



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

OptiGas II - Et MUDP projekt

MUDP Rapport

Juli 2022

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Christian Holst Fischer

Caroline Kragelund Rickers

ISBN: 978-87-7038-431-5

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse

Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram

Projektet, som er beskrevet i denne rapport, er støttet af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram, MUDP, som er et program under Miljøministeriet, der støtter udvikling, test og demonstration af miljøteknologi.

MUDP investerer i udvikling af fremtidens miljøteknologi til gavn for klima og miljø i Danmark og globalt, samtidig med at dansk vækst og beskæftigelse styrkes. Programmet understøtter dels den bredere miljødagsorden, herunder rent vand, ren luft og sikker kemi, men understøtter også regeringens målsætninger inden for klima, biodiversitet og cirkulær økonomi.

Det er MUDP's bestyrelse, som beslutter, hvilke projekter der skal modtage tilskud. Bestyrelsen betjenes af MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen.

MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5, 5000 Odense | Tlf. +45 72 54 40 00

Mail: ecoinnovation@mst.dk

Web: www.ecoinnovation.dk

Denne slutrapport er godkendt af MUDP, men det er alene rapportens forfatter/projektlederen, som er ansvarlige for indholdet.

Indhold

1.	Forord	5
2.	Opsummering og konklusion	6
3.	Koncept og videreudvikling af reaktor	7
3.1	OptiGas-konceptet	7
3.2	Eksisterende pilotanlæg	7
3.3	Videreudvikling af pilotanlæg	9
4.	Drift af pilotskalareaktorer	11
4.1	Separatdråkning af primær slam	11
4.2	Samdråkning af primærslam og biopulp	12
4.3	Separatdråkning af biopulp	14
4.4	Separatdråkning af primær slam (demonstrationsperiode)	16
4.5	Mikrobiolog på blokmedier	16
4.6	Opsummering af pilotskalaforsøgene	18
5.	Skitseprojekt for fuldskalaløsning og implementering på renseanlæg	19

1. Forord

Dette er slutrapporten for projektet ” OptiGas II – robust, fleksibel og højtydende biogasreaktor” under Miljøministeriets tilskudsordning MUDP. Projektet blev gennemført i perioden november 2018 til august 2020 i et samarbejde mellem Bio-Aqua, KomTek Miljø A/S, Vejle Spildevand, Xylem Water Solutions Denmark Aps, EXPO-NET Danmark A/S og Teknologisk Institut.

I et tidligere projekt, OptiGas, blev der udviklet et nyt biofilmbaseret reaktorkoncept til produktion af biogas. Resultaterne fra det første projekt var yderst lovende. Således var det muligt i en kortere driftsperiode at reducere den hydrauliske opholdstid til ca. 25 % med samme omsætning af det organiske materiale (ca. 4-dobling af gasproduktion). Resultaterne blev opnået uden en optimal opblanding og blev bekræftet både i laboratoriet, i pilotskala og med forskellige typer biomasser. Disse resultater har medført en endog meget stor interesse for teknologien fra både renseanlæg og systemintegratorer.

At have biofilm på medier i biogastankene skaber dog også nogle udfordringer ift. sikring af tilstrækkelig omrøring, risiko for tilstopning etc. Således var der i første Optigas-projekt store udfordringer med drifte reaktorerne over længere perioder uden driftsforstyrrelser.

I nærværende projekt (OptiGas-II) er reaktorkonceptet blevet videreudviklet og optimeret med henblik på at teste og optimere reaktorkonceptet over længere forsøgsperioder ved forskellige driftsbetingelser.

2. Opsummering og konklusion

Projektet (OptiGas-II) blev gennemført i perioden januar 2019 til august 2020 i et samarbejde mellem BIOAQUA, KomTek Miljø A/S, Vejle Spildevand Xylem Water Solutions Denmark Aps, EXPO-NET Danmark A/S og Teknologisk Institut. Formålet med projektet var at udvikle et kompakt og højeffektivt reaktorkoncept til bioforgasning af kildesorteret organisk affald og spildevandsslam. Reaktorkonceptet baserede sig på et system, hvor biofilm fastholder den aktive mikrobiologi på blokmedier (BIO-BLOK® 100) med en stor overflade, hvilket øger den samlede mængde mikrobiologi og dermed potentielt faciliterer en mere effektiv omsætning. Projektet er en videreføring af et tidligere projekt (OptiGas), som indikerede lovende perspektiver i det nye reaktorkoncept.

I nærværende projekt (OptiGas-II) er reaktorkonceptet blevet videreudviklet og optimeret med henblik på at teste og optimere reaktorkonceptet over længere forsøgsperioder ved forskellige driftsbetingelser. Således blev den eksisterende pilotopstilling indledningsvis ombygget med følgende ændringer:

- Bedre temperaturstyring
- Opsamling af skum ved skumningsfældning
- Prøveudtagningshaner
- Bedre styring og måling af reaktoropholdstid

Efter lidt indkøringsvanskeligheder i den første perioder, var resultaterne fra de to efterfølgende perioder meget positive. Til forskel fra det første projekt, hvor det kun var muligt at generere valide data over meget korte tidsperioder, var det med de gennemførte forbedringer muligt at opnå stabil drift over to lange forsøgsperioder. De to forsøgsperioder viste, at blokmediereaktoren:

- kan anvendes til biomasser med et højt indhold af tørstof (9-18%) med høje metanpotentialer
- kan håndtere meget høje organiske belastninger (4-6 kg VS/m³/dag) uden tegn på inhibering med en høj omsætningsgrad hvilket resulterer i høje metanproduktionsrater (2-5 m³ CH₄/m³/dag)
- kan håndtere korte hydrauliske opholdstider (10 dage)
- øger den mikrobiologiske biomasse (bakterier og arkea) betragteligt som tillader at ovenstående belastninger/metanproduktionsrater kan opnås

Samlet set betyder ovenstående, at OptiGas-konceptet gør det muligt, at have en reaktor som i forhold til konventionelle biogasreaktorer er meget mindre (både grundareal og volumen). Dette reducerer konstruktionsomkostningerne og reducerer samtidig varmebehovet og forbedrer miljøprofilen.

3. Koncept og videreudvikling af reaktor

3.1 OptiGas-konceptet

Den udviklede løsning er en reaktorenhed, som kan tilsluttes eksisterende anlæg (add-on), eller fungere som stand-alone enhed. Det værdiskabende i den udviklede teknologi er, at reaktordesignet har en stor kapacitet (i forhold til volumen), er fleksibelt (muligheder for såvel separat udrådning som samudrådning) og tåler store udsving i belastning.

OptiGas-reaktoren kan driftes ved en signifikant højere belastning og væsentligt kortere opholdstid, idet den herboende biofilm på blokmedierne øger mængden af bakterier i reaktoren. Således viser det første projekt samt faglitteratur (laboratoriestudier), at det er muligt at opnå samme biogasproduktion ved betydelig kortere opholdstid med blokmedier, hvorfor reaktoren kan gøres meget kompakt.

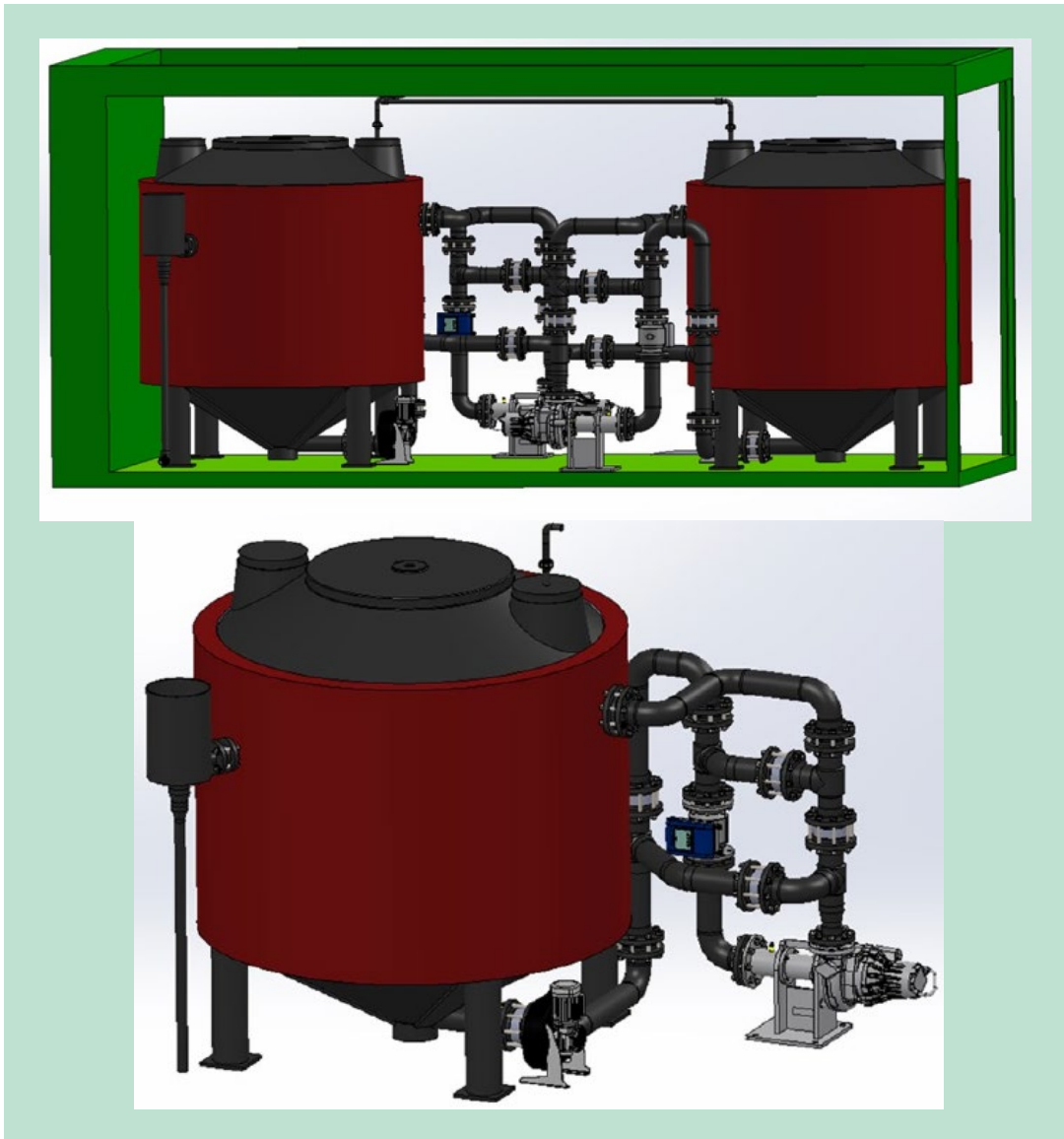
På trods af de mange potentielle fordele virker det ikke til, at biogasreaktorer med blokmedier er særligt udbredte, hvilket bl.a. skyldes risikoen for tilstopning og døde zoner. I OptiGas-II konceptet er der indført en række tiltag som forsøger at minimere risikoen for en tilstopning, hvilket bl.a. inkluderer opbygning af blokmedierne, som har vertikale kanaler (medstrøms flow-retning) med en diameter som minimere risikoen for tilstopning og brugen af chopper pumper på det recirkulerede flow. Derudover er der i projektet anvendt biopulp som ifm. produktionen er filtreret på et sold med en forholdsvis lille hulstørrelse (6mm). Desuden er der på forsiden af doseringspumperne indsat en sold som hindrer meget store partikler i at komme ind i reaktoren.

3.2 Eksisterende pilotanlæg

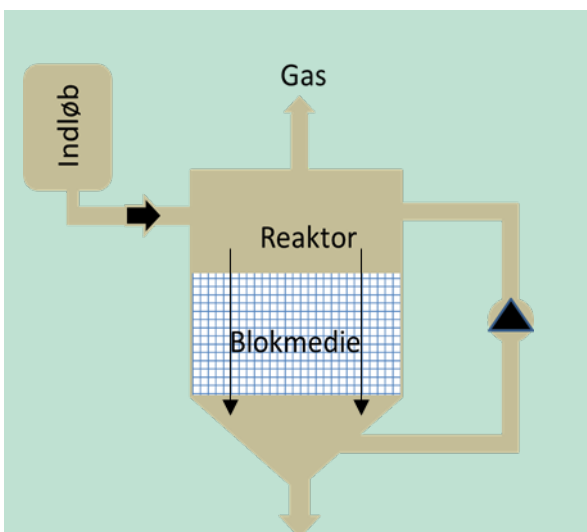
I dette projekt er der taget udgangspunkt i pilotanlægget som blev udviklet af BIO-AQUA i det første projekt og i slutrapporten for projektet, kan der findes en detaljeret gennemgang af anlægsopbygningen¹. Overordnet set er pilotanlægget opbygget på følgende måde:

- Pilotanlægget blev opbygget i en isoleret container, så pilotanlægget let kan transporteres
- Pilotanlægget består af to identisk udformede reaktorer med samme reaktorvolumen.
- Den ene reaktor indeholder blokmedier af typen BIO-BLOK® 100 og den anden indeholder ikke blokmedier (konventionel)
- Indføringen til de to tanke blev udført med to ens slangepumper (LSM-pumper), som var frekvensstyret
- Gassen fra reaktorerne blev afledt i toppen af tankene via to gasmålere og blev ventileret væk
- To skærende Flygt-pumper recirkulerer reaktorindholdet i det to reaktorer. Pumpehastigheden kan styres på disse via en frekvensstyring og recirkulationen blev udformet, så den kunne køre ind fra både top og bund.
- Blokmedie reaktoren er konstrueret således at det recirkulerende flow ledes langs blokmedierne for dermed at øge kontakten mellem biofilm og substrat (se

¹ <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2019/02/978-87-7038-033-1.pdf>



FIGUR 1. Opbygning af de to reaktorer som er anvendt i Optigas-II projektet.



FIGUR 2. Opbygning blokmediereaktoren

3.3 Videreudvikling af pilotanlæg

I forhold til den eksisterende pilotopstilling blev der gennemført en række modificeringer og ombygninger med det formål at øge stabiliteten og styringsmulighederne. Dette inkluderer bl.a.:

- **Temperaturstyring:** Der blev installeret en varmekilde i containeren med det formål at holde temperaturen i containeren mere konstant over forsøgsperioden. Derudover blev der installeret en varmekilde i hver reaktor for dermed at minimere udsving i reaktortemperatur.
- **Skumning:** Der blev installeret en kort skorsten over hver biogasreaktor, så gassen udtages højere over væskeniveau for herved at minimere tilstopninger af flowmåler ved skumning. Endvidere blev der installeret en skumfælde mellem gasudtag og gasmåling, hvor evt. skum kan opsamles. På eventuelle fuldskalaanlæg vil der blive monteret et system, hvor skummet løber tilbage i selve tanken; et system som er indbygget på mange rådnetanke, men som ikke er ikke muligt at indbygge i en pilotopstilling pga. størrelsesbegrænsninger.
- **Prøvetagning:** Der blev installeret en række drejehaner, som gør det muligt at udtage prøver af reaktorindhold og det indgående materiale.
- **Reaktoropholdstid:** Der blev opstillet opsamlingskæder på udløbet med niveauindikation. På denne måde kan reaktoropholdstiden løbende måles og korrigeres. Desuden blev der opsat selvstændige frekvensstyring på indfødningspumperne, så reaktoropholdstiden kan korrigeres individuelt på de to reaktorer.

3.4 Bundbeluftsningpumpe

I forhold til konventionelle biogasreaktorer er opblandingsbehovene i blokmediereaktor radikalt anderledes. For at få den optimale udnyttelse af medierne er det nødvendigt, at væsken konstant recirkuleres over medierne. Traditionelle reaktorer bliver også opblandet for at forhindre døde zoner, men i OptiGas-konceptet skal denne recirkulering være horisontalt.

I projektet, har BIO-AQUA og Xylem udviklet en beluftsningpumpe som kan placeres i bunden af reaktoren (se Figur 2). Formålet med pumpen er at den suger gas fra reaktorens top og spreder gas og væske centrifugalt langs bunden af reaktoren. Herved vil gasboblernes opstigning mellem blokmediere sørges for den nødvendige opblanding.

BIO-AQUA har med stor succes anvendt ligende beluftsningspumpen i almindelige aerobe bioreaktorer, hvor pumpen har omrørt og oxygenet spildevandet (se Figur 3). Det er dog ikke muligt at anvende samme pumper i biogasreaktorer, idet motoren ikke har haft den fornødne effekt og ikke kan tåle den varme som findes i en biogasreaktor. I projektet er der opbygget en beluftsningpumpe baseret på en Flygt motor som er varmeresistent til 90 °C. Da der ikke er ilt i bunden af reaktoren, er det ikke et krav at motoren skal være ATEX-godkendt. Beluftsningspumpen vil kunne serviceres gennem et vertikalt rør i midten af reaktoren (se Figur 3).

Den udviklede pumpe er pga. størrelsen på pilotreaktoren ikke implementeret, men forventes at kunne reduceres energiforbruget til omrøring og opblanding kraftigt. Endvidere vil centraliseringen af pumpen under blokmediere sikre at der skabes en uniform væskestrøm langs disse og dermed sikre optimal kontakt mellem biofilm og substrat.



FIGUR 3. Beluftningspumpe til anvendelse i blokmediereaktor (OptiGas-koncept)



FIGUR 4. Beluftningspumpe i aerob bioreaktor. Service af pumpe kan foretages gennem det vertikale og centraliserede rør.

4. Drift af pilotskalareaktorer

Pilotskalaopstillingen blev opsat ved Vejle Spildevand i juli 2019 og anvendt til forsøg over en periode på 9 måneder. På trods af modificeringerne var der stadig en række udfordringer med at anvende forsøgsopstillingen. Udfordringerne skyldes ikke selve teknologikonceptet, men i højere grad at forsøgene er kørt i pilotskala, hvilket bl.a. betyder:

- Dimensionen på slangerne på indfødningspumperne er forholdsvis små, hvilket betyder at disse tilstopper jævnligt, når der pumpes væsker med et højt tørstofindhold eller væsker med høj viskositet. Dette kræver derfor daglige/ugentlige rensninger. En større diameter vil øge dødvolumen i slangerne og dermed mulighed for sedimentering.
- Reaktorerne var fremstillet med et låg, som tillod at der løbende kunne udtages prøver fra blokmediere. Dog var det meget vanskeligt, at få låget til at holde tæt, hvilket betød at flowmålingerne indledningsvis ikke var korrekte. Det blev derfor besluttet at svejse låget fast, for at minimere lækagerne, hvilket derfor medførte at biofilmen kun kunne tilses ved afslutningen af forsøget.

Reaktorerne blev podet med materiale fra rådnetankene fra Vejle Renseanlæg, hvilket sikrede, at det anvendte pode-materiale var aktivt og tilvænnet til den indgående biomasse.

Til forsøgene blev der anvendt primær slam fra Vejle renseanlæg. Dette blev tilført pilotskalacontaineren, lige inden blandingen normalvis blev indført i fuldsalarådnetankene på. Den anvendte biopulp blev produceret af KomTek Miljø A/S ved anvendelse af, Gemidan Ecogi pulperanlæg. Puleranlægget sikrer en meget høj renhed af biopulpen med et lavt indhold af større partikler, idet der anvendes en finmasket sold (6mm) ifm. pulpningen. Dette minimerer risikoen for tilstopning i blokmediereaktoren.

Inden pilotskalacontaineren blev idriftsat, blev der opsat et detaljeret forsøgsprogram. Dette var inddelt i fire overordnede forsøgsperioder:

1. Separatdråkning af primær slam
2. Samudråkning af primærslam og biopulp
3. Separatdråkning af biopulp
4. Separatdråkning af primær slam

Fra begge reaktorer, blev der to gange ugentligt udtaget prøver af den udgående gas med henblik på at bestemme gassammensætningen. Herudover blev der to gange pr uge udtaget prøver af den indgående slam/biopulp samt reaktorindholdet. Disse prøver blev analyseret for tørstof, aske, COD, pH og kortkædede fedtsyrer (VFA) med det formål at kunne beregne omsætningen af organisk materiale samt tjekke reaktorstabiliteten (pH fald ved VFA-akkumulering). Herudover blev reaktorerne næsten tilset dagligt hvor gasproduktionsvolumen og temperatur blev aflæst på de to reaktorer.

4.1 Separatdråkning af primær slam

Til forsøgene blev der anvendt primærslam fra Vejle Spildevand. Indpumpningen af primær slam blev påbegyndt få dage efter at reaktorerne blev podet. Primærslammet indeholder mere energi/højere metanpotentiale end bioslam, hvorfor metanproduktionsraten vil være højere end i tilfældet hvor der anvendes en blanding af bio- og primærslam som på Vejle Renseanlæg.

I den første forsøgsperiode, var der store udfordringer med at holde reaktorerne gastætte samt problemer med den ene gasflowmåler. Dette bevirkede, at gasproduktionsraterne ikke er retvisende for den egentlige produktionsrate.

Ud fra de kemiske analyser blev der dog hurtigt observeret forskelle imellem de to reaktorer. Således var tørstofomsætningen højere i reaktorerne med blokmedier ift. den konventionelle. Herudover var pH-værdien efter 21 dage generelt lavere i den konventionelle reaktor ift. reaktoren med blokmedier, og VFA-værdierne langt højere i den konventionelle reaktor. Dette tyder således på at der allerede kort inden i forsøget er begyndt at etablere sig en biofilm på blokmedierne, som forbedrer den generelle performance af reaktoren med blokmedier.

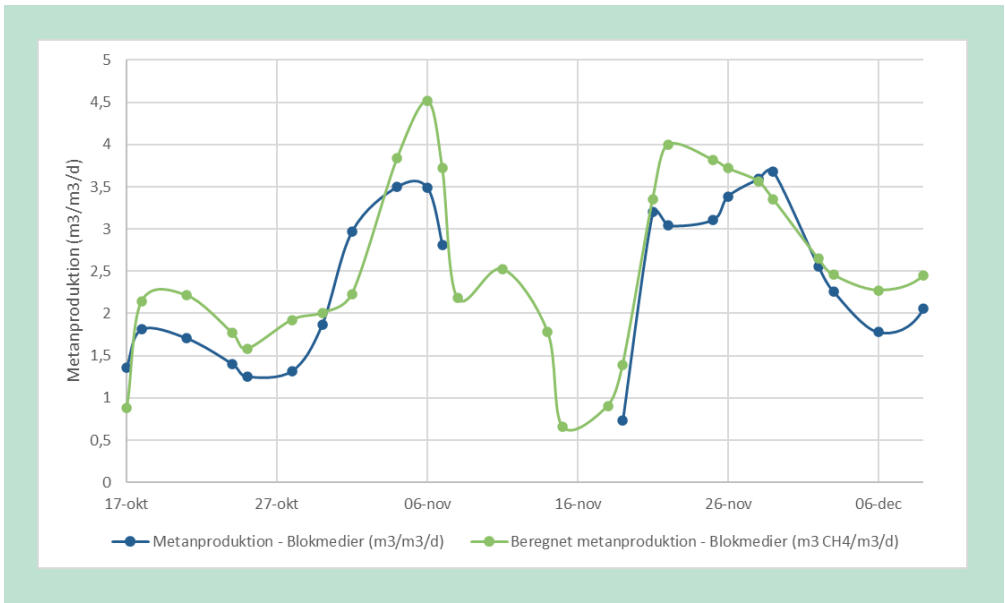
I september måned var der en større tilstopning i udløbet på den konventionelle reaktor, hvilket bevirkede at væskeniveau steg op i den påmonterede skorsten og blokerede gasudgangen. Den øgede væskestand fjernede tilstopningen men resulterede samtidig i en skævvridning af reaktorkonstruktionen pga. undertryk. I perioden herefter blev reaktor, uden held, forsøgt udbedret. De efterfølgende forsøgsperioder er derfor gennemført alene med reaktoren med blokmedier.

4.2 Samudrødning af primærslam og biopulp

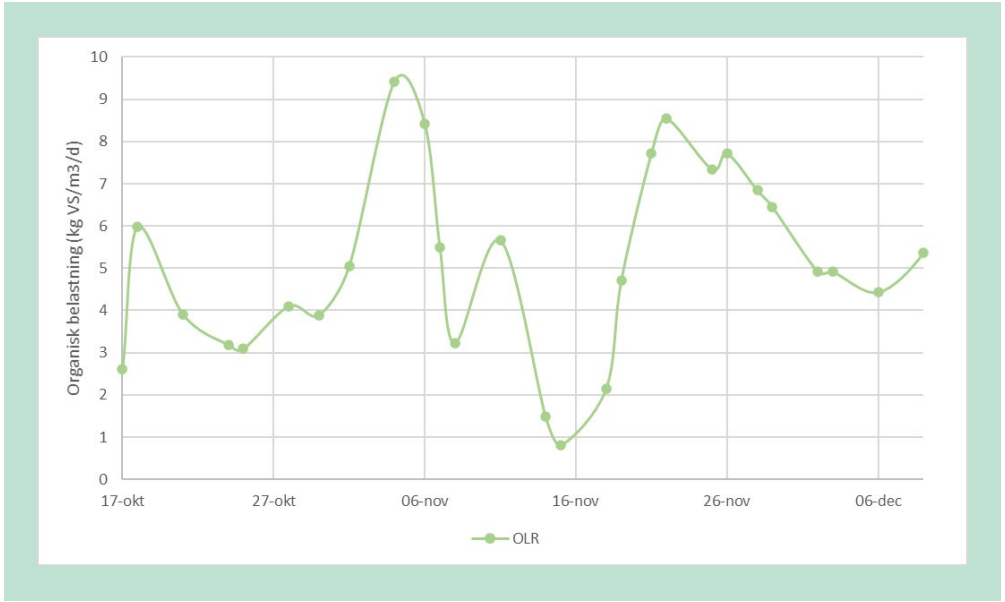
I Figur 2 er den målte og beregnede metanproduktionsrate vist over hele forsøgsperioden som varede 2 måneder. Den beregnede metanproduktionsrate er udregnet med udgangspunkt i tørstof- og askeindholdet samt metanpotentialet af primærslammet og biopulpen og den hydrauliske opholdstid i reaktoren. Som det fremgår af grafen, er der meget god sammenhæng imellem den målte og beregnede metanproduktion, hvilket indikerer at langt hovedparten af det organisk materiale omsættes til metan. Således blev der også målt en gennemsnitlige nedbrydning af det organiske materiale på 80%.

I perioden midt oktober til start november blev der forsøgt anvendt en organisk belastning på 4 kg VS/m³/dag (se Figur 3). Herefter blev den organisk belastning øget ved at reducere opholdstiden i reaktoren, hvilket bevirkede en kraftig stigning i metanproduktionen. Den 8. november blev der observeret et kraftigt fald i metanproduktionen, hvilket på tidspunktet blev vurderet at være forårsaget af en overbelastning af reaktoren. Af denne grund blev den organiske belastning reduceret (længere opholdstid). Det viste sig dog at være den anvendte flowmåler som målte forkert, hvilket også blev bekræftet af de kemiske analyser (lav VFA og stabil pH). Efter justering af flowmåleren, blev den organiske belastning justeret til det samme niveau som tidligere (7 kg VS/m³/dag). Dette bevirkede igen en kraftig stigning i metanproduktionen. I perioden herefter faldt den organiske belastningen en smule, hvilket var forårsaget af tilstopninger i slangerne. I hele forsøgsperioden blev der observeret et stabilt metanindholdet på ca. 60-62% i den producerede gas (se Figur 4) samt en stabil pH på ca. 7,5 (data ikke vist). Reaktortemperaturen varierede derimod forholdsvis meget fra 31°C til 39°C (se Figur 4), hvilket skyldes at reaktorerne ikke er isoleret hvorfor reguleringen bliver vanskelig på trods af de to varmekilder i hhv. containeren og reaktoren. Temperaturudsvingningerne ser dog ikke ud til at påvirke metanproduktionsraten eller udnyttelsen af den indgående slam/biopulp.

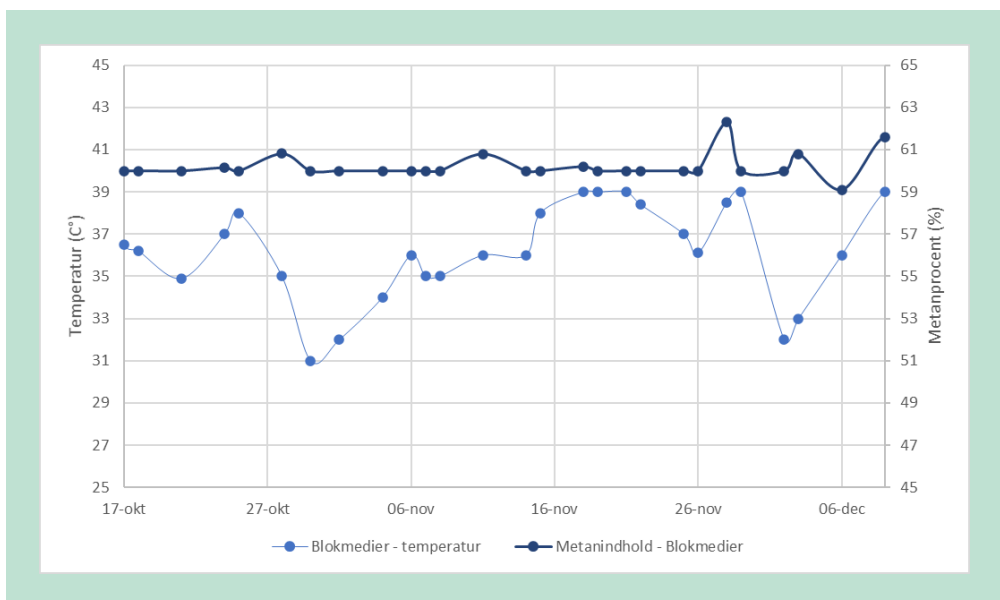
Overordnet set viser forsøgsperioden at reaktoren med blokmedier effektivt har kunne omsætte en blanding af primær slam og biopulp, som har et højt energiindhold og tørstofindhold, ved korte opholdstider (ned til 10 dage). Således er der opnået en metanproduktionsraten som er 2-4 gange højere end for konventionelle biogasreaktorer og tillige med en meget høj udnyttelse af det organiske materiale.



FIGUR 5. Beregnet og målt metanproduktionsrate (m³ CH₄/reaktorvolumen/dag)



FIGUR 6. Organisk belastning (OLR)



FIGUR 7. Reaktortemperatur og metanindhold i den producerede gas

4.3 Separatuddraining af biopulp

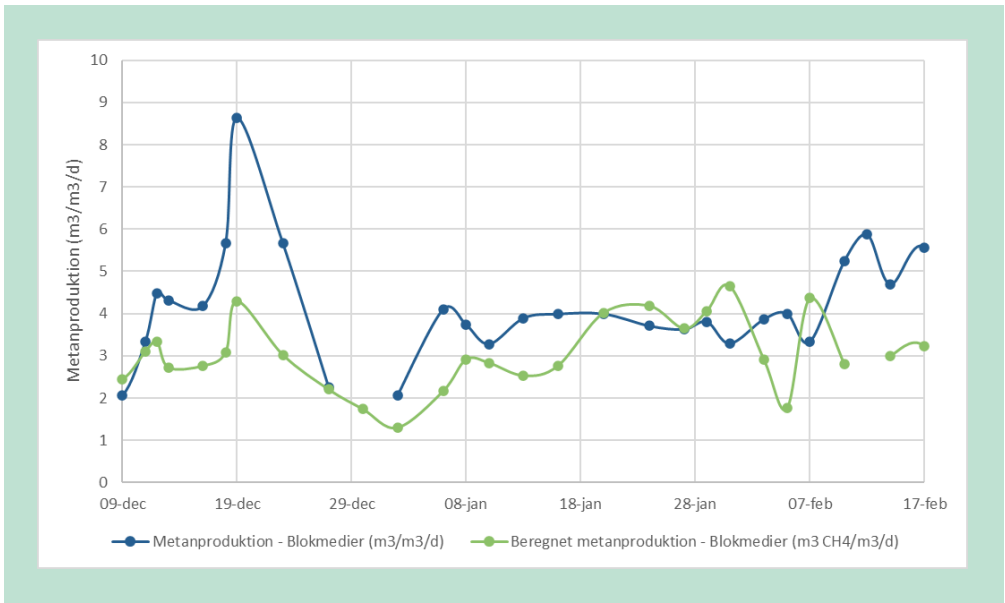
I Figur 5 er den målte og beregnede metanproduktionsrate vist over hele forsøgsperioden som varede 2,5 måneder. Den beregnede metanproduktionsrate er udregnet med udgangspunkt i tørstof- og askeindholdet samt metanpotentialet af biopulpen og den hydrauliske opholdstid i reaktoren. Som det fremgår af grafen, med undtagelse af perioden 18. december til 23. december, observeres der en god sammenhæng imellem den målte og beregnede metanproduktion, hvilket indikerer at langt hovedparten af det organiske materiale omsættes til metan. I perioden 18. december til 23. december er den målte metanproduktionsrate væsentligt højere end den beregnede. Årsagen til dette kendes ikke, men kan evt. skyldes at der er pumpet noget fasesepareret biopulp ind med et højere tørstofindhold.

Med de anvendte doseringspumper har det været meget vanskeligt at holde den hydrauliske reaktorpholdstid konstant og dermed også den organiske belastning, idet tørstofindholdet af biopulpen er høj hvorfor der ofte opstår tilstopninger i de relativt små slanger. Som det fremgår af Figur 6 varierer den organiske derfor ret meget i perioden, men har i perioden fra 11 december til 7 februar været på 5,9 kg VS/m³/dag.

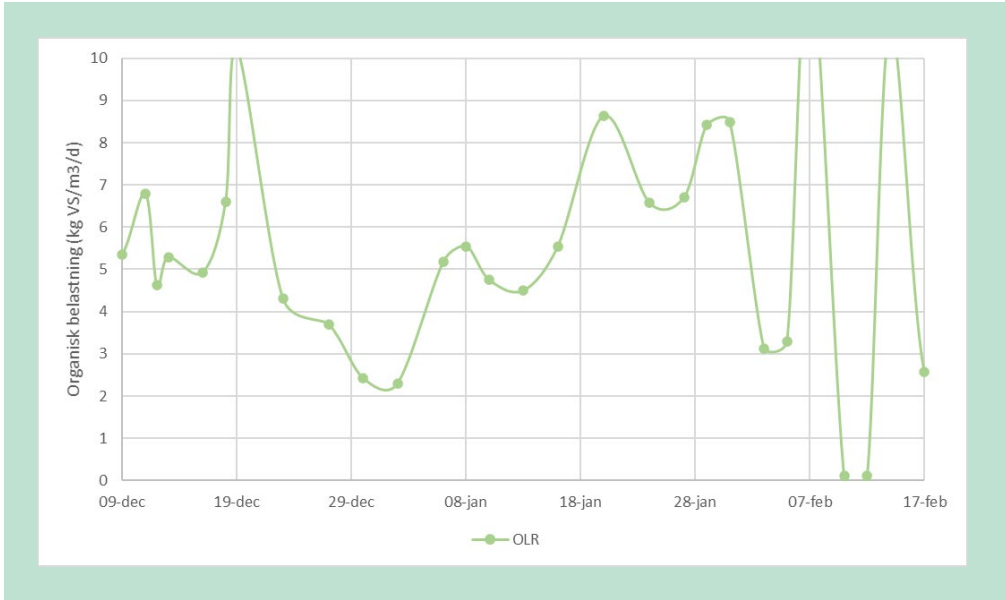
I hele forsøgsperioden blev der observeret et stabilt metanindholdet på ca. 60 i den producerede gas samt en stabil pH på ca. 7,5 (data ikke vist). pH'en af biopulpen er sur (pH 4-5), hvorfor forsøgene indikerer at indholdet af organiske syrer er blevet hurtigt omsat i reaktorer. Med undtagelse af de første par dage, var reaktortemperaturen meget stabil 35-37 °C (se Figur 7).

Overordnet set viser forsøgsperioden at reaktoren med blokmedier effektivt har kunne omsætte ren biopulp, som har et højt energiindhold og tørstofindhold, og endda ved korte opholdstider. Således er den opnået en meget høj metanproduktionsraten (4-5 m³ CH₄/m³/dag).

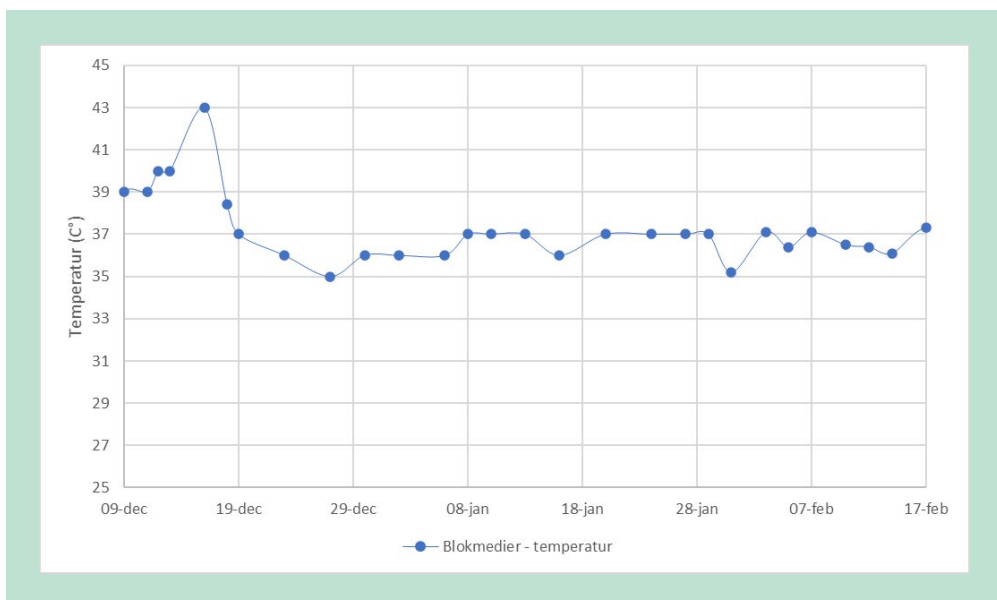
Afslutningsvis i perioden, blev der observeret meget store udsving i reaktorpholdstiden, som blev bestemt ved at løbende at måle mængden af det udgående materiale. Dette kan også observeres i den organiske belastning.



FIGUR 8. Beregnet og målt metanproduktionsrate (m³ CH₄/reaktorvolumen/dag)



FIGUR 9. Organisk belastning (OLR)



FIGUR 10. Reaktortemperaturen i forsøgsperioden

4.4 Separatuddrødning af primær slam (demonstrationsperiode)

Efter to meget vellykkede perioder, med samudrødning af primærslam og biopulp og separat udrødning af biopulp, blev det besluttet at gentage den første periode med separat udrødning af primærslam, idet resultaterne var af dårligere kvalitet pga. div. indkøringsproblemer med reaktoren.

Ifm. med skiftet til primærslam blev der dog observeret en meget drastisk nedgang i metanproduktionsraten til et niveau langt under den beregnede metanproduktionsrate. Over en periode på næsten to måneder blev der arbejdet intensivt på fejlsøge reaktoren ift. lækager og der blev gjort utallige tiltag for at genetablere metanproduktionen (fx udskiftning af podemateriale), desværre uden succes. Med udgangspunkt i tidsforbruget og situationen med COVID-19, blev det besluttet at afslutte pilotskala forsøgene.

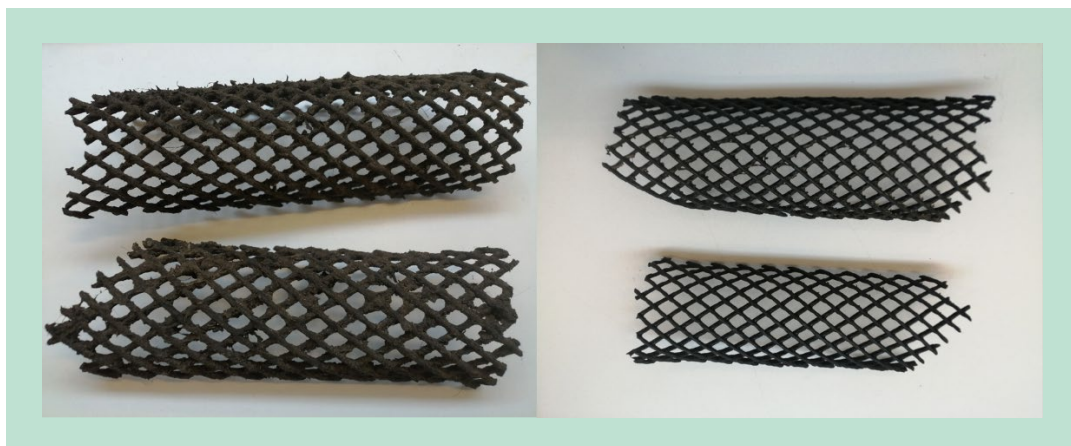
Ifm. med afslutning af forsøgene blev låget på reaktoren med blokmedier afmonteret, så blokmedierne kunne besigtiges og der kunne udtages prøver af disse. I den forbindelse blev det observeret at blokmedierne var revet ud af deres fæstne og at flere af blokke var placeret vinkelret på den oprindelige gennemstrømningsretning og dermed blokerede recirkuleringsflowet. Dette kan forklare, hvorfor det i den sidste periode var vanskeligt at opretholde en effektiv omsætning af det indgående materiale.

Frarivning fra fæstnelsen vurderes at være sket ved afslutningen af den forrige periode (separatuddrødning med biopulp), idet der på dette tidspunkt blev observeret meget store udsving i reaktorpholdstiden (som blev bestemt ved at løbende at måle mængden af det udgående materiale) og dermed også den organiske belastning (se Figur 6).

4.5 Mikrobiolog på blokmedier

For at muliggøre et mere kompakt reaktordesign eller mindske opholdstiden i reaktoren forudsættes en høj tilstedeværelse af aktive mikroorganismer, der repræsenterer hele nedbrydningskæden fra slam og/eller KOD til metanproduktion. Blokmedierne muliggør, at mikroorganismerne kan hæfte sig fast og derved undgår at blive skyllet ud, med det udgående materiale. For at dokumentere den positive effekt af blokmedierne på den mikrobiologiske populationsstørrelse, blev mængden af biomassen på udvalgte stykker fra blokmedierne bestemt. Yderligere blev indholdet af bakterier og arkea bestemt ved qPCR, så den præcise mikrobiologiske population kunne bestemmes.

Biomassen på blokmedier blev bestemt ved afrensning fra blokmedierne med en blød børste. Alt det organiske materiale blev opsamlet, og tørstofindholdet og glødetabet blev efterfølgende bestemt ved hhv. 105 °C og 550 °C. Nedenfor er vist forskellen mellem et stykke blokmedie før og efter biomassebestemmelse, se Figur 8.



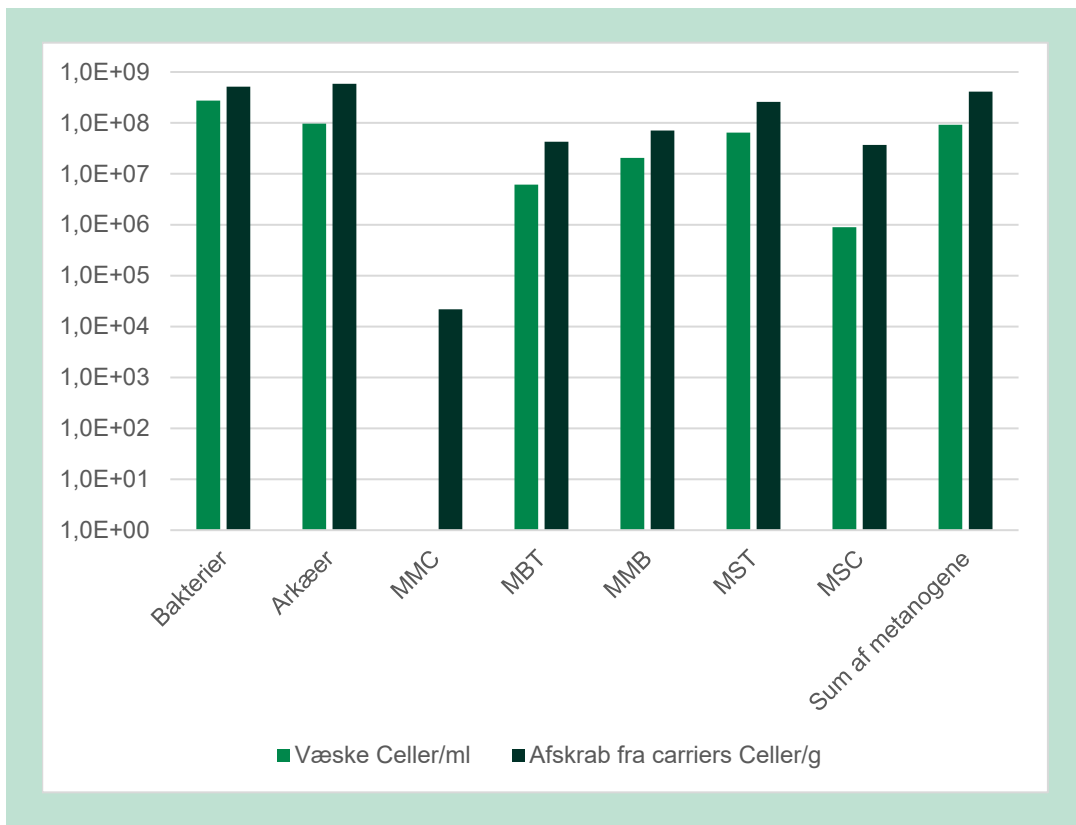
FIGUR 11. Overblik over biofilm på biomedierne før og efter rengøring.

Af biomassen, bestemt på blokmedierne, blev det antaget, at den mikrobiologiske biomasse udgjorde halvdelen af den organiske fraktion, idet denne fraktion også indeholder også uomsat organisk materiale, bl.a. humuslignende materiale, som ikke kan omsættes i biogasreaktorer, da ilt ikke er til stede. Et simpelt estimat på den totale biomasse til stede i reaktoren blev således bestemt ud fra en gennemsnitsbiomassebestemmelse sammenholdt med antallet af blokmedier til stede i reaktoren. I alt beregnedes blokmedierne til at facilitere en yderligere biofilm i reaktoren på ca. 30 kg.

Til sammenligning var der ca. 30 kg organisk materiale i reaktorerne, som ligeledes var en blanding af den mikrobiologiske population og uomsat organisk materiale. Andelen af uomsat organisk materiale er antaget at være ca. det samme som på blokmedierne. Tilstedeværelsen af blokmedier forøgede derfor kraftigt den samlede mikrobiologiske population. Denne forøgelse muliggjorde meget høje biogasproduktionsrater, hvilket gjorde det muligt at reducere opholdstiden og/eller opnå en større reduktion af det organiske materiale.

Hvad angik bakterie- og arkeapopulationerne, blev et generelt qPCR-primersæt anvendt til bestemmelse af bakterier og arkea til stede i prøven. Tillige blev den metanogene population af arkea undersøgt i større detalje, således at der kunne skelnes mellem de mest hyppige acetoklaster og hydrogenotrofe metanogene arkea. De acetoklastiske metanogene arkea anvender overvejende acetat under produktionen af metan, hvorimod de hydrogenotrofe metanogene arkea anvender CO₂ og H₂. Der blev gennemført qPCR-analyser på DNA-ekstraktioner fra det udgående materiale reaktoren og på ekstraktioner fra stykker af blokmedierne. Den herved opnåede viden var vigtig i forhold til at kunne se en evt. ændring i sammensætningen af den metanogene population og om der er forskel mellem populationen på blokmedierne og i reaktorvæsken.

Ud fra qPCR-dataene (se Figur 8) ses det, at andelen af både bakterier og arkea var højere pr. gram blokmedier end pr. gram reaktorvæske. Der ses omtrent samme sammensætning af metanogene arkea når den samlede mængde af metanogene arkea tages i betragtning. Det er dog relativt få prøver, som ligger til grund for disse data, hvorfor forskellene kun er indikativ



FIGUR 12. Fordeling af metanogene arkea

4.6 Opsummering af pilotskalaforsøgene

Efter lidt indkøringsvanskeligheder i den første periode var resultaterne fra de to efterfølgende perioder meget positive. Til forskel fra det første projekt, hvor det kun var muligt at genere valide data over meget korte perioder, var det med de gennemførte forbedringer muligt at opnå stabil drift over to hele forsøgsperioder. De to forsøgsperioder viste, at blokmediereaktoren:

- kan anvendes til biomasser med et højt indhold af tørstof (9-18%) med høje metanpotentialer
- kan håndtere meget høje organiske belastninger (4-6 kg VS/m³/dag) uden tegn på inhibering med en høj omsætningsgrad hvilket resulterer i høje metanproduktionsrater (2-5 m³ CH₄/m³/dag)
- kan håndtere korte hydrauliske opholdstider (10 dage).

5. Skitseprojekt for fuldskalaløsning og implementering på renseanlæg

Projektet viser med alt tydelighed, at blokmediereaktoren kan belastes langt hårdere end konventionelle reaktorer og at stabiliteten kan opretholdes over lange driftsperioder. Dette bevirker, at det påkrævede reaktorvolumen til omsætningen af en given mængde organisk materiale, er langt mindre for blokmediereaktoren ift. en konventionel reaktor. Dette vil have indflydelse på konstruktions- og driftsomkostninger. I det følgende afsnit antages det, at volumenet kan reduceres med 80%.

Reaktorvolumen

I det tidligere projekt, OptiGas, blev der konstruktionsprisen for en traditionel reaktor sammenlignet med en blokmediereaktor med reaktorvolumen som kun udgjorde 20% ift. den traditionelle. Dette blev gjort via kontakt til Combigas, som projekterer biogasanlæg. Combigas råder over et dimensioneringsværktøj, som er blevet anvendt med ovenstående antagelser.

Combigas har taget tre forskellige tanke som udgangspunkt og vurderet ud fra disse, og det samlede estimat er, at en tank på 20 % af den originale tank vil koste cirka 35 % af den originale pris at bygge. Prisen inkluderer alle de væsentligste komponenter, såsom omrøring, opvarmning, isolering, indfødning og styring.

På mange renseanlæg, er der ofte meget lidt plads, hvilket bevirker at det kan være vanskeligt at udvide kapaciteten. I det reaktorvolumenet af blokmediereaktor reduceres betydeligt, vil det påkrævede grundareal ligeledes reduceres, hvilket kan positivt ifm. kapacitetsudvidelse af eksisterende renseanlæg.

Opvarmning

Den indkommende biomasse er tilsvarende for de to reaktortyper, hvorfor den initiale opvarmning af biomassen vil være tilsvarende. Derimod vil den løbende opvarmning af tankvolumenet reduceres betragteligt, idet volumenet er mindre. I det tidligere projekt, blev besparelsen opgjort, via kontakt til en energioptimeringseksperter ved Ørsted, til 10% af det samlede energiforbrug for danske renseanlæg. Fx anvendes godt 2 GWh ved BIOFOS om året til opvarmning af de fire rådnetanke, og med en reduktion på 80 % i volumenet vil halvdelen ca. kunne bespares.

Idet varmeforbruget minimeres forbedres miljøprofilen af rådnetanken også betragteligt.

Gashåndtering

Den producerede gasmængde vil være den samme, og der vil således ikke være ændringer i hverken CAPEX eller OPEX.

Blokmedier

Blokmedierne skal opbygges på en rustfri ramme inde i tanken. Dette vil medføre en samlet merpris på cirka 2.420 DKK/m³ reaktorvolumen. BIO-AQUA har bygget en lang række af sådanne reaktorer til aerob, biologisk spildevandsrensning og har udviklet et system, der nedsænkes direkte i tanken.

Recirkulering

For at få den optimale udnyttelse af medierne er det nødvendigt, at væsken konstant recirkuleres over medierne. Traditionelle reaktorer bliver også opblandet for at forhindre døde zoner, men i OptiGas-konceptet skal denne recirkulering være horisontalt. I de udførte forsøg har der været anvendt hastigheder på op til 10 meter/time, hvilket har været tilstrækkeligt til at opretholde den høje produktion. I de konkrete forsøg blev der anvendt en Flygtpumpe, som er udrustet med en 2 kW motor, og som gav et flow på 26 m³/h. Dette svarer til et forbrug på cirka 77 Wh/m³ flyttet væske. I en fuldskalaløsning vil dette energiforbrug blive mindre, da der kun er installeret et lag Exponet i reaktoren. I beregningen er der antaget otte lag Exponet svarende til en løftehøjde på seks meter vandsøjle.

OptiGas II



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk