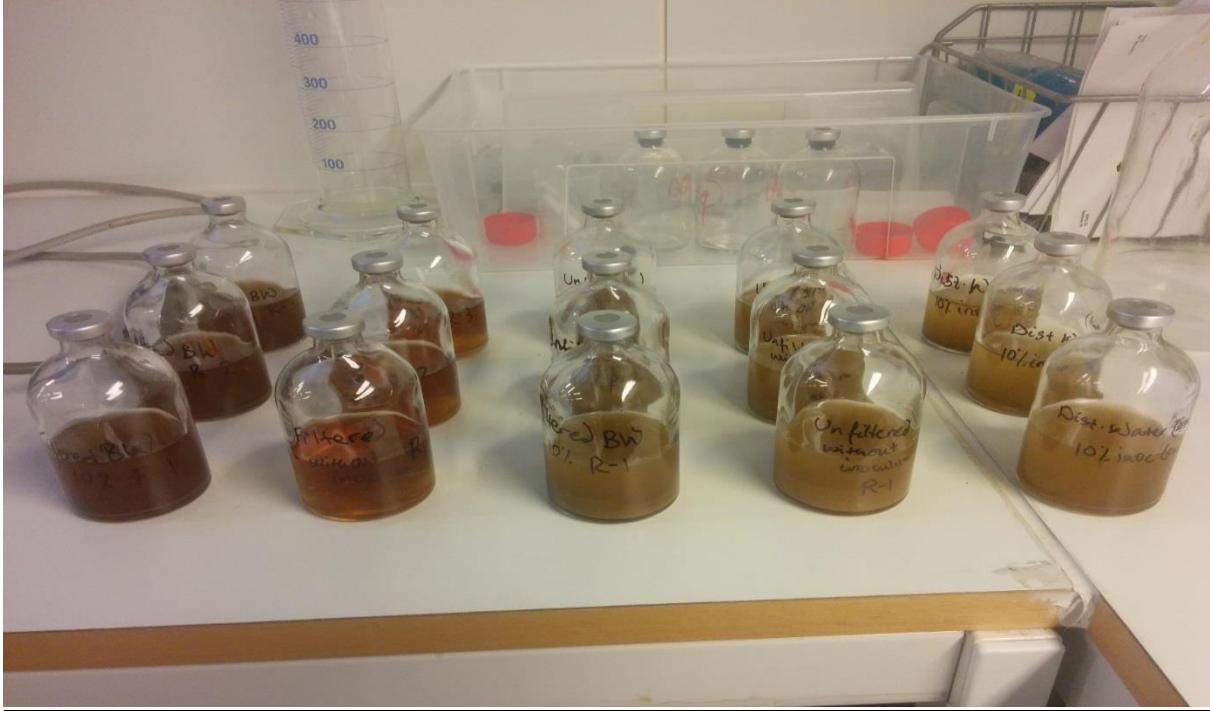
For oversikten under, så blir prøver som fikk evakuert oksygenet ut av flaskene betegnet som "uten oksygen", og prøver med oksygen betegnes som "med oksygen".

#### Svartvann:

- Ufiltrert svartvann 45mL med 5mL inokulum (Totalt 3 replikasjoner) (uten oksygen)
- Filtrert svartvann 45 mL med 5mL inokulum (Totalt 3 replikasjoner) (uten oksygen)
- Ufiltrert svartvann 45mL med 5mL inokulum (Totalt 3 replikasjoner) (med oksygen)
- Filtrert svartvann 45 mL med 5mL inokulum (Totalt 3 replikasjoner) (med oksygen)

#### UASB:

- Ufiltrert UASB utløp 50mL (Totalt 3 replikasjoner) (uten oksygen)
- Ufiltrert UASB utløp 45mL med 5mL inokulum (Totalt 3 replikasjoner) (uten oksygen)
- Filtrert UASB utløp 50mL (Totalt 3 replikasjoner) (uten oksygen)
- Filtrert UASB utløp 45 mL med 5mL inokulum (Totalt 3 replikasjoner) (uten oksygen)
- Ufiltrert UASB utløp 45mL med 5mL inokulum (Totalt 3 replikasjoner) (med oksygen)
- Filtrert UASB utløp 45mL med 5mL inokulum (Totalt 3 replikasjoner) (med oksygen)



**Figur 12: Flasker med forsegling som ble brukt for forsøket.**

Etter at prøvene var satt i varmeskap ble det foretatt trykkmålinger ved trykkmålere, gassmåling for å se om vi fikk noe gassproduksjon ved glass sprøyte, og gass ( $\text{CH}_4$  og  $\text{CO}_2$ ) innholdet i flaskene ble ved hjelp av et GC apparat. Forsøks opplegget er basert på BMP test (Esposito et al. 2012).

Tidsforløpet for serien er beskrevet i tabell under. Her har naturligvis de første seriene vært i varmeskapet lenger, enn de siste prøvene pga tidsmessige forhold knyttet til gradsoppgaven.

**Tabell 14: Antall dager i varmeskap for prøver**

Serie	Dager
Svartvann serie 1	71
Svartvann serie 2	70
Svartvann serie 3	59
Svartvann serie 4	48
UASB serie 1	63
UASB serie 2	49
UASB serie 3	43

Etter avslutning av gassforsøkene, ble parametrene som TSS, VS, CODs og CODt målt for hver enkelt flaske for svartvann serie 4 og UASB serie 3, disse ble valgt med tanke på at prøvene fikk evakuert ut oksygenet ut fra flaskene og er mer representative med tanke på forholdene i UASB reaktoren. For de resterende seriene ble det tatt en gjennomsnittsmåling for de 3 replikasjoner, ved å blande 3 replikasjoner i en flaske for deretter å måle for parametrene som TSS, CODs og CODt.

## 4. Resultat og diskusjon

I dette kapitelet blir resultater vist, samt at diskusjon skjer underveis med resultater.

Først vil parametere knyttet kvaliteten til prøvene ble vist og diskutert, for deretter vise resultatene fra gass beregninger og til slutt resultater knyttet til COD masse balanse samt gjenvinnings muligheter.

### 4.1 Svartvann og UASB parametere

Tabell 15: Resultat fra forsøk pH, temperatur, TSS, COD<sub>t</sub>, COD<sub>s</sub> for svartvann prøver.

Prøve	pH	Temp (°C)	TSS(mg/L)	COD <sub>t</sub> (mg/L COD)	COD <sub>s</sub> (mg/L COD)
Svartvann 1	9,01	15	5032	8990	1987
Svartvann 2	9,01	15	4177	6800	1656
Svartvann 3	8,9	15	4672	7825	1668
Svartvann 4	9,1	15	3800	6900	1473
Gjennomsnitt	9,005	15	4420	7629	1696

Tabell 16: Resultat fra forsøk fosfat, orthofosfat, ammonium, for svartvann.

Prøve	Fosfat (mg/L PO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> -P)	Orthofosfat (mg/L PO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> -P)	Ammonium (mg/L NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N)
Svartvann 1	175	71	1030
Svartvann 2	148	112	1060
Svartvann 3	185	68	1030
Svartvann 4	147	41	1290
Gjennomsnitt	164	73	1103

Tabell 17: Resultat fra forsøk TSS, COD<sub>t</sub>, COD<sub>s</sub>, for inokulum.

Prøve	TSS(mg/L)	COD <sub>t</sub> (mg/L COD)	COD <sub>s</sub> (mg/L COD)
Inokulum 1	9070	20450	525
Inokulum 2	36780	52920	2018

Tabell 18: Resultat fra forsøk pH, temperatur, TSS, COD<sub>t</sub>, COD<sub>s</sub> for UASB reaktor.

Prøve	pH	Temp C	TSS(mg/L)	COD <sub>t</sub> (mg/L COD)	COD <sub>s</sub> (mg/L COD)
UASB 1	7,6	16	2050	4993	2104
UASB 2	8	16	697	2253	1113
UASB 3	7,9	16	1395	3386	1043
Gjennomsnitt	7,833	16	1381	3544	1420

Tabell 19: Resultat fra forsøk fosfat, orthofosfat, ammonium, for UASB reaktor.

Prøve	Fosfat (mg/L PO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> -P)	Orthofosfat (mg/L PO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> -P)	Ammonium (mg/L NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N)
UASB 1	142	46	899
UASB 2	101	71	1040
UASB 3	134	72	987
Gjennomsnitt	126	63	975

I forbindelse med gradsoppgaven ble parametere som pH, temperatur, COD, fosfat, orthofosfat og ammonium målt. Svartvannet som er fra Kaja studentboliger har blitt brukt ved tidligere studie (Todt et al. 2014), sammenliknet med det tidligere studie så er COD målt i svartvanns prøvene ikke så ulikt fra resultatene fra tabell 15, det er derimot pH som skiller seg ut, med pH nærme 9 for alle svartvanns prøvene, ifølge (Chernicharo 2007) så vil optimal pH med tanke på metan produserende mikroorganismer være mellom 6.6 og 7.4, det nevnes også at metan produksjon også er mulig ved høyere pH verdier som ved pH 8, med tanke på pH som ble målt for forsøket i svartvanns prøvene så var pH verdiene ganske høy og den høye pH verdien skyldes et rutinemessig syre vask av rør knyttet til drift ved Kaja student boliger, noe som er uheldig med tanke på tidspunkt.

De samme målingene av parametere ble også foretatt for utløpet til en UASB reaktor, reaktoren hadde stått ute av drift i ca 1-2 måned før den ble gjenoppstartet. Prøvene fra utløpet viste reduksjon i pH, TSS og COD, men ikke særlig reduksjon i parametere som fosfat, orthofosfat og ammonium, se tabell 15, 16, 18 og 19. Det ble totalt tatt 3 prøver og alle hadde en varierende COD verdier, spesielt så var COD verdien på UASB 1 prøven i tabell 16 vesentlig mye høyere enn de de andre prøvene, som kan ha en forklaring i at siden reaktoren ble startet 1uke før prøvetaking, så kan den første prøven ha fått vasket ut granuler og dermed også gitt en tykkere løsning. De andre prøvene (UASB 1 og UASB 2), viste noe tynnere løsninger fra prøvetakingen, noe som tyder på at reaktoren hadde stabilisert seg og dermed også mindre utvasking av granuler.

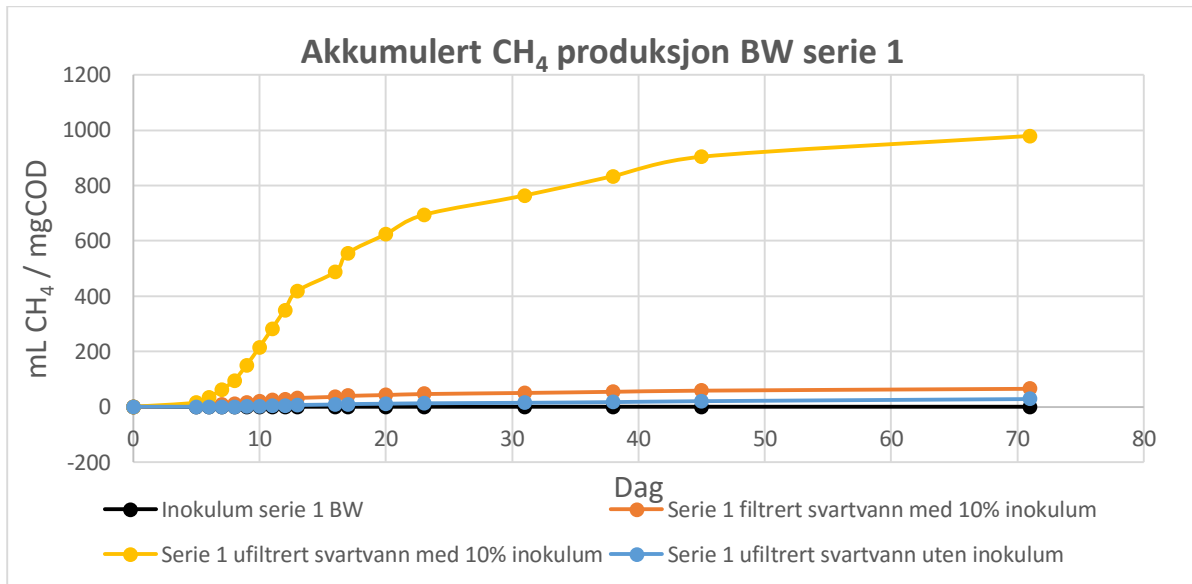
TSS og COD for inokulum brukt, ble målt ved 2 anledninger, først ved start og ved slutt for siste serie. Den andre målingen ble gjort med tanke på for lite mengde inokulum igjen for fullføring av de siste seriene. Inokulum 1 ble brukt for serie 1,2 og 3 for svartvannet, samt serie 1 og 2 for UASB utløps prøvene. For serie 4(svartvann) og serie 3(UASB) så ble prøve nr 2 av inokulumet brukt. Inokulumet viste ved måling av TSS og COD stort forskjell, der inokulum 2 hadde langt høyere verdier i TSS og COD enn inokulum 1, noe som kan forklares ved at reaktoren var ikke i drift ved første uttak, men ved andre uttak så er aktiviteten i reaktoren langt høyere, se tabell 17 for verdier for de ulike inokulum prøvene.

### 4.3 BW Akkumulert metan produksjon

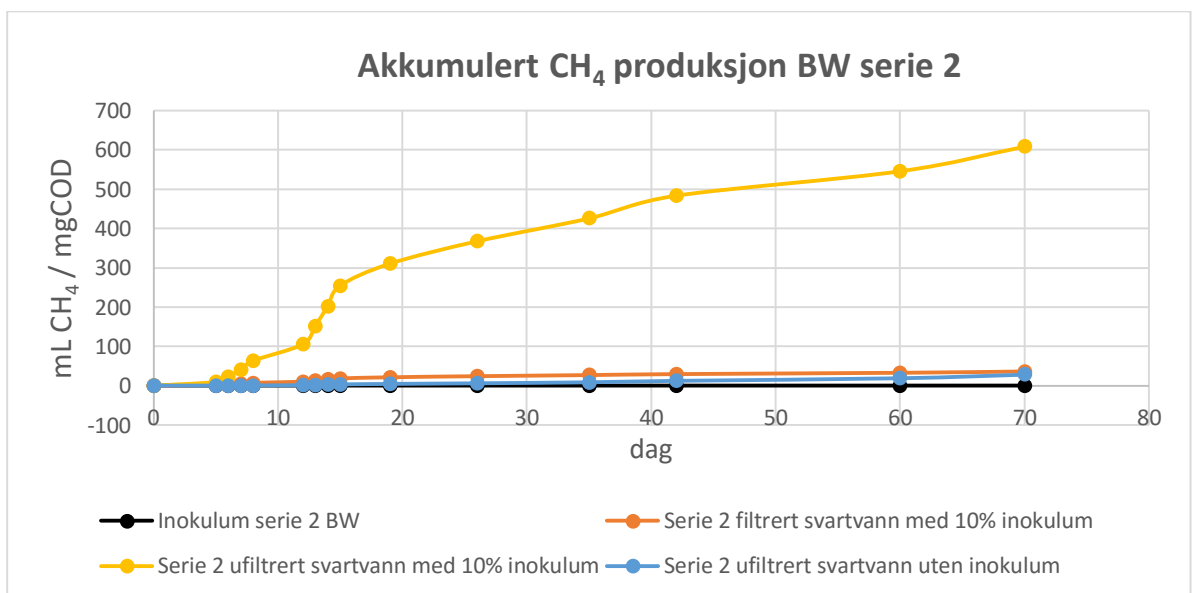
Dette kapitelet tar for resultatene for den akkumulerte metan produksjonen for svartvanns prøvene, samt at diskusjon skjer underveis med resultater.

Resultatene gjelder for svartvann(BW) serie 1, serie 2, serie 3.

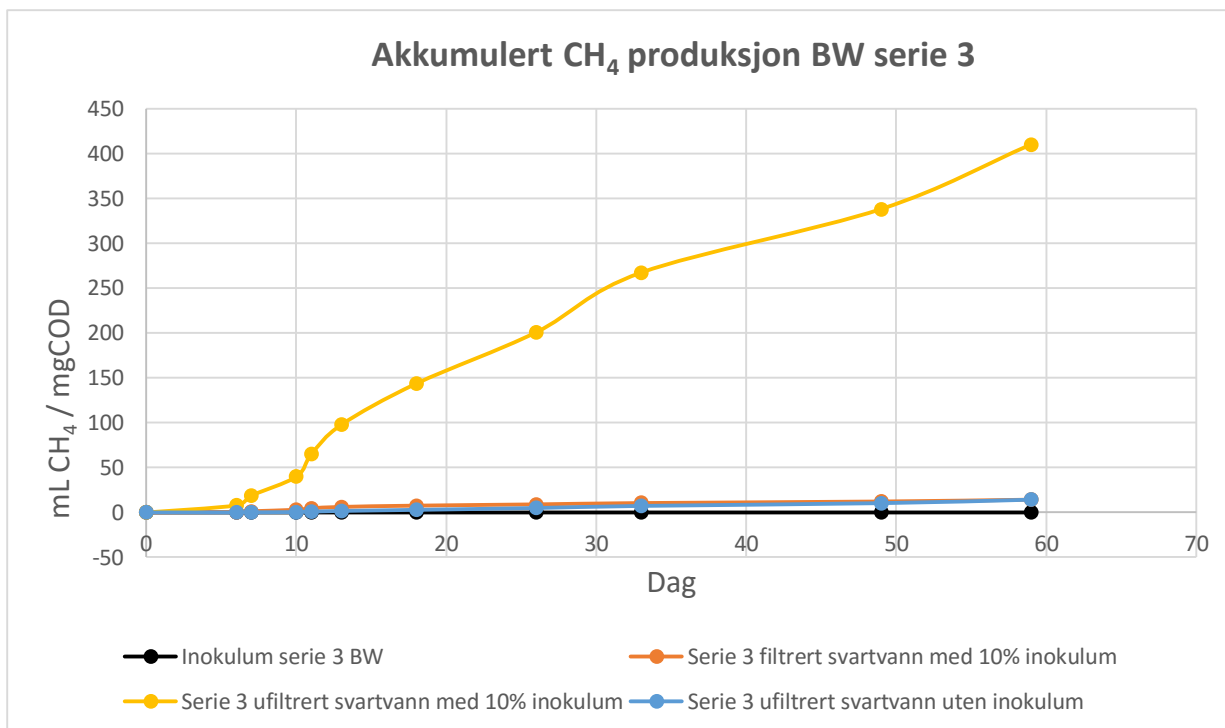
For serie 4 så ble det ikke kjørt beregninger på akkumulert metan produksjon pga manglende mengde av inokulum. Det ble dermed kjørt akkumulert biogass produksjon som blir vist kapitel 4.5.



Figur 12: Akkumulert CH<sub>4</sub> produksjon BW serie 1.



Figur 13: Akkumulert CH<sub>4</sub> produksjon BW serie 2.



**Figur 14: Akkumulert CH<sub>4</sub> produksjon BW serie 3.**

Over vises resultatene for serie 1, 2 og 3, fra figurene over ses et ganske likt resultat med høyest metan produksjon for prøvene med Ufiltrert svartvann med tilsetning av inokulum, de resterende prøvene viser et langt mindre metan produksjon sammenliknet med den ufiltrert svartvanns prøven med inokulum. Grunnet veldig tette verdier for noe av prøvene, blir resultater for de ulike prøvene med tanke på slutt akkumulert metan produksjon vist under.

**Tabell 20: Akkumulert metan produksjon (slutt verdi) Svartvann serie 1.**

Prøve	Antall dager for forsøk	Akkumulert metan produksjon (mL CH <sub>4</sub> / mgCOD), slutt verdi
Inokulum	71	0,12
Filtrert svartvann med 10% inokulum	71	66,55
Ufiltrert svartvann med 10% inokulum	71	978,58
Ufiltrert svartvann uten inokulum	71	28,75

Fra tabellen over ser vi at inokulumet i seg selv ikke produserer mye metan, men i kombinasjon med substrat produserer langt mer enn substratet alene, dette kommer tydelig frem ved spesielt ufiltrert svartvanns prøve uten inokulum som hadde verdi på 28,75 ml CH<sub>4</sub> / mgCOD, sammenliknet med ufiltrert svartvann prøve med inokulum så hadde en verdi på 978,58 ml CH<sub>4</sub> / mgCOD.

**Tabell 21: Akkumulert metan produksjon (slutt verdi) Svartvann serie 2.**

Prøve	Antall dager for forsøk	Akkumulert metan produksjon (mL CH <sub>4</sub> / mgCOD), slutt verdi
Inokulum	70	0,052
Filtrert svartvann med 10% inokulum	70	36,05
Ufiltrert svartvann med 10% inokulum	70	608,23
Ufiltrert svartvann uten inokulum	70	28,69

Tabellen over tar for seg sluttverdiene for serie 2, med tanke på den akkumulerte metan produksjonen.

Resultatene for denne serien viser også en lignende trend i sluttverdier, igjen så produserer inokulumet i seg selv ikke mye metan, men i kombinasjon med substrat produserer langt mer enn substratet alene, dette kommer tydelig frem ved spesielt ufiltrert svartvanns prøve uten inokulum som hadde verdi på 28,69 ml CH<sub>4</sub>/ mgCOD, sammenliknet med ufiltrert svartvann prøve med inokulum så hadde en verdi på 608,23ml CH<sub>4</sub>/ mgCOD.

**Tabell 22: Akkumulert metan produksjon (slutt verdi) Svartvann serie 3.**

Prøve	Antall dager for forsøk	Akkumulert metan produksjon (mL CH <sub>4</sub> / mgCOD), slutt verdi
Inokulum	59	0,047
Filtrert svartvann med 10% inokulum	59	14,61
Ufiltrert svartvann med 10% inokulum	59	410,40
Ufiltrert svartvann uten inokulum	59	14,41

Serie 3 med sluttverdier for den akkumulerte metan produksjonen over, viser også en lignende trend som de forrige seriene, igjen så produserer inokulumet i seg selv ikke mye metan, men i kombinasjon med substrat produserer langt mer enn substratet alene, dette kommer tydelig frem ved spesielt ufiltrert svartvanns prøve uten inokulum som hadde verdi på 14,41 ml CH<sub>4</sub>/ mgCOD, sammenliknet med ufiltrert svartvann prøve med inokulum så hadde en verdi på 410,40 ml CH<sub>4</sub>/ mgCOD.

Hvis vi ser alle seriene under ett, så er det variasjoner i metan produksjonen, serie 1 viste høyere verdier enn de to andre seriene (2 og 3) dette skyldes trolig variasjonen i COD for de ulike seriene vist i tabell 15, fra tabellen ser vi variasjoner i COD<sub>t</sub> noe som ser ut til å spille en rolle med tanke på metan produksjonen. Serie 1 som hadde høyere COD<sub>t</sub> verdi enn de andre seriene (2 og 3) viser høyere metan produksjon som sett i figur 14. Det må også huskes at for serie 3 så er forsøks perioden mindre og dermed er sluttverdiene bare for etter 59 dager.

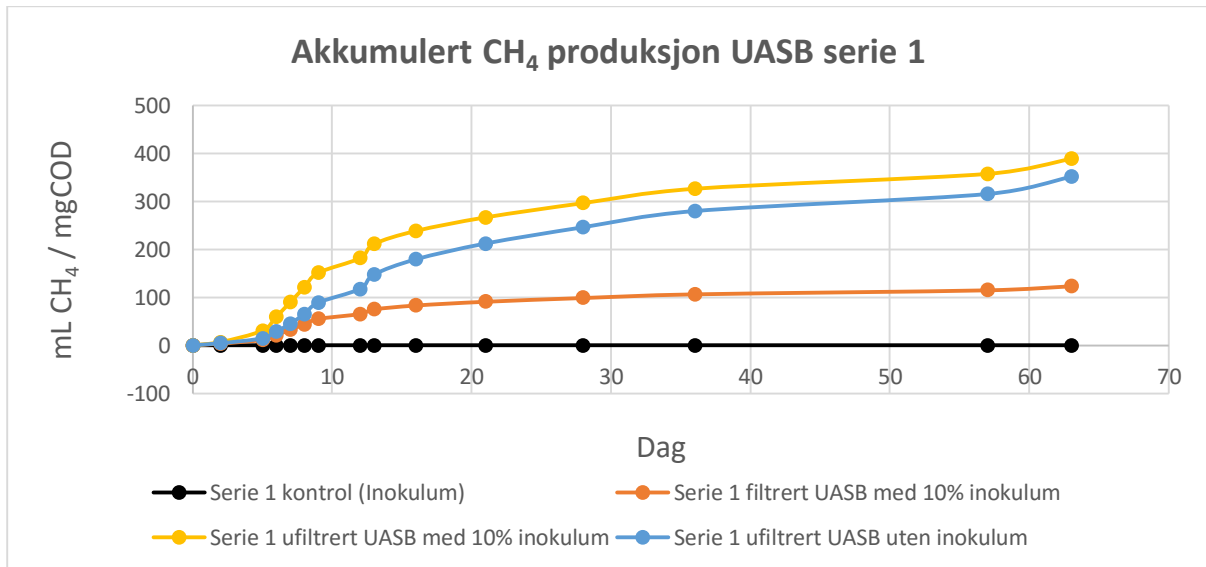


#### 4.4 UASB Akkumulert metan produksjon

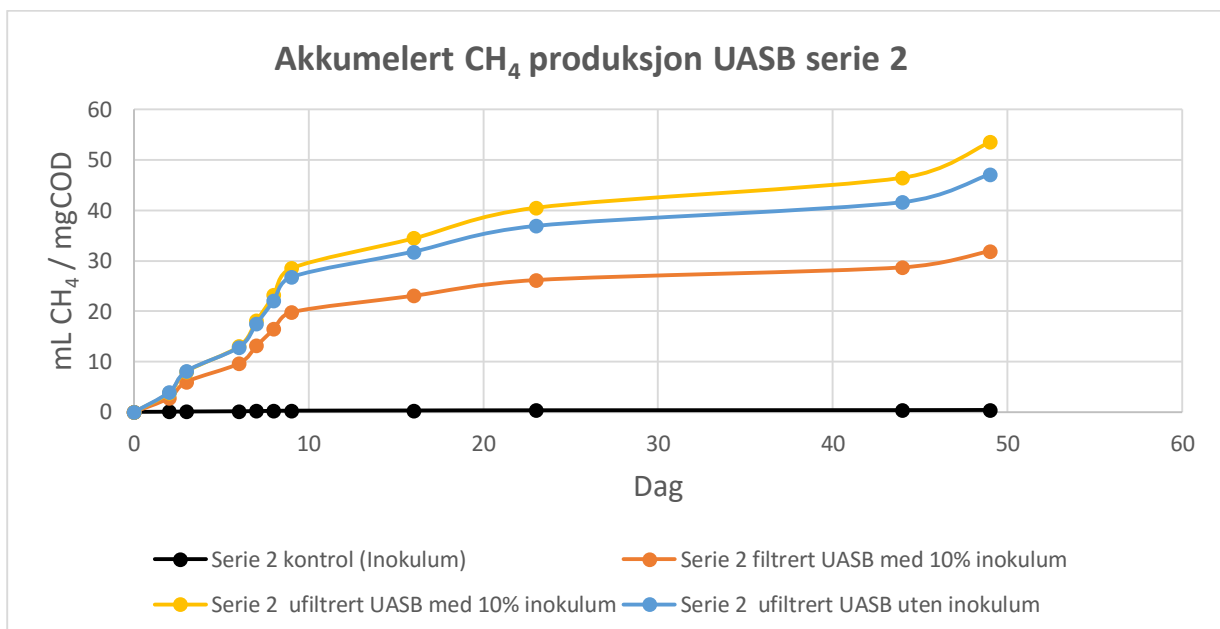
Dette kapitlet tar for resultatene for den akkumulerte metan produksjonen for UASB utløps prøvene fra reaktoren, samt at diskusjon skjer underveis med resultater.

Resultatene gjelder for UASB serie 1 og 2.

For serie 3 så ble det ikke kjørt beregninger på akkumulert metan produksjon pga manglende mengde av inokulum. Det ble dermed kjørt akkumulert biogass produksjon som blir vist kapittel 4.5.



Figur 15: Akkumulert CH<sub>4</sub> produksjon UASB serie 1.



Figur 16: Akkumulert CH<sub>4</sub> produksjon UASB serie 2.

I forbindelse med gradsopgaven ble det gjennomført forsøk og beregninger knyttet til utløpet til en UASB reaktor. Figuren over viser resultatene fra gass forsøkene i forbindelse med disse.

For de ulike prøvene (UASB 1 og 2), så er grafene ganske like og viser en lik trend for de ulike prøvene, forskjellen ligger i mengde metan produksjon, noe som er klart høyere i UASB serie 1 enn i UASB serie 2. Slutt verdier for de 2 prøvene vises i tabell under.

**Tabell 23: Akkumulert metan produksjon (slutt verdi) UASB serie 1.**

Prøve	Antall dager for forsøk	Akkumulert metan produksjon (mL CH <sub>4</sub> / mgCOD), slutt verdi
Inokulum	63	0,046
Filtrert UASB med 10% inokulum	63	123,54
Ufiltrert UASB med 10% inokulum	63	389,07
Ufiltrert UASB uten inokulum	63	351,20

**Tabell 24: Akkumulert metan produksjon (slutt verdi) UASB serie 2.**

Prøve	Antall dager for forsøk	Akkumulert metan produksjon (mL CH <sub>4</sub> / mgCOD), slutt verdi
Inokulum	49	0,035
Filtrert UASB med 10% inokulum	49	13,26
Ufiltrert UASB med 10% inokulum	49	49,60
Ufiltrert UASB uten inokulum	49	31,40

UASB serie 1 og 2 viser lignende trend for grafene, men den akkumulerte slutt produksjonen for hver serie (1 og 2) er dermed annerledes.

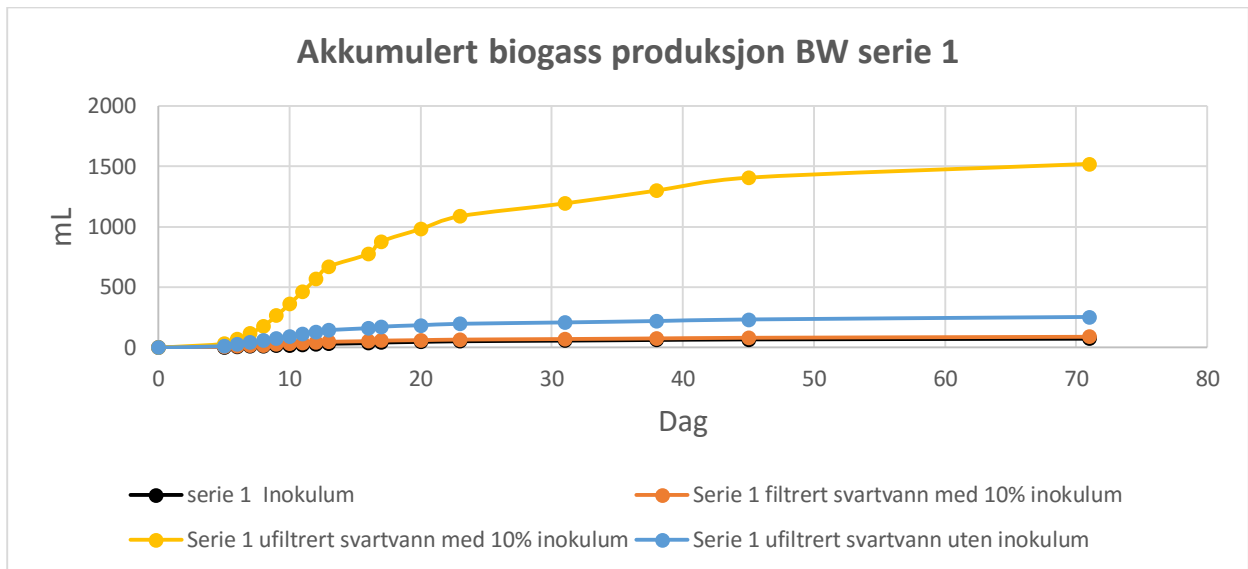
Inokulumet i seg selv viser veldig lite metan produksjon, men i kombinasjon med substrat så er vises en høyere metan produksjon, fra serie 2 så ser man verdi på 49,60 ml CH<sub>4</sub> / mgCOD for ufiltrert UASB med inokulum og mindre produksjon for ufiltrert UASB uten inokulum.

For serie 1 kan man se langt høyere produserende verdier enn i serie 2, dette skyldes trolig oppstarts perioden til reaktoren, da prøvene for utløpet ble tatt 1 uke etter oppstart, som trolig fikk vasket ut granulere og ga en lang tykkere løsning.

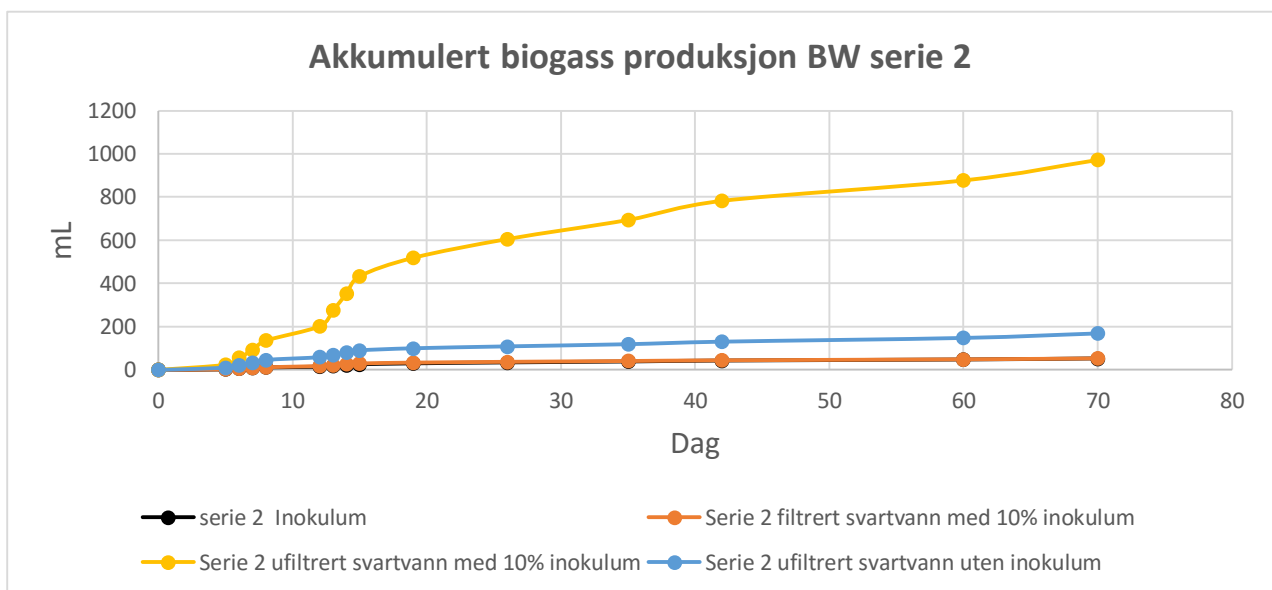
## 4.5 Svartvann akkumulert biogass produksjon

Dette kapitelet tar for resultatene for den akkumulerte biogass produksjonen for svartvanns prøvene, samt at diskusjon skjer underveis med resultater.

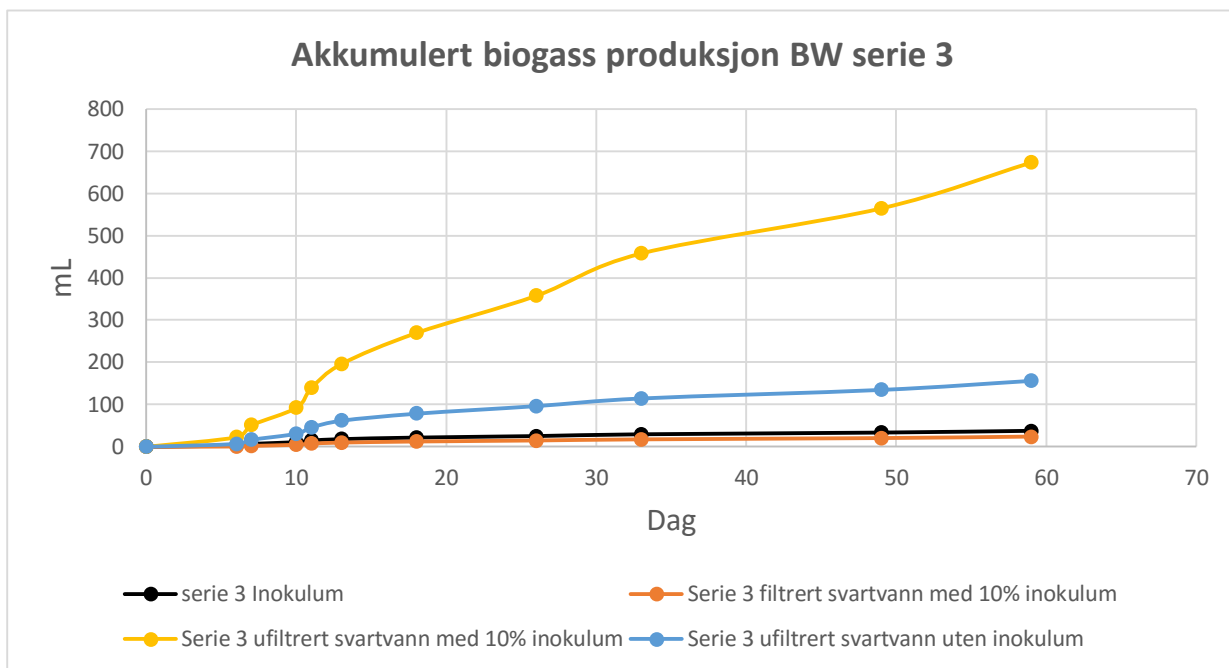
Resultatene gjelder for svartvann(BW) serie 1, serie 2, serie 3 og serie 4 og kan følger under.



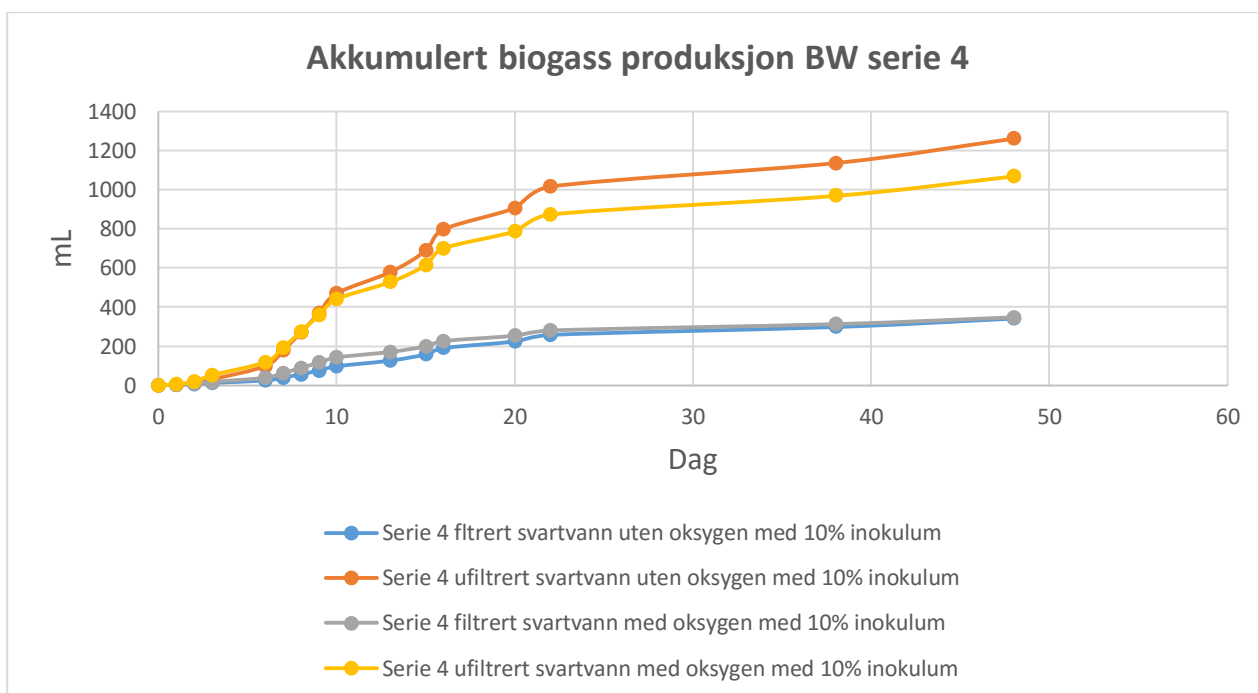
Figur 17: Akkumulert biogass produksjon BW serie 1.



Figur 18: Akkumulert biogass produksjon BW serie 2.



**Figur 19: Akkumulert biogass produksjon BW serie 3.**



**Figur 20: Akkumulert biogass produksjon BW serie 4.**

Over vises resultater for den akkumulerte biogass produksjonen for alle svartvann seriene (1,2,3 og 4). Biogass beregninger ble nødvendig med tanke på manglende inokulums mengde for serie 4. Biogass produksjonen i mL tar utgangspunkt i carbon produksjonen i mL og metan produksjonen i mL noe som gir oss biogass produksjonen.

For de ulike seriene (1 til 3) så vises lignende grafer som for den akkumulerte metan produksjonen, men her er det i tillegg tatt med en siste serie der oksygen har blitt flushet ut av forsøks flasken med nitrogen, for dermed skape anaerobe forhold i flaskene. Denne prøven ble også nødvendig med tanke på å forklare den trege starten for gass produksjonen i flaskene, serie 1,2 og 3 viste ikke noe gass produksjon før etter ca 5 dager, noe som tyder på at oksygenet i flaskene gjør at den mikrobielle prosessen starter som aerobisk for dermed bli anaerobisk etter at alt oksygenet er brukt opp av mikroorganismene. For serie 4 så ble det produsert gass etter 1 dag, men det gjaldt både for flaskene som fikk flushet ut oksygen og flaskene med oksygen, biogass produksjonen var derimot høyere for flaskene uten oksygen.

Sluttverdien for de ulike prøvene vises i tabell under.

**Tabell 25: Akkumulert biogass produksjon (slutt verdi) Svartvann serie 1.**

Prøve	Antall dager for forsøk	Akkumulert biogass produksjon (mL / dag), slutt verdi
Inokulum	71	72,54
Filtrert svartvann med 10% inokulum	71	88,51
Ufiltrert svartvann med 10% inokulum	71	1520,60
Ufiltrert svartvann uten inokulum	71	251,26

**Tabell 26: Akkumulert biogass produksjon (slutt verdi) Svartvann serie 2.**

Prøve	Antall dager for forsøk	Akkumulert biogass produksjon (mL / dag), slutt verdi
Inokulum	70	52,25
Filtrert svartvann med 10% inokulum	70	53,20
Ufiltrert svartvann med 10% inokulum	70	972,43
Ufiltrert svartvann uten inokulum	70	168,14

**Tabell 27: Akkumulert biogass produksjon (slutt verdi) Svartvann serie 3.**

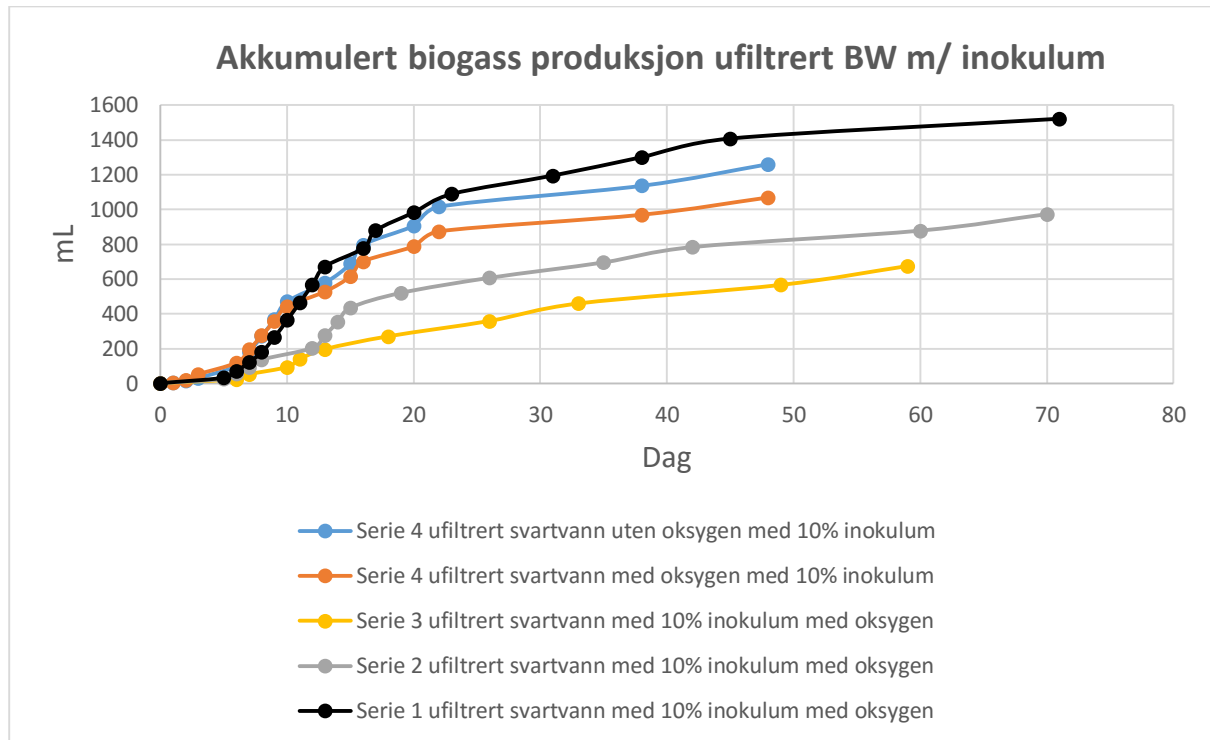
Prøve	Antall dager for forsøk	Akkumulert biogass produksjon (mL / dag), slutt verdi
Inokulum	59	37,20
Filtrert svartvann med 10% inokulum	59	23,18
Ufiltrert svartvann med 10% inokulum	59	673,768
Ufiltrert svartvann uten inokulum	59	155,98

**Tabell 28: Akkumulert biogass produksjon (slutt verdi) Svartvann serie 4.**

Prøve	Antall dager for forsøk	Akkumulert biogass produksjon (mL / dag), slutt verdi
Filtrert svartvann uten oksygen med 10% inokulum	48	342,05
Ufiltrert svartvann uten oksygen med 10% inokulum	48	1260,26
Filtrert svartvann med oksygen med 10% inokulum	48	347,30
Ufiltrert svartvann med oksygen med 10% inokulum	48	1068,83

Fra tabellene over ser vi ser høyere verdier for produsert biogass, spesielt for siste serie som fikk flushet ut oksygenet, samt noe prøver med oksygen i samme serie. Serien har et inokulum som er tatt litt senere fra reaktoren og som viste betraktelig høyere COD verdier enn det første uttaket, se tabell 16. Forklaringen for et raskere produserende serie sammenliknet med de andre seriene(1,2,3) kan være i at inokulumet var ganske fersket, og dermed hadde høyere mikrobiell aktivitet sammenliknet med de andre seriene som fikk et inokulum fra da reaktoren stod stille i en periode.

Under følger figur for alle ufiltrerte svartvanns prøver fra de ulike seriene (1 til 4)



**Figur 21: Akkumulert biogass produksjon ufiltrert BW m/ inokulum (serie 1,2,3,4).**

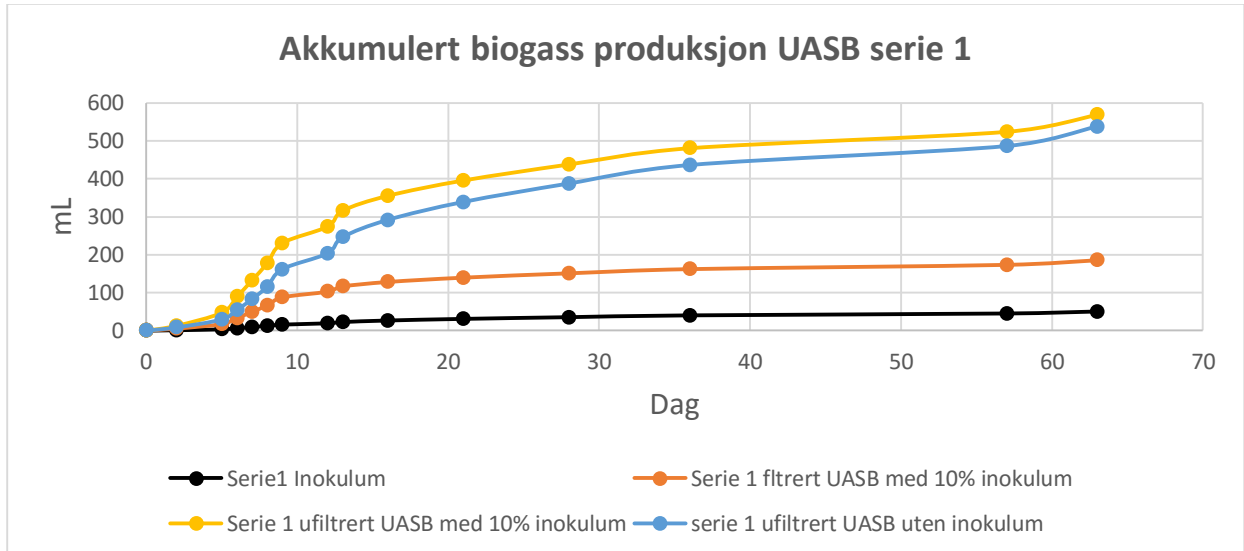
Figuren over viser alle ufiltrerte svartvanns prøver for serie 1 til 4, fra figuren kan man se den akkumulerte biogass produksjonen i mL. Produksjonen må ses i sammenheng med forsøks tid, der de eldste seriene fikk målinger nærmere 70dager. Figuren viser serie 4 som har høyere biogass produksjon enn serie 2 og 3, noe som kan forklares med at inokulumet hadde betraktelig høyere COD verdi enn de andre prøvene. Det viser også at serie 1 med oksygen til stede har høyere biogass produksjon enn serie 4, forklaringen på dette kan ligge i at COD verdien for denne serien som vist i tabell 15 var høyere og at det har gitt denne høyere produksjon. Jeg tror også at viss en prøve uten oksygen hadde blitt kjørt med prøven med oksygen for serie 1, så hadde det trolig gitt en litt høyere biogass produksjon.

## 4.6 UASB akkumulert biogass produksjon

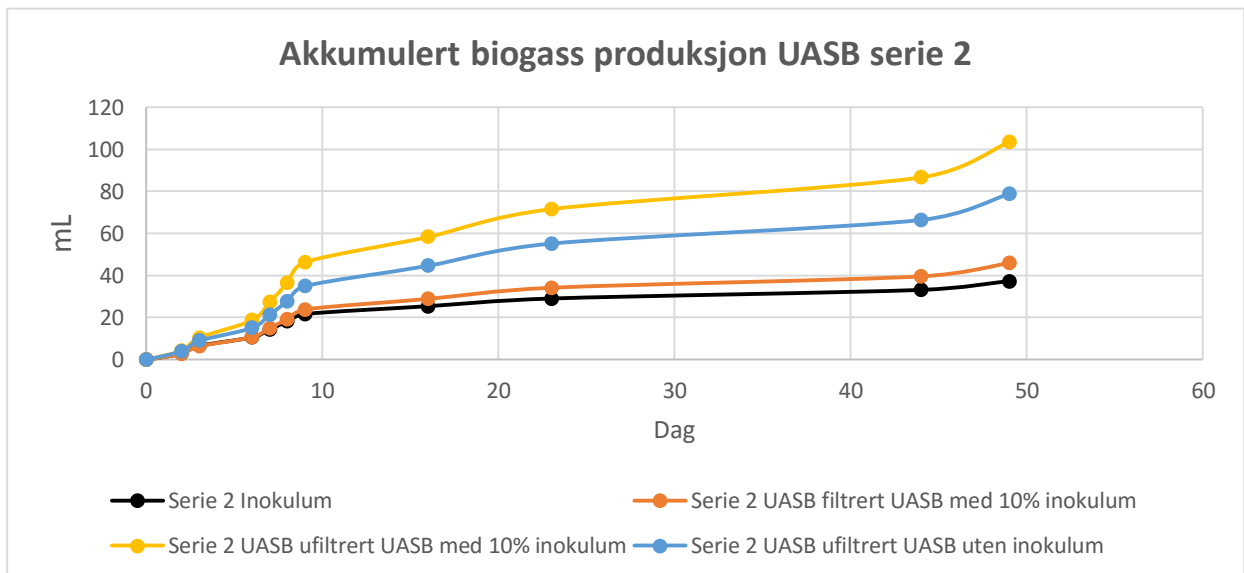
Dette kapitelet tar for resultatene for den akkumulerte biogass produksjonen for UASB utløps prøvene fra reaktoren, samt at diskusjon skjer underveis med resultater.

Resultatene gjelder for UASB serie 1, serie 2 og serie 3.

Under følger resultater for den akkumulerte biogass produksjonen for UASB seriene (1,2 og 3)

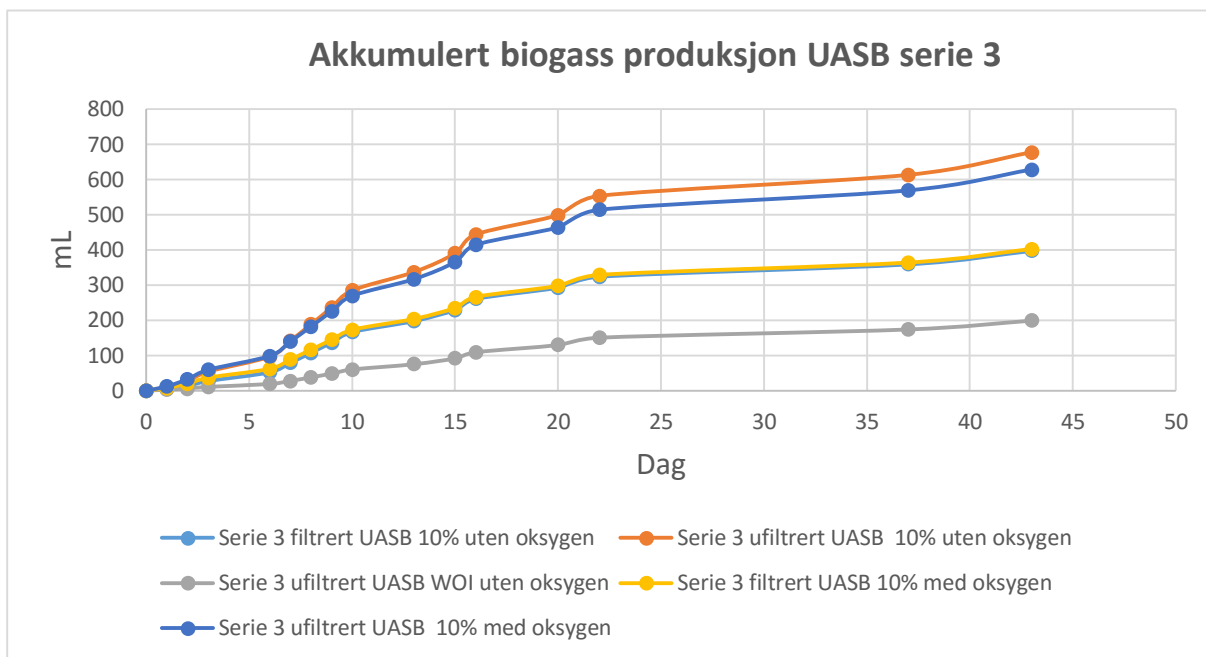


Figur 22: Akkumulert biogass produksjon UASB serie 1.



Figur 23: Akkumulert biogass produksjon UASB serie 2.





**Figur 24: Akkumulert biogass produksjon UASB serie 3.**

Fra figurene over vises den akkumulerte biogass produksjonen for UASB serie 1,2 og 3.

Serie 1 og 2 er ikke så ulike med tanke på tilsvarende figurer for den akkumulerte metan produksjonen. For disse beregningen ble det også tatt med en siste serie (UASB 3), her som i svartvann serie 4, så ble det flushet ut oksygen for ufiltrert UASB prøve, og prøven viste en høyere biogass produksjon sammenliknet tilsvarende ufiltrert prøve uten oksygen.

Slutt biogass produksjonen for de ulike seriene vises i tabell under

**Tabell 29: Akkumulert biogass produksjon (slutt verdi) UASB serie 1.**

Prøve	Antall dager for forsøk	Akkumulert biogass produksjon (mL / dag), slutt verdi
Inokulum	63	49,816
Ufiltrert svartvann uten oksygen med 10% inokulum	63	185,56
Filtrert svartvann med oksygen med 10% inokulum	63	568,53
Ufiltrert svartvann med oksygen med 10% inokulum	63	536,96

**Tabell 30: Akkumulert biogass produksjon (slutt verdi) UASB serie 2.**

Prøve	Antall dager for forsøk	Akkumulert biogass produksjon (mL / dag), slutt verdi
Inokulum	49	37,28
Filtrert UASB med 10% inokulum	49	45,89
Ufiltrert UASB med 10% inokulum	49	103,52
Ufiltrert UASB uten inokulum	49	78,84

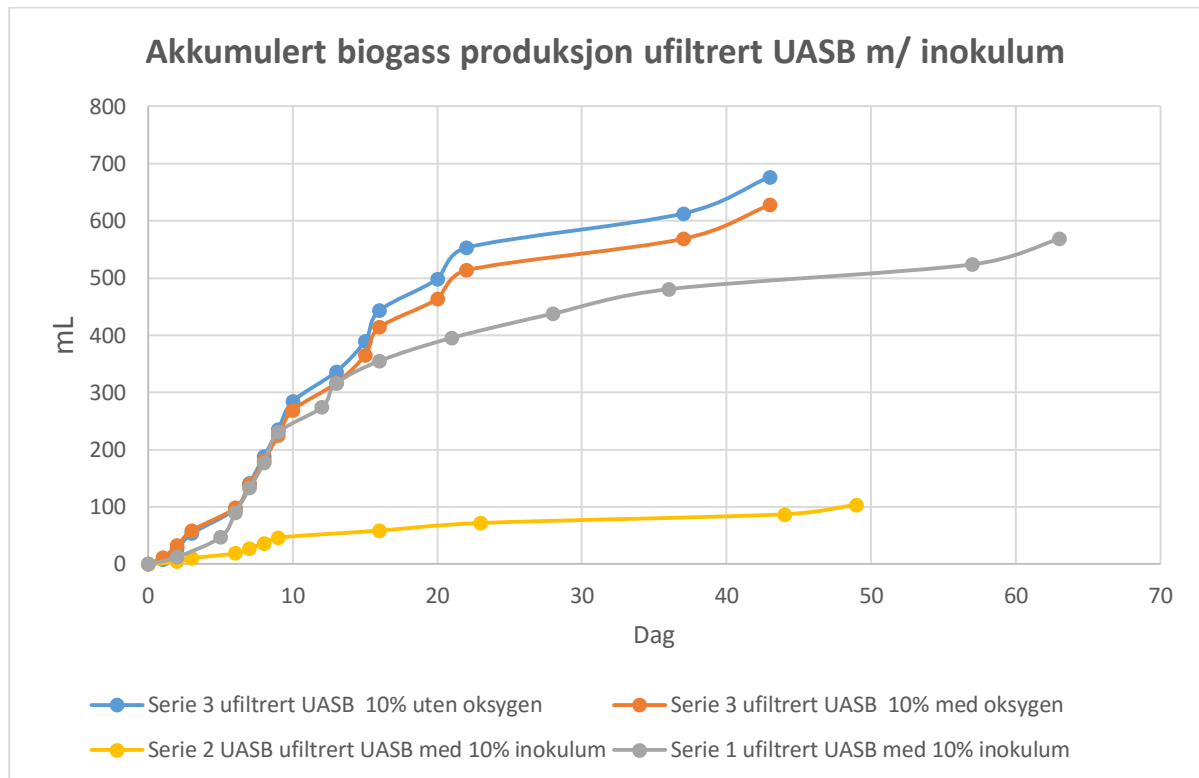
**Tabell 31: Akkumulert biogass produksjon (slutt verdi) UASB serie 3.**

Prøve	Antall dager for forsøk	Akkumulert biogass produksjon (mL / dag), slutt verdi
Filtrert UASB 10% uten oksygen	43	397,56
Ufiltrert UASB 10% uten oksygen	43	676,68
Ufiltrert UASB WOI uten oksygen	43	199,00
Filtrert UASB 10% med oksygen	43	401,80
Ufiltrert UASB 10% med oksygen	43	627,93

Fra tabellen over ser man at sluttverdiene for antall dager med forsøk. Verdiene viser høyere biogass produksjon for prøver ufiltrert med inokulum, men med nesten like høy produksjon for ufiltrert prøver uten inokulum, dette kan forklares ved at noen granulerer kan ha blitt vasket med i prøvene, og dermed vil vi ha mikroorganismer i prøvene som kan utnytte de resterende potensiale.

Fra rådata som legges ved som vedlegg, kan man se at prøvene med inokulum(ufiltrert UASB) har en raskere gass produksjon for akkumulert biogassproduksjon, mens ufiltrert prøver uten inokulum har litt tregere produksjon, men slutt produksjonen blir nærme.

Under følger figur for alle ufiltrerte UASB prøver med inokulum (med og uten oksygen).



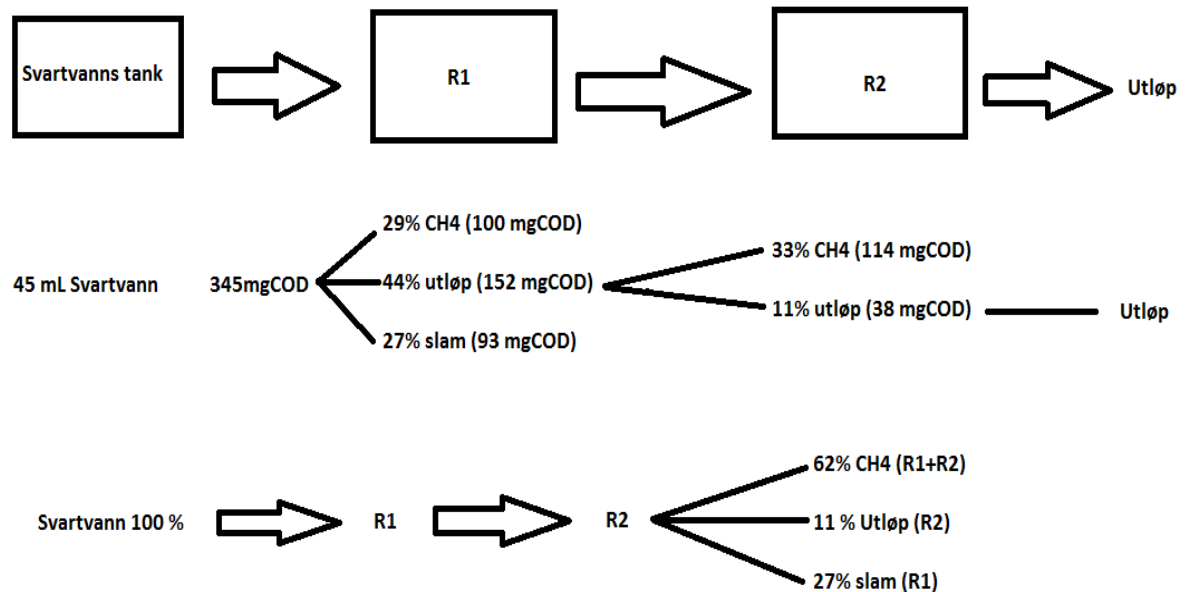
**Figur 25: Akkumulert biogass produksjon ufiltrert UASB m/ inokulum.**

Fra figuren over ser man de ulike ufiltrerte prøvene med inokulum (med og uten oksygen), prøvene fra siste serie (UASB 3) viser høyere akkumulert biogass produksjon, som kan forklares med at inokulumet tilsatt i disse prøvene var av høyere COD og fersket sammen liknet med de andre seriene (1 og 2). Prøven for serie 2 viste et mye mindre biogass produksjon som kan ha sammenheng med at COD i prøvene som vist i tabell 18 var mye lavere enn for serie 1 og 3.

## 4.7 COD massebalanse

### 4.7.1 Simulering av 2 reaktor system

Fra COD massebalanse data var det mulig å beregne reduksjonen i flasken. Flaskene i seg selv for prøve med ufiltrert substrat med inokulum og uten oksygen, simulerer på en måte en anaerobisk reaktor. Der svartvann som substrat simulerer reaktor 1 og UASB utløp som substrat simulerer reaktor 2.



**Figur 26: Simulering av 2 reaktor system, basert på data fra COD masse balanse for prøver uten oksygen. Tall for reaktor(R1) er hentet via (Morges 2016) som er en personlig meddelelse.**

Data fra en COD masse balanse ble brukt for å simulere et 2 reaktor system, og er et grovt anslag, men gir kanskje også et mulig resultat for eventuelle nye studier knyttet til dette.

Ved å ta en COD masse balanse ble det beregnet metan produsert, samt ble det også målt slutt COD i flaskene for ufiltrerte prøver (UASB og svartvann) som fikk flushet ut oksygen. Disse ble valgt fordi disse best representerer et slikt system som må være anaerobisk.

Fra figur over ser man at det mulig med nærme 90% reduksjon, for et 2 reaktor anaerob system. Det må nevnes her at i beregningene ble metan produksjon fra granuler neglisjert, som gjorde beregningen litt enklere å beregne.

## 4.8 Beregning for gjenvinnings muligheter av substrat

I et nytt forslag til Europa kommisjonen (EU 2016), blir det lagt frem et forslag til et nytt forslag til organiske gjødslings produkter, og kan være et fremtidig regelverk til gjenbruk av svartvann. I forslaget så er det punkt 7 side 28 som er av interesse med tanke på gradsoppgave. Her blir det lagt til grunn stabiliseringskrav for organiske gjødslingsprodukter, og en verdi på 0,45 (liter biogass / g VS) er foreslått.

**Tabell 32: Beregning av L biogass / g VS, i henhold til EU kommisjonens fremtidige krav. VS data er hentet fra hentet fra Melesse Eshetu Moges og er en personlig meddelelse (Moges 2016).**

Prøve	Biogass (L) v/ 28dager	VS (g) (UASB utløp)	L biogass / g VS
UASB serie 1 ufiltrert utløp med inokulum (m/oksygen)	0,438	2,57	0,17
UASB serie 2 ufiltrert utløp med inokulum (m/oksygen)	0,071	1,39	0,05
UASB serie 3 ufiltrert utløp med inokulum (u/oksygen)	0,552	1,97	0,28
UASB serie 3 ufiltrert utløp med inokulum (m/oksygen)	0,513	1,97	0,26

Det må nevnes her at VS for UASB utløp ble ikke målt, og er data hentet via en personlig meddelelse. VS data ble valgt ut i fra COD verdi på prøvene, og er en tilnærming for et grovt estimat i henhold til krav, det ble derimot målt VS for serie 4 svartvann etter gassforsøkene og kunne kanskje ha blitt brukt for en grov tilnærming for VS konsentrasjonen i UASB utløpet, men ble ansett til å være mer unøyaktige enn VS verdiene over. Verdiene fra VS målinger i slutt i flasken er med i vedlegg og kan eventuelt ses der, men viser at VS verdiene over kanskje ikke er en dårlig tilnærming likevel.

Det ses over fra tabell at L verdiene (biogass / g VS) er innenfor kravene og at et 2 reaktor system kan åpne for eventuell dekning av fremtidige krav for det gitte punktet i forslaget.

## 6. Konklusjon

I denne gradsoppgaven var målet å undersøke biogass potensiale til svartvannet samt, å se på om det er mer potensiale igjen i utløpet til en UASB reaktor og til slutt si noe om gjenbruks muligheter av slutt produkter i forbindelse med UASB reaktor.

På grunn av diverse klima utfordringer, samt utfordringer knyttet til matsikkerhet, så har arbeidet i denne gradsoppgaven vist at svartvannet kan være et alternativ for fremtidige utfordringer knyttet til disse temaer.

Svartvannet vist ved kombinasjon av granul teknologi i form av inokulum fra en USASB reaktor, å produsere lang mer metan og biogass enn ved svartvannet klarte alene, men det er behov for et grundigere gjennomgang av nettopp dette for fremtidig forskning, og kanskje flere nye runder med forsøk for få et mer presist resultat.

Utløpet til UASB reaktoren viste seg å ha mer potensiale for reduksjon, og i kombinasjon med 2 reaktorer viste seg å redusere nærmere 90 % med tanke på COD i start konsentrasjonen til svartvannet. Ved et slikt 2 reaktor system var det også mulig å nå krav for stabilisering av organiske gjødslings produkter, som åpner for gjenbruks muligheter for svartvannet.

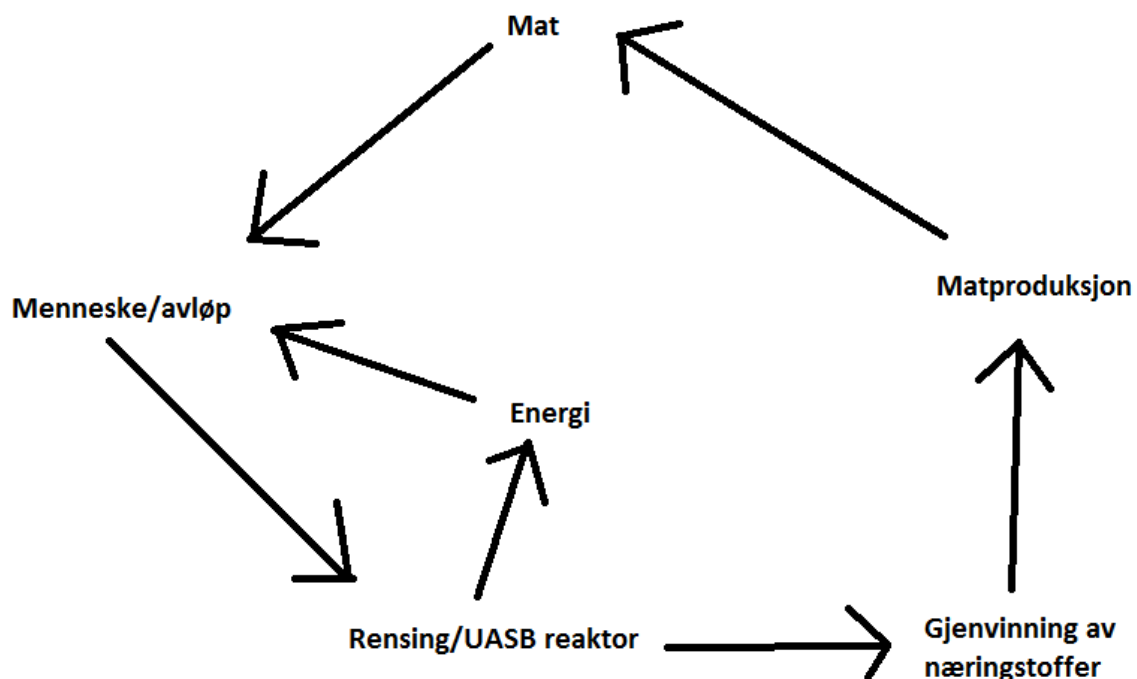
Konklusjonen er basert på noen grove estimater knyttet til simulering av 2 reaktor system, samt for se om sluttproduktet i et slikt system vil oppnådd eventuelle krav fra myndigheter.

Det vil være fordelaktig å ta dette studie videre med flere målinger og eventuelle målinger som ikke kom med pga for kort tidsforløp knyttet til gradsoppgaven, ved eventuelle nye runder med forsøk, så vil det være en fordel å ta presise VS målinger, samt å flushe ut oksygenet i gassflasker knyttet til gassforsøk med biogass/metan. Dette vil gi et mer presist bilde, enn noen estimater som er gjort i denne gradsoppgaven, som kan anses å se som grove estimater.

## 7. Fremtidig arbeid

Ved fremtidige studier ser jeg en mulighet å koble arbeidet i forbindelse med gradsoppgaven til en fornybar syklus.

Figur under viser en eventuell fornybar syklus.



Figur 27: Eksempel på fornybar syklus.

Figuren viser en grovskisse på hvordan det en slik fornybar prosess kan se ut. Det er også andre som har tenkt den samme tanken (Al Saedi 2001), men har bare sett på tradisjonell gjenvinning til landbruket.

Det ville vært interessant å koble gjenvinnings muligheter til UASB reaktor, det har vært flere positive studier knyttet til dette, men disse studiene ser ikke på muligheten til å bruke utløpet til UASB reaktoren til drypping av planter, der man kjører selve væsken som er rik på næringsstoffer som plantene kan ta opp direkte til røttene.

Ved forskjellige scenarioer i fremtiden så kan areal besparelse være et aktuelt problem, og ved å tenke på å dyrke mat vertikalt oppover i bygg, så kan dette være lang mer areal effektiv enn hva tradisjonell landbruk gjør i dag.

Her vil det trengs forskning på patogene mikroorganismer, som UASB teknologi er dårlig til å rense og se på hvordan disse påvirker vertikal dyrkning i rør systemer som blir nødvendig for å føre næringsfylt væske til plante røttene, og det bli nødvendig å kombinere plante vitenskap med avløpsvitenskap.

## 7. Referanser

Al Seadi, T. (2001). Good practice in quality management of AD residues from biogas production. Report made for the International Energy Agency, Task 24- Energy from Biological Conversion of Organic Waste. Published by IEA Bioenergy and AEA Technology Environment, Oxfordshire, United Kingdom

Bergland, W.H., Dinamarca, C., Toradzadegan, M., Nordgård, A.S.R., Bakke, I., Bakke, R., 2015. High rate manure supernatant digestion. *Water Res.* 76, 1.

Big East Handbook (2008). Biogas Training Handbook.  
available <http://www.big-east.eu/bulgaria/bulgaria.html>

Chernicharo, C. A. d. L., 2007. *Biological Wastewater Treatment Series, Volume Four: Anaerobic reactors*. Volume Four red. s.l.:IWA Publishing.

Commission, E., 2016. *European Commission*. [Internett]  
Available at: <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/EN/1-2016-157-EN-F1-1-ANNEX-1.PDF>  
[Funnert 29 05 2016].

De Mes, T.Z.D., Stams, J.H., Reith, J.H., and Zeeman, G. (2003). Methane production by anaerobic digestion of wastewater and solid wastes.

Esposito, G., Frunzo, L., Liotta, F., Panico, A., Pirozzi, F., 2012.  
Bio-Methane Potential Tests To Measure The Biogas Production From The Digestion and Co-Digestion of Complex Organic Substrates. Department of Mechanics, Structures and Environmental Engineering University of Cassino Via Di Biasio, 43 - 03043 Cassino (FR) – Italy.  
*The Open Environmental Engineering Journal*, 2012, 5: 1-8.

Estevez, M.A., Linjordet, R., Morken, J., 2011.  
Effects of steam explosion and co-digestion in the methane production from *Salix* by mesophilic batch assays. Department of mathematical science and technology, Norwegian university of life science.

Friborg, T., 2015.  
Inaktivering av virus ved pasteurisering av svartvann fra Røde Kors feltsykehus. Norges miljø-og biovitenskapelige universitet, Fakultet for miljøvitenskap og teknologi nstitutt for matematiske realfag og teknologi. *NMBU*. [Internett]  
Available at:  
<https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/292934/Masteroppgave%20Friborg%202015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

DE GRAAFF, M. S., ZEEMAN, G., TEMMINK, H., VAN LOOSDRECHT, M. C. M. & BUISMAN, C. J. N. 2010. Long term partial nitrification of anaerobically treated black water and the emission of nitrous oxide. *Water Research*, 44, 2171-2178.

Hamilton A.J., Stagnitti F., Premier R., Boland A-M., and Hale G. Quantitative microbial risk assessment models for consumption of raw-eaten vegetables irrigated with reclaimed water. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol.72, in press.



Hanjara 2012: Hanjra MA, Blackwell J, Carr G, Zhang F, Jackson TM, 2012. Wastewater irrigation and environmental health: implications for water governance and public policy. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 215(3), pp. 255-269.

Henze 2008: Henze M, Comeau Y. Wastewater characterization. In: Henze M, van Loosdrecht MCM, Ekama GA, Brdjanovic D, editors. *Biological wastewater treatment*. London: IWA Publishing; 2008.

IEA, 2015. *International Energy Agency*. [Internett]

Available at:

[https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld\\_Statistics\\_2015.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld_Statistics_2015.pdf)

[Funnet 25 05 2016].

In, S. K., Moon, H. H., Nam, J. J., Seong, H. H., and Lee, S.T. (2004). Effect of low PH on the activity of hydrogen utilizing methanogen in bio-hydrogen process. *International Journal of Hydrogen Energy* 29 : 1133 – 1140.

IPPC 2007. *Climate change 2007: The Physical Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2007 red. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University.

IPPC 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2014 red. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

ISAT (Editor); GTZ (Editor) (1999): *Biogas Basics*. (= Biogas Digest, 1). Information and Advisory Services on Appropriate Technology (ISAT) and German Agency for Technical Cooperation GmbH (GTZ)

Kalavrouziotis, I.K., Robolas, P., Koukoulakis, P.H., Papadopoulos, A.H., 2008. Effects of municipal reclaimed wastewater on the macro- and micro-elements status of soil and of Brassica oleracea var. Italica, and B. oleracea var. Gemmifera. *Agricultural Water Management* 95, 419–426.

Khanal, S. (2008). *Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production. Principles and Applications*. Ed. Wiley-Blackwell. New Delhi, India.

Kjerstadius, H., Haghatafshar, S., Davidsson, Å., 2015.

Potential for nutrient recovery and biogas production from blackwater, food waste and greywater in urban source control systems.

Water and Environmental Engineering, Department of Chemical Engineering, Lund University, Lund, Sweden.

Kujawa-Roeleveld, K., Elmitwalli, T., Zeeman, G., 2006. Enhanced primary treatment of concentrated black water and kitchen residues within DESAR concept using two types of anaerobic digesters. *Water Science and Technology*.

L Lettinga, G., Roersma, R. and Grin, P. (1983).

*Anaerobic Treatment of Raw Domestic Sewage at Ambient Temperatures Using a Granular Bed UASB Reactor*.

Lindsey, R., 2009. *Climate and Earth's Energy Budget*. [Internett]

Available at: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/EnergyBalance/>

[Funnet 25 05 2016].

- Mata-Alvarez J. (2003). Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes. IWA publishing. London
- Molested L, Doersch P, Bakken LR (2007) Robotized incubation system for monitoring gases (O<sub>2</sub>, NO, N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>) in denitrifying cultures. *J Microbiol Methods* 71:202 Molstad, 2007. s.l.: s.n.
- Morges, E.M., 2016. *Personling medelelse i forbindelse med sin doktorgrads avhandling*.
- Riebeek, H., 2011. *NASA Earth Observatory*. [Internett]  
Available at: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CarbonCycle/>  
[Funnet 25 05 2016].
- Seghezzo, L. 2004, Anaerobic treatment of domestic wastewater in subtropical regions, Ph.D. thesis, Wageningen University, Wageningen, the Netherlands.
- Shell, 2008. *Shell*. [Internett]  
Available at:  
<http://www.shell.com/content/dam/shell/static/public/downloads/brochures/corporate-pkg/scenarios/shell-energy-scenarios2050.pdf>  
[Funnet 25 05 2016].
- Sperling M.V., Freire V.H. and Chernicharo C.A.L. (2001). Performance evaluation of a UASB-activated sludge system treating municipal wastewater. *Water Science & Technology*, 43(11), 323-328.
- Deublein, D. and A. Steinhauser (2008). *Biogas from waste and renewable resources: An introduction*. Weinheim, Wiley-Vch.
- Straus, B. K., 2014. *Climate central*. [Internett]  
Available at: <http://www.climatecentral.org/news/new-analysis-global-exposure-to-sea-level-rise-flooding-18066>  
[Funnet 25 05 2016].
- TBW, 2001, NATURGERECHTE TECHNOLOGIEN, BAU- UND WIRTSCHAFTSBERATUNG (TBW) GmbH (Editor) (2001): Anaerobic Treatment of Municipal Wastewater in UASB-reactors.
- Tilley, E., Ulrich, L., Luethi, C., Reymond, P. & Zurbruegg, C. (2014). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. 2nd revised utg. Duebendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag).
- Todt D, Heistad A, Jenssen PD (2014) Load and distribution of organic matter and nutrients in a separated household wastewater stream. *Environ Technol*. doi:10.1080/09593330.2014.997300.
- Todt, D., Heistad, A. & Jenssen, P. D. (2015). Load and distribution of organic matter and nutrients in a separated household wastewater stream. *Environmental Technology*: 1- 10.
- Trenberth, K. F. J. K. J., 2009. Earth's global energy budget. *American Meteorological Society*, Issue DOI:10.1175/2008BAMS2634.1, pp. 311-324.
- VOEGELI, Y., LOHRI, C.R., GALLARDO, A., DIENER, S., ZURBRUEGG, C., 2014, EAWAG (Editor) *Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries*.

Halalsheh, M. & Wendland, C. 2008. Integrated Anaerobic–Aerobic Treatment of Concentrated Sewage. In Otterpohl, R., Baz, I. A. & Wendland, C. (eds) *Efficient Management of Wastewater*, pp.177-186: Springer Berlin Heidelberg.

ZEEMAN, G., KUJAWA, K., DE MES, T., HERNANDEZ, L., DE GRAAFF, M., ABU-GHUNMI, L., MELS, A., MEULMAN, B., TEMMINK, H., BUISMAN, C., VAN LIER, J. & LETTINGA, G. 2008. Anaerobic treatment as a core technology for energy, nutrients and water recovery from source-separated domestic waste(water). *Water Science and Technology*, 57, 1207-1212.

Ødegaard, H., 2014. *Vann og avløpsteknikk 2. utgave ed.*  
Hamar, Norsk vann.

## Vedlegg

### Vedlegg A: Måling avslutning av gass forsøk

Prøver med oksygen	pH	TSS	CODt	CODs
UASB 1 ufiltrert WOI	7,59	1114	1701	482
UASB 1 Ufiltrert med 10%	7,57	1143	2902	489
UASB 1 Filtrert med 10%	7,78	929	2053	453
UASB 2 ufiltrert WOI	7,78	429	1064	427
UASB 2 Ufiltrert med 10%	7,74	1057	2327	436
UASB 2 Filtrert med 10%	7,85	786	2164	408
UASB 3 Ufiltrert med 10%	7,41	2571	5913	553
UASB 3 Filtrert med 10%	7,49	1743	5043	531
BW 1 ufiltrert WOI	6,97	1129	7381	2348
BW 1 Ufiltrert med 10%	7,45	1429	3487	835
BW 1 Filtrert med 10%	8,00	900	2416	662
BW 2 ufiltrert WOI	7,06	1243	5407	2334
BW 2 Ufiltrert med 10%	7,40	1114	3328	745
BW 2 Filtrert med 10%	8,04	871	2289	713
BW 3 ufiltrert WOI	7,05	1386	6030	2320
BW 3 Ufiltrert med 10%	7,44	1471	3499	750
BW 3 Filtrert med 10%	8,31	786	2533	1080
BW 4 Filtrert med 10%	7,50	2257	4600	580
BW 4 Ufiltrert med 10%	7,29	2729	7127	522

Prøver med oksygen	pH	TSS	CODt	CODs
UASB 1 ufiltrert WOI	7,59	1114	1701	482
UASB 2 ufiltrert WOI	7,78	429	1064	427
UASB 1 Ufiltrert med 10%	7,57	1143	2902	489
UASB 2 Ufiltrert med 10%	7,74	1057	2327	436
UASB 3 Ufiltrert med 10%	7,41	2571	5913	553
UASB 1 Filtrert med 10%	7,78	929	2053	453
UASB 2 Filtrert med 10%	7,85	786	2164	408
UASB 3 Filtrert med 10%	7,49	1743	5043	531
BW 1 ufiltrert WOI	6,97	1129	7381	2348
BW 2 ufiltrert WOI	7,06	1243	5407	2334
BW 3 ufiltrert WOI	7,05	1386	6030	2320
BW 1 Ufiltrert med 10%	7,45	1429	3487	835
BW 2 Ufiltrert med 10%	7,40	1114	3328	745
BW 3 Ufiltrert med 10%	7,44	1471	3499	750
BW 4 Ufiltrert med 10%	7,29	2729	7127	522
BW 1 Filtrert med 10%	8,00	900	2416	662
BW 2 Filtrert med 10%	8,04	871	2289	713
BW 3 Filtrert med 10%	8,31	786	2533	1080
BW 4 Filtrert med 10%	7,50	2257	4600	580

Prøve(uten oksygen)		pH	TSS	VS	CODt	CODs
UASB 3 Filtrert med 10%	1	7,87	1762	2,51	3571	586
UASB 3 ufiltrert med 10%	2	7,64	2342	2,88	4175	600
UASB 3 ufiltrert WOI	3	7,92	718	1,46	1622	545
BW 4 filtrert med 10%	4	7,95	1781	2,88	4218	601
BW 4 ufiltrert med 10%	5	7,51	2004	3,2	5626	564

## Vedlegg B: COD massebalanse for prøver uten oksygen

Prøver uten oksygen	replikasjon	CH4(L)	COD svartvann	COD inokulum	COD start (mg)	mol CH4	COD teoretisk(g)	COD teoretisk(mg)	COD slutt(mg)	Start - teoretisk(mg)	reduksjon COD svartvann
Serie 3 uten oksygen, filtrert UASB med 10% inokulum(3HUFasb10)	1	29,9287	47	264	311	0,00221	0,07751	78	158	233	
	2	27,6547	47	264	311	0,00112	0,07162	72	170	239	
	3	31,0407	47	264	311	0,00226	0,08039	80	207	231	
Serie 3 uten oksygen, Ufiltrert UASB med 10% inokulum(3HUFasb10)	1	48,9515	152	264	416	0,00178	0,11383	114	198	302	75 %
	2	47,0910	152	264	416	0,00191	0,12196	122	179	294	80 %
	3	51,0819	152	264	416	0,00207	0,13230	132	248	284	87 %
Serie 3 uten oksygen, Ufiltrert UASB uten inokulum(3HUFasb10)	1	20,0399	169	264	433	0,00081	0,05190	52	73	381	
	2	18,5141	169	264	433	0,00075	0,04795	48	68	385	
	3	20,2144	169	264	433	0,00082	0,05235	52	102	381	
Serie 4 uten oksygen, filtrert svartvann med 10% inokulum(4HUFv10)	1	35,7672	66	264	330	0,00145	0,09263	93	217	237	
	2	37,4977	66	264	330	0,00152	0,09711	97	221	233	
	3	35,0090	66	264	330	0,00142	0,09067	91	194	239	
Serie 4 uten oksygen, Ufiltrert svartvann med 10% inokulum(4HUFv10)	1	86,8428	310	264	574	0,00351	0,22491	225	261	349	73 %
	2	85,2387	310	264	574	0,00345	0,22076	221	266	353	71 %
	3	88,8989	310	264	574	0,00360	0,23024	230	315	344	74 %









Norges miljø- og biovitenskapelig universitet  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway