



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Styringsværktøj til optimering af biogasproduktion og reduktion af metanemission på danske renseanlæg **MUDP-projekt**

MUDP rapport

Februar 2024

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Rune Dall Harpøth, Teknologisk Institut

Christian Holst Fischer, Teknologisk Institut

Martin Rosenørn Eskesen, Teknologisk Institut

Grafiker/bureau: Teknologisk Institut

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) 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. Rapporten må citeres med kildeangivelse.

Indhold

1.	Summary and conclusion	5
2.	Sammenfatning og konklusion	6
3.	Indledning	7
3.1	Baggrund for projektet	7
3.2	Præsentation af renselanlæg	8
4.	Laboratorieanalyser af indgående biomasser og udrådnat slam	9
5.	Sammenligning af procesparametre	11
6.	Opstilling af modeller	13
6.1	Fremgangsmåde	13
6.2	Eksempler på modeller	13
7.	Forslag til tiltag	17
8.	Konklusion og perspektivering	20

1. Summary and conclusion

Currently, there is considerable political focus on limiting the emissions of greenhouse gases such as methane (CH₄). In this project, focus is on methane emissions from open sludge storage tanks at wastewater treatment plants that produce biogas from the sewage sludge. Due to new legislation in this field, all biogas plants must have a self-control program for monitoring of methane emissions. The purpose of this project has been to develop a management tool that will make it possible for the participating utilities to plan measures to increase the degree of utilization of the incoming biomass and thereby reduce methane emissions without costly capital investments.

First, samples were collected from the treatment plants, and the incoming biomass feedstocks were analysed for biomethane potential, and the digestate was analysed for residual methane potential. Likewise, relevant process data from the period of interest was collected from the facilities. The analysis results and the collected data were used to construct a mathematical model that can predict the methane production in the digester based on the quantities of the incoming biomass. At the same time, the model can estimate the expected methane emission from the sludge storage tank.

Data shows that the treatment plants have a low residual methane potential (on average 27 Nm³ CH₄/ton dry matter (DM)) compared to the biomethane potential in the primary sludge (301 Nm³ CH₄/ton DM) and the activated sludge (121 Nm³ CH₄/ton DM), which indicates a good utilization of the biomass in the digester. Process data also shows that some facilities have relatively low organic loading rates, and it is estimated that additional biomass could be included to increase energy production. On the other hand, some plants are at times overloaded, and that reduces the utilization rate of the biomass and increases the costs related to digestate handling.

With reasonable precision, the model predicts the methane production in the digester and the emission from the sludge storage tank. That gives a decision-making basis for possible investments in the collection of residual methane for the purpose of increasing energy production and reducing methane emissions. The emissions from the sludge storage at the various facilities are estimated to be between 2.5-3.3%.

The model presented in this report is a rather simple model based on an average of three point-measurements and no iterations have been performed. Therefore, the resolution and accuracy of the model could be improved if further developments were carried out. However, it is assessed that the model is ill-suited for a self-control program.

2. Sammenfatning og konklusion

Der er i dag stort politisk fokus på at begrænse udledningerne af drivhusgasser, som fx metan (CH_4). Metan udledes bl.a. fra åbne slamlagertanke på renseanlæg, som producerer biogas af spildevandsslammet. Det store fokus har ført til ny lovgivning, som bl.a. betyder, at biogasanlæg skal have et egenkontrolprogram til dokumentation af anlæggets metanemissioner. Projektets formål har været at udvikle et styringsværktøj, som skal give de deltagende forsyninger mulighed for at planlægge tiltag, der skal øge udnyttelsesgraden af de indgående biomasser og dermed reducere metanemissionerne uden omkostningstunge anlægsinvesteringer.

Indledningsvis blev der ad tre omgange indsamlet prøver fra forsyningerne. De indgående biomasser blev analyseret for biometanpotentiale, og det udrådne slam blev analyseret for restmetanpotentiale. Ligeledes blev der indsamlet SRO-data fra anlæggene for perioden. Analyseresultaterne og de indsamlede data blev brugt til at opstille en matematisk model, som beregner den forventede metanproduktion i rådnetanken ud fra mængderne af de indgående biomasser og samtidig estimerer den forventede metanemission fra slamlagertanken.

Data viser, at renseanlæggene har lave restmetanpotentialer (i gennemsnit $27 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ton TS}$) sammenlignet med biometanpotentialet i primærslammet ($301 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ton TS}$) og bioslammet ($121 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ton TS}$), hvilket indikerer en god udnyttelse af biomasserne i rådnetanken. SRO-data viser også, at nogle anlæg er relativt lavt belastet, og det vurderes, at der er mulighed for at inkludere yderligere biomasser med henblik på at øge energiproduktionen. Omvendt er der også anlæg, som i perioder er overbelastet, hvilket reducerer udnyttelsesgraden af biomasserne og øger omkostningerne til slamhåndtering.

Modellen forudsiger med rimelig præcision metanproduktionen i rådnetanken og emissionen fra slamlageret og giver dermed et beslutningsgrundlag for en eventuel investering i opsamling af restmetan med henblik på at øge energiproduktionen og mindske metanemissionen. Emissionen fra slamlageret på de forskellige anlæg er i projektet opgjort til mellem 2,5-3,3 %. Modellen, som præsenteres i denne rapport, er baseret på et gennemsnit af tre punktmålinger, og der er ikke foretaget nogen iterationer. Den foreliggende model kan med fordel videreudvikles med henblik på at opnå større opløselighed og nøjagtighed. Det vurderes imidlertid, at modellen ikke bliver egnet til at indgå i et egenkontrolprogram.

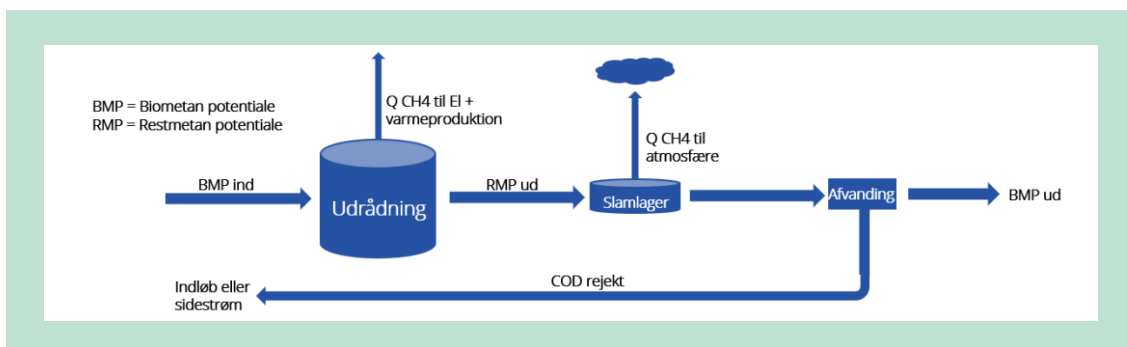
3. Indledning

3.1 Baggrund for projektet

I Danmark tegner renseanlæg sig i dag for 0,4 % af den samlede udledning af drivhusgasser, hvoraf lattergas (N_2O) og metan (CH_4) udgør størstedelen¹. Der er i dag stort politisk fokus på at begrænse udledningerne, fx udmøntet i vedtagne grænseværdier, og der forventes i de kommende år at ske massive investeringer i udledningsreducerende tiltag. Det endelige mål er en energi- og klimaneutral vandsektor i 2030. I den nyligt offentliggjorte Parismodel er det gennemsnitlige metantab fra renseanlæg beregnet til 2 %, og det er forsyningernes ambition at halvere dette til 1 % i 2025. Dog viser en ny EUDP-rapport, at de danske renseanlæg har en gennemsnitlig lækageprocent af metan på 7,7 %².

I EUDP-rapporten blev det konkluderet, at slamlagertankene er den største kilde til metanemission. Da mange slamlagertanke er åbne, er det restmetanpotentialet i det udrådne slam samt driften af den efterfølgende afvanding, der er afgørende for omfanget af metanemission. Restmetanpotentialet er stadig en ukendt parameter blandt mange forsyninger, og en kortlægning heraf vil give forsyningerne mulighed for at opsætte nye styringer med henblik på at øge energiproduktionen og sænke metanemissionen, uden at der skal foretages dyre anlægsinvesteringer. På baggrund af konklusionerne fra EUDP-rapporten har Energistyrelsen nu udstedt regler om metantabsregulering, som trådte i kraft 1. januar 2023. Det betyder, at biogasanlæg skal have et egenkontrolprogram og have gennemført en årlig kontrol ved en uafhængig tredjepart³.

I dette projekt måles biometan-/restmetanpotentiale af fødeslam, udrådnet slam og afvandet slam fra renseanlæg hos fem forskellige forsyninger. Med baggrund i anlæggenes driftsdata opstilles der modeller for de enkelte anlæg med det formål at kortlægge udrådningsprocessen. Modellen skal bruges som værktøj til løbende at optimere drift og styring af rådnetanken. Hensigten er at øge udnyttelsesgraden af de indgående biomasser og kvalitativt måle metanemissionen fra slamlagertankene. Derudover ønskes det undersøgt, om modellen kan indgå som en del af et egenkontrolprogram, jf. den nye lovgivning om metantabsregulering.



FIGUR 1. Grafisk illustration af et renseanlæg med en rådnetank, hvor der opsamles biogas, som bruges til el- og varmeproduktion, og en åben slamlagertank, hvorfra restmetan udledes til atmosfæren. Slutteligt afvandes slammet, inden det transporteres væk, og rejeckt vandet recirkuleres tilbage til renseanlægget.

¹ <https://mst.dk/service/nyheder/nyhedsarkiv/2020/dec/nyt-viden-om-renseanlaeggenes-klimabelastning/>

² https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/metantab_rapport.pdf

³ <https://ens.dk/presse/energistyrelsen-udsteder-nye-regler-om-metantab-fra-biogasanlaeg>

3.2 Præsentation af renselanlæg

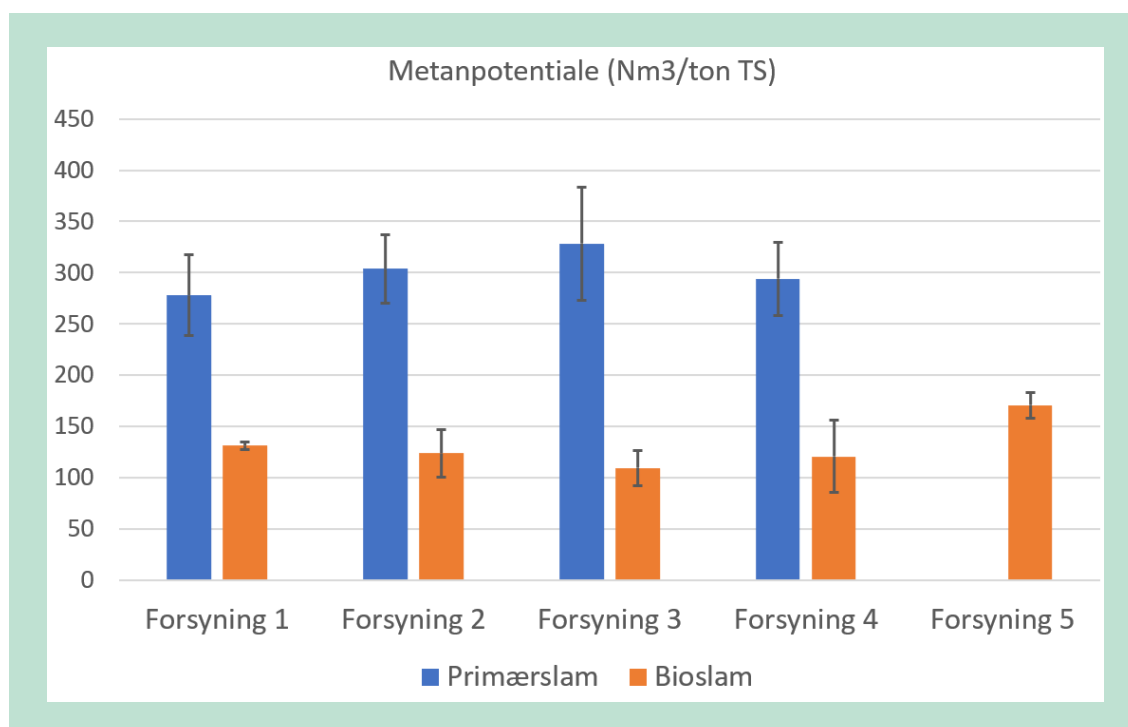
I projektet deltager fem forsyninger: Vandmiljø Randers, Mariagerfjord Vand, Silkeborg Forsyning, Vejle Spildevand og Samn Forsyning. På nogle forsyninger foretages først en forklaring af spildevandet, hvorved der produceres primærslam. Efterfølgende gennemgår det forklarede spildevand biologisk behandling med aktivt slam, og til sidst separeres det aktive slam (kaldet bioslam) fra det rensede vand. De to slamfraktioner, primærslam og bioslam, behandles i rådnetanke, hvor en del af slammet bliver omdannet til biogas, der bliver brugt til at producere elektricitet og varme. Nogle forsyninger tager desuden imod diverse organiske spildstrømme fra nærliggende industrier, som også behandles i rådnetanken for at øge metanproduktionen. Efter rådnetanken føres slammet over i en slamlagertank, hvor det opbevares, indtil det afvandes og transporteres væk. Nogle forsyninger har en åben slamlagertank, mens andre har en overdækket slamlagertank med opsamling af restmetan.

4. Laboratorieanalyser af indgående biomasser og udrådnet slam

Der blev indsamlet prøver af de forskellige biomasser, som de enkelte forsyninger tilfører deres rådnetanke, og af det udrådnede slam og det slutaftvandede slam. Prøverne blev indsamlet ad tre omgange og analyseret for tørstofindhold (TS) og organisk indhold (VS). De indgående biomasser og det slutaftvandede slam blev desuden analyseret for biometanpotentiale (BMP), mens det udrådnede slam blev analyseret for restmetanpotentiale (RMP).

Ved en BMP-analyse blandes biomassen med slam fra rådnetanken, der fungerer som podemateriale, dvs. at materialet indeholder de bakterier, som driver udrådningsprocessen. Biomassen inkuberes under anaerobe forhold ved samme temperatur som rådnetanken, hvorfra podematerialet er udtaget. Herved simuleres rådnetanken i laboratorieskala, hvorfra udbyttet kan opgøres. Analysen fortsættes, indtil der ikke længere måles nogen metanproduktion. Metanpotentialet af en given biomasse udtrykkes som volumen af metan produceret per gram tørstof ($\text{NmL CH}_4/\text{g TS}$) eller per gram organisk indhold ($\text{NmL CH}_4/\text{g VS}$). Metanpotentialet er således et udtryk for det maksimale volumen metan, der kan opnås ved anaerob nedbrydning under optimale betingelser.

Ved en RMP-analyse måles udelukkende på det udrådnede slam, og det producerede metan stammer således fra uomsat organisk indhold i det udrådnede slam. De målte metanpotentialet for slamfraktionerne fra de fem forskellige renselanlæg er vist i FIGUR 2.



FIGUR 2. Målte metanpotentialet for slamfraktionerne (blå = primærslam, orange = bioslam) fra de fem forskellige renselanlæg. Fejllinjer indikerer variationen mellem de tre prøveudtagninger.

FIGUR 2 viser, at udbyttet for primærslam varierer fra 278-329 Nm³/ton TS mellem anlægene, mens udbyttet for bioslam varierer fra 109-170 Nm³/ton TS. Her er det værd at bemærke, at bioslammet fra forsyning 5 har et væsentligt højere metanpotentiale end de øvrige forsyninger, hvilket givetvis skyldes, at dette anlæg ikke har implementeret forklaring af spildevandet. Øvrige variationer i metanpotentialet af slamfraktionerne fra de forskellige anlæg skyldes formentlig forskelle i sammensætningen af det indgående spildevand, samt hvordan forklaringen er konstrueret.

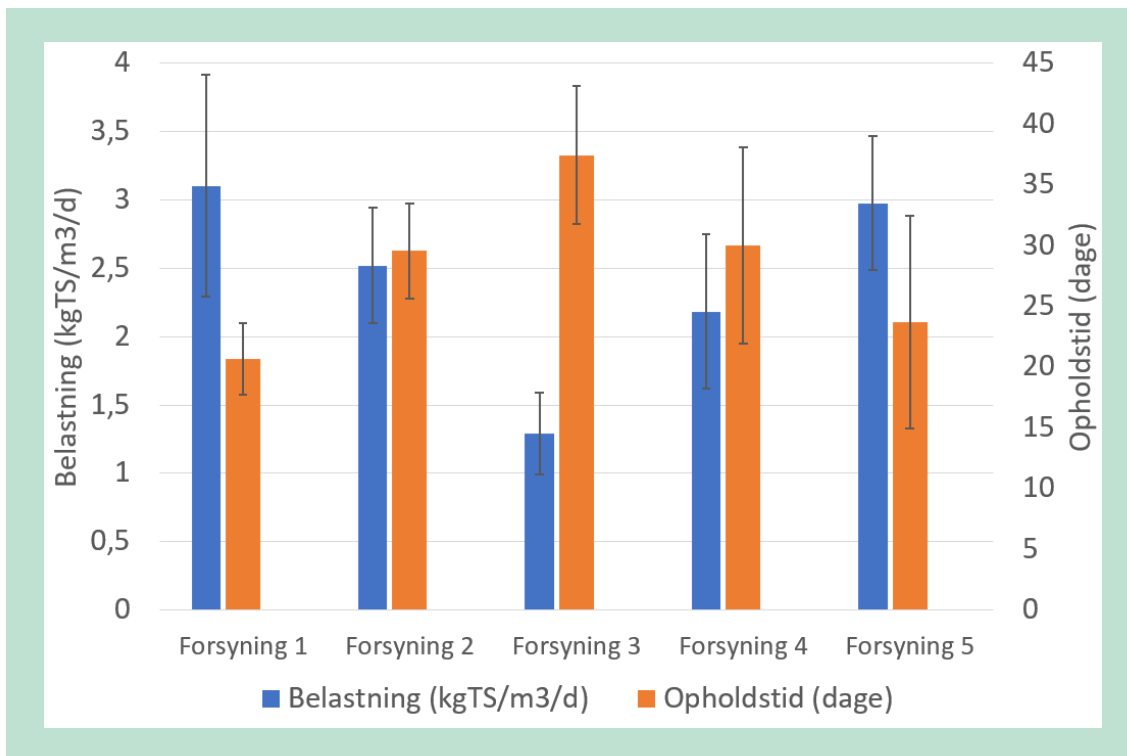
Som det ses af fejllinjerne på FIGUR 2, er der en spredning på ca. 15 % mellem prøveudtagningerne, som foregik med 2-3 måneders mellemrum hen over året. Der blev observeret en generel tendens til, at metanpotentialet af slamfraktionerne var lavere i de varme måneder. Dette kan formentlig forklares ved, at en større fraktion af det organiske indhold i spildevandet nedbrydes biologisk i kloaksystemet undervejs til renseanlægget, da den biologiske aktivitet stiger ved højere temperaturer. Restmetanpotentialet i det udrådnede slam varierer fra 23-31 Nm³/ton TS mellem de fem anlæg. Det lave restmetanpotentiale af det udrådnede slam ift. biometanpotentialet i de indgående biomasser indikerer en fornuftig udnyttelse af slamfraktionerne på alle anlæg. Dette er forventeligt for slambaserede rådnetanke, hvor fokus er på nedbringelse af slamvolumen fremfor metanproduktion, eftersom slamhåndtering er omkostnings tungt.

5. Sammenligning af procesparametre

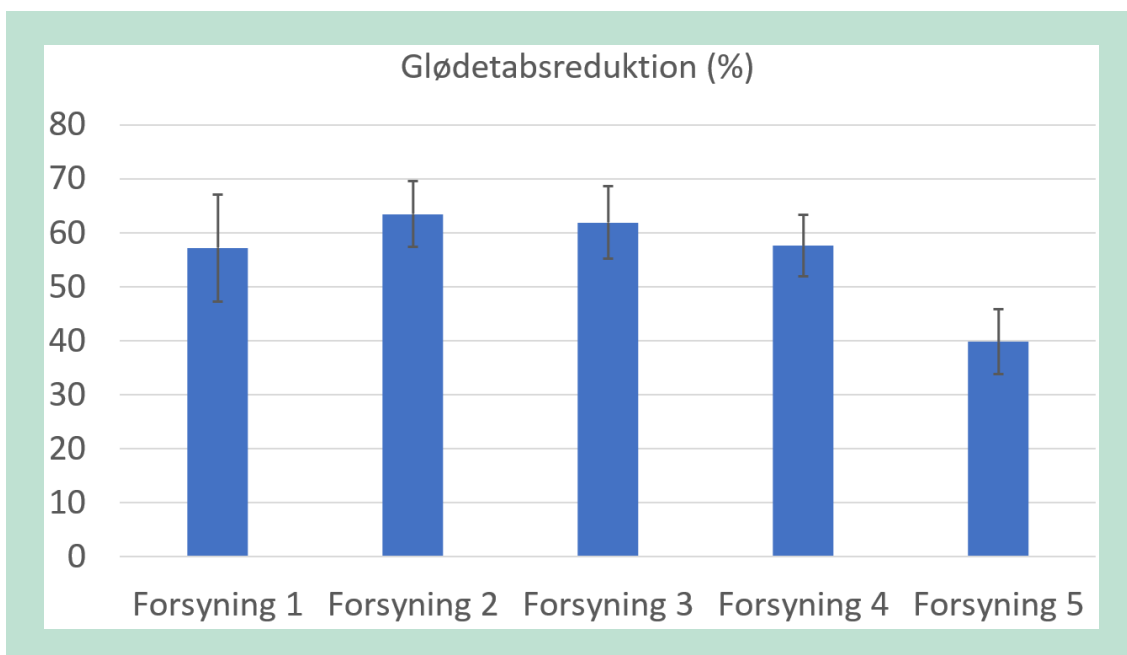
Der blev indsamlet data fra de fem forsyninger på indgående og udgående mængder af slam samt på metanproduktion og gassammensætning (SRO-data) med henblik på sammenligning af væsentlige procesparametre. To af de væsentligste procesparametre for udrådningsprocessen er belastningen og opholdstiden, vist i FIGUR 3. Det ses, at belastningen varierer fra 1,3-3,1 kg TS/m³ reaktor/dag, mens den gennemsnitlige opholdstid i rådnetankene ligger mellem 20 og 37 dage. Omsætningen af det organiske materiale i de indgående biomasser (glødetabsreduktion) er ca. 60 % for forsyningerne 1-4 (FIGUR 4). Data viser altså, at omsætningen af det organiske materiale er forholdsvis ens på tværs af disse anlæg på trods af det relativt brede spænd i opholdstid og belastning, og der er således ikke noget, der indikerer overbelastning af det biologiske system på noget anlæg, når gennemsnitsdata for hele perioden vurderes. Således indikerer data, at forsyning 3 ville kunne øge belastningen med henblik på at øge metanproduktionen uden at kompromittere reaktorens evne til at nedbringe slamvolumen.

Data fra forsyning 5 viser en omsætning af organisk materiale på 40 %, hvilket er markant lavere end på de øvrige fire anlæg. Det hænger sammen med, at bionedbrydeligheden af bioslam er markant lavere end af primærslam og øvrige biomasser, som behandles på de andre anlæg. Det kan således ikke forventes, at dette kan forbedres ved justeringer i driften af rådnetanken. En forøgelse af den organiske omsætning ville i stedet kræve en forbehandling af slammet med henblik på at forbedre bionedbrydeligheden af bioslammet. Der er publiceret flere videnskabelige artikler, som belyser forskellige teknologiers evne til forbedre bionedbrydeligheden⁴, og effekten af implementering af sådanne teknologier på slam fra et specifikt anlæg ville nemt kunne undersøges ved hjælp af de samme analyser, som er præsenteret i afsnit 4.

⁴ Se fx Gonzalez, A., Hendriks, A. T. W. M., van Lier, J. B., & de Kreuk, M. (2018): Pre-treatments to enhance the biodegradability of waste activated sludge: Elucidating the rate limiting step. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.06.001>



FIGUR 3. Belastning (blå) og opholdstid (orange) for rådnetankene. Bemærk forskellige lodrette akser.



FIGUR 4. Gennemsnitlig glødetabsreduktion på de fem forsyninger angivet i procentvis fjernelse af det organiske indhold. Fejllinjer indikerer spredningen på gennemsnittet.

6. Opstilling af modeller

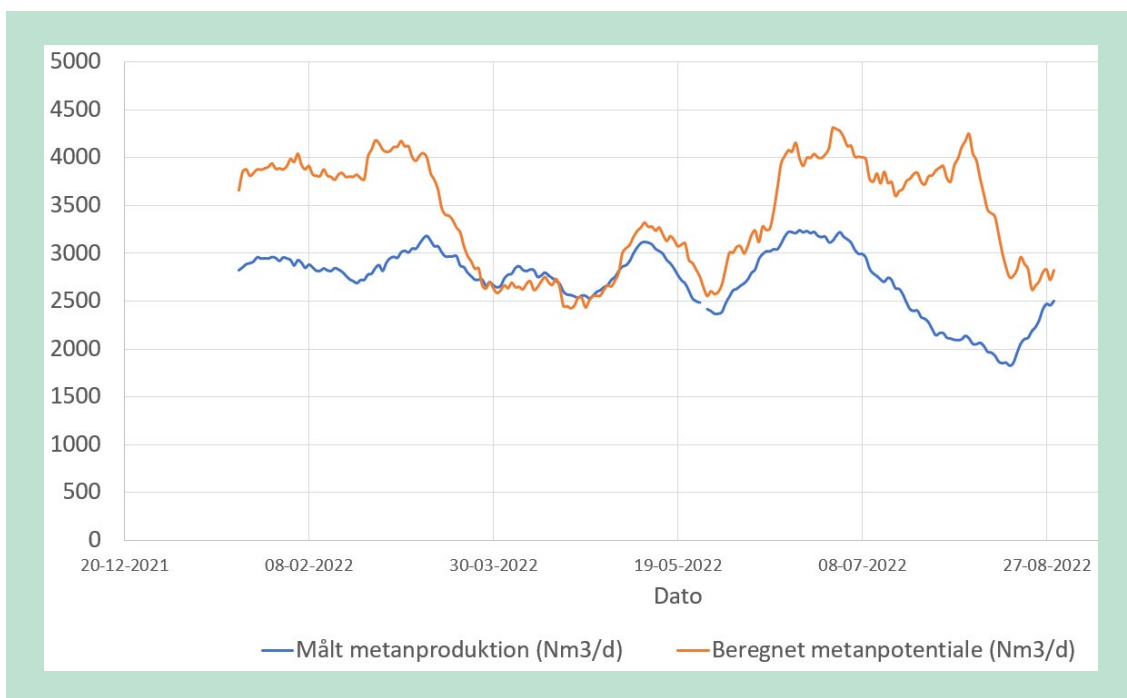
6.1 Fremgangsmåde

På baggrund af BMP/RMP-analyser og det indsamlede data fra forsyningerne er der opstillet en matematisk model over metanproduktionen i rådnetanken og i slamlagertanken for hvert renselanlæg. Modellen er baseret på et matematisk udtryk for metanproduktionsraten som funktion af opholdstiden (Gompertz formel). Dette udtryk er koblet til en matematisk ligning for opholdstidsfordelingen af de indgående biomasser i en oprørt reaktor, som tager højde for, at det ikke er muligt at udnytte det fulde metanpotentiale i en fuldskalareaktor, hvorfor den egentlige metanproduktion forventes at være lavere end den, der måles ved en BMP-analyse.

Formålet er, at modellen skal kunne bruges som et værktøj til at beregne den forventede metanproduktion i rådnetanken i en given periode baseret på mængden og sammensætningen af de biomasser, som er blevet behandlet. Ved at sammenholde den beregnede metanproduktion med den målte metanproduktion vil man få en indikation af, hvor godt biomasserne udnyttes, og om driften er stabil. Dette vil dels hjælpe til at optimere rådnetankens performance og dermed minimere omkostningerne til efterfølgende slamhåndtering, dels sikre optimal energiproduktion. Derudover er målet at estimere det forventede restmetanudbytte for det udrådnede slam, som hos nogle forsyninger opbevares i åbne slamlagertanke og derfor repræsenterer en markant kilde til emission af metan. Modellen kan således give et indblik i, hvor meget ekstra metan der potentielt kan opsamles ved en eventuel investering i en overdækket slamlagertank med gasopsamling.

6.2 Eksempler på modeller

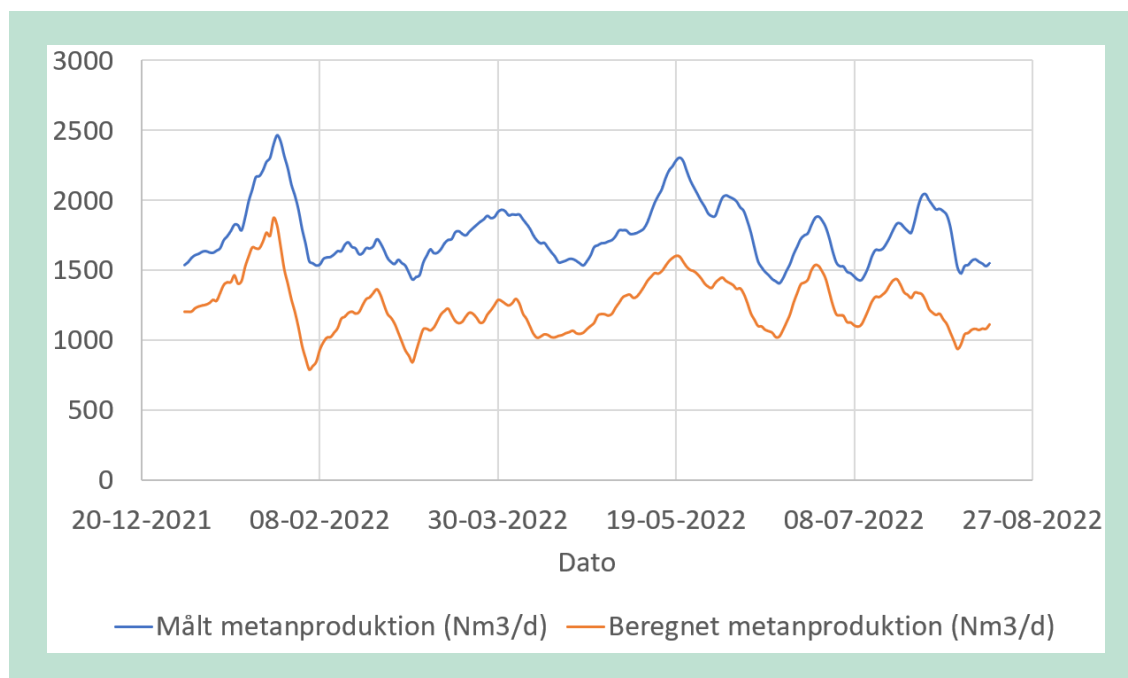
FIGUR 5 viser den målte metanproduktion i rådnetanken og den med modellen beregnede metanproduktion i perioden januar 2022 til september 2022 for forsyning 1.



FIGUR 5. Den målte metanproduktion i rådnetanken og den beregnede metanproduktion i perioden januar 2022 til september 2022 for forsyning 1.

FIGUR 5 viser, at der i løbet af året er to perioder, hvor den beregnede metanproduktion er markant højere end den målte, og en periode, hvor modellen regner meget tæt på den målte produktion. Der er således en vis variation i, hvor godt modellen afspejler systemet. Ved nærmere databehandling kunne det konkluderes, at det er karakteristisk for de perioder, hvor der er stor diskrepans, at rådnetanken var væsentligt mere belastet. En forøgelse af belastningen vil ifølge modellen resultere i en tilsvarende forøgelse af metanproduktionen, da modellen ikke tager højde for en eventuel hæmning af processen. Det er imidlertid en kendsgerning, at det biologiske system er sensitivt overfor pludselige udsving i procesbetingelser såsom belastning og opholdstid. At modellen overestimerer metanproduktionen kan således indikere en periode, hvor processen har været hæmmet pga. driftsforstyrrelser. På den måde er modellen et værktøj, som kan bidrage med vigtig viden ift. optimering af driften med henblik på størst mulig metanproduktion. Udover en maksimering af metanproduktionen er det af stor interesse for forsyningen, at omsætningen af det organiske materiale er stabil, eftersom bortskaffelse af resterende slam udgør en væsentlig udgift.

FIGUR 6 viser den målte metanproduktion i rådnetanken og den beregnede metanproduktion i perioden januar 2022 til september 2022 for forsyning 3.

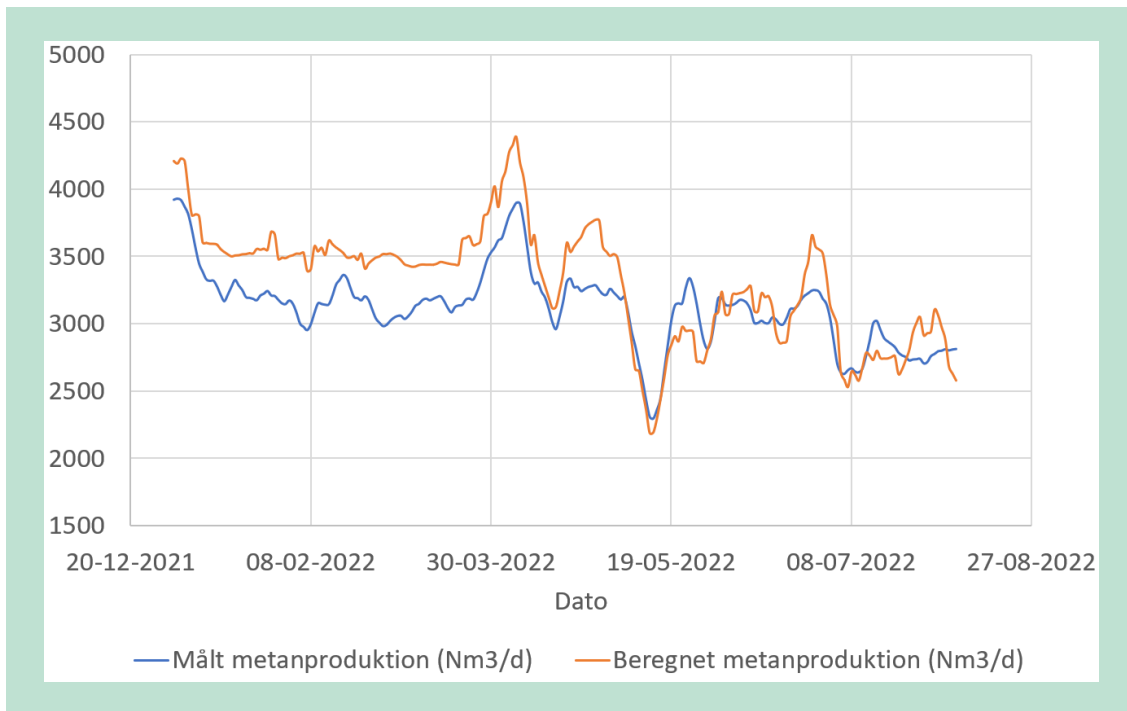


FIGUR 6. Den målte metanproduktion i rådnetanken og den beregnede metanproduktion i perioden januar 2022 til september 2022 for forsyning 3.

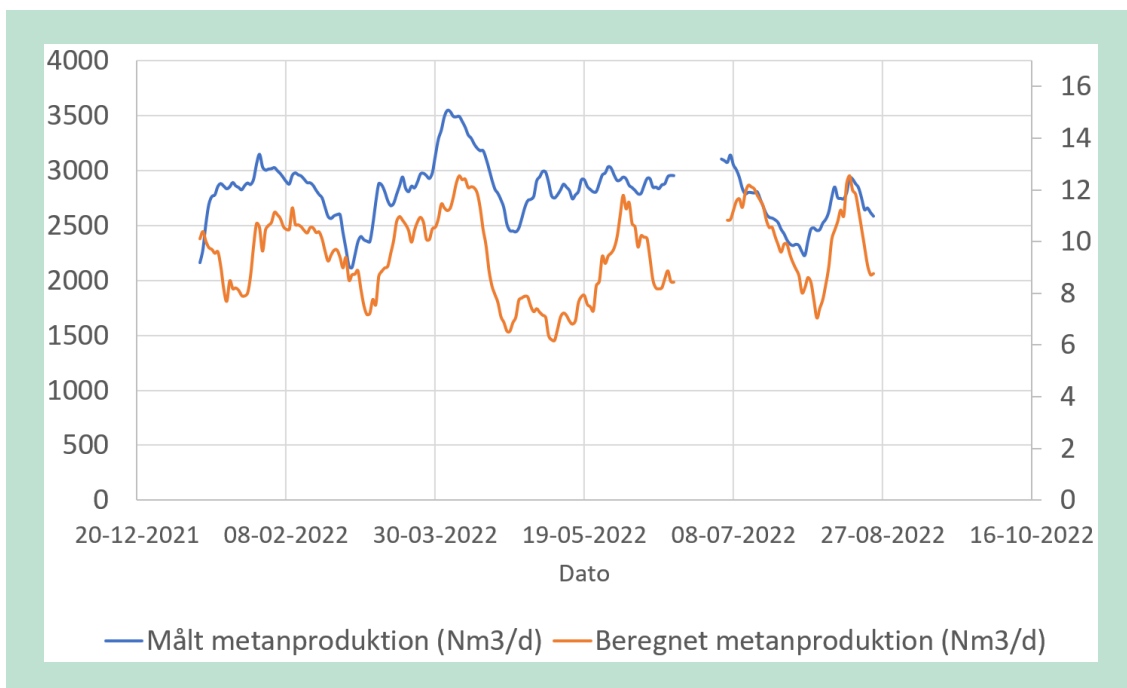
FIGUR 6 viser, at modellen konsekvent underestimerer metanproduktionen for forsyning 3 med 510 Nm³/d i gennemsnit. Derudover viser figuren, at modellen med stor nøjagtighed kan prædiktere selv små ændringer i metanproduktionen. Det tyder således på, at forskydningen mellem den beregnede metanproduktion og den målte metanproduktion skyldes en systemisk afvigelse i modellen. Det er således en afvigelse, som højst sandsynligt kan korrigeres ved at foretage relativt simple justeringer på modellen.

Ifølge modellen er mængden af restmetan i det udrådnede slam fra forsyning 3 i gennemsnit 57 Nm³/d i perioden fra januar 2022 til september 2022. Da forsyning 3 har implementeret opsamling af restmetan fra slamlagertanken, er der data til rådighed, som viser, at der i perioden har været opsamlet i gennemsnit 66 Nm³/d.

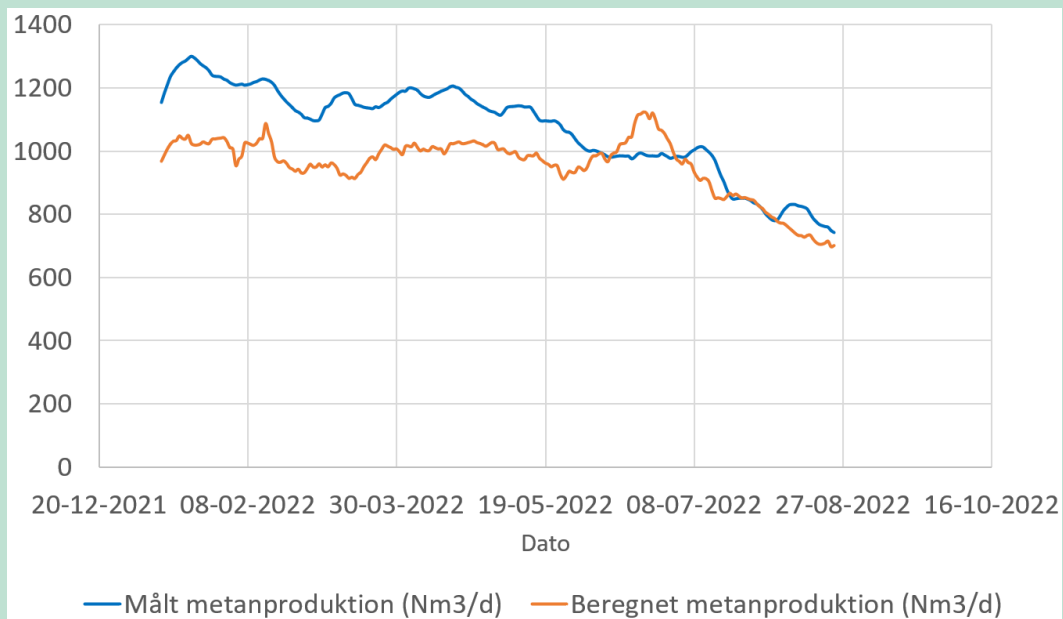
Modellerne fra de øvrige forsyninger er vist i FIGUR 7, FIGUR 8 og FIGUR 9.



FIGUR 7. Den målte metanproduktion i rådnetanken og den beregnede metanproduktion i perioden januar 2022 til september 2022 for forsyning 2.



FIGUR 8. Den målte metanproduktion i rådnetanken og den beregnede metanproduktion i perioden januar 2022 til september 2022 for forsyning 4.



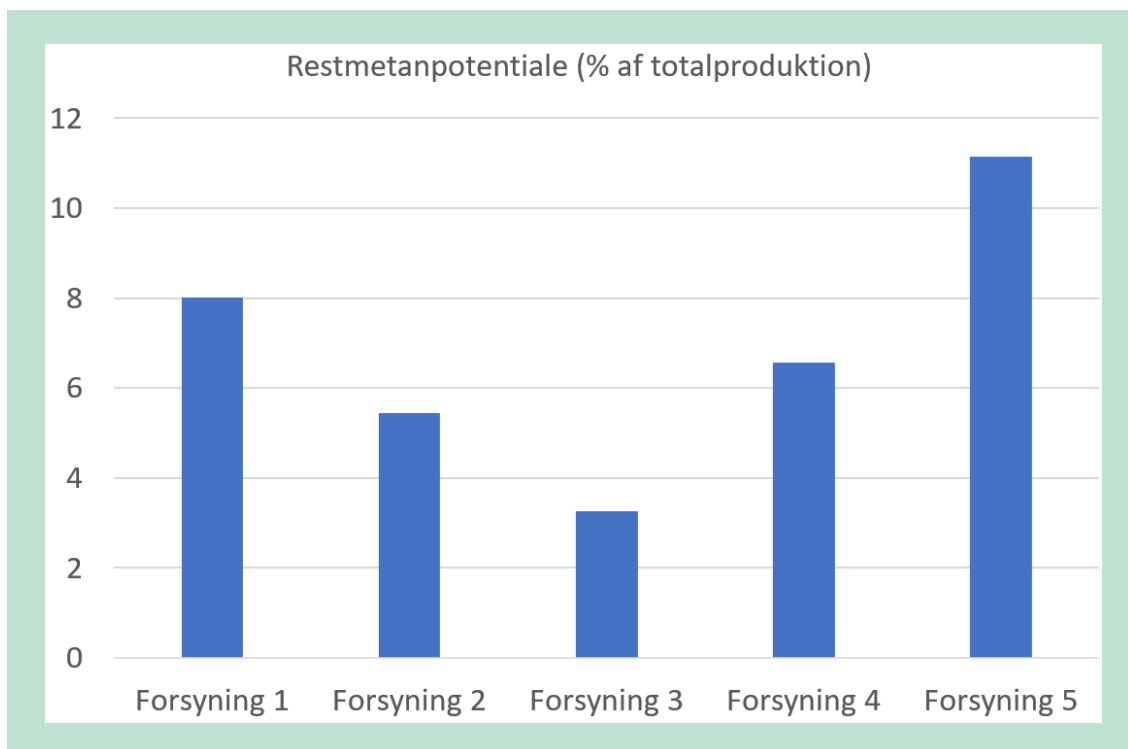
FIGUR 9. Den målte metanproduktion i rådnetanken og den beregnede metanproduktion i perioden januar 2022 til september 2022 for forsyning 5.

7. Forslag til tiltag

FIGUR 10 viser det gennemsnitlige restmetanpotentiale i det udrådnede slam, baseret på RMP-analyserne koblet til forsyningernes SRO-data og opgjort som procentdel af den totale metanproduktion i rådnetanken. Disse resultater stemmer overens med de målte emissioner fra EUDP-rapporten, som viste en gennemsnitlig emission på 7,7 %.

Restmetanpotentialet angiver mængden af metan, som ikke opsamles i rådnetanken, og er således et udtryk for, hvor godt biomasserne udnyttes. En del af restmetanpotentialet vil derefter blive frigivet i slamlagertanken, og for de forsyninger, som har overdækket deres slamlagertanke, kan der altså opsamles yderligere metan, som kan udnyttes til energiproduktion. Ved hjælp af modellen estimeres det, at ca. 50 % af restmetanpotentialet frigives i slamlagertanken. Efter slamlagertanken afvandes slammet, hvorved de resterende 50 % splittes op i en slamfraktion og en rejktvandsfraktion. Rejktvandet recirkuleres til renseanlægget, hvor restmetanpotentiale tabes som CO₂ under den aerobe nedbrydningsproces. Grundet det høje TS-indhold og den lave temperatur i det afvandede slam forventes der ikke nogen nævneværdig frigivelse af metan fra denne fraktion.

Tre ud af fem forsyninger i dette projekt bruger åbne slamlagertanke til opbevaring af det udrådnede slam. Med henblik på nedbringelse af metanemissioner vil overdækning af slamlagertankene således være et indlysende første skridt. På baggrund af modellen estimeres det, at den årlige mængde af ekstra metan, der vil kunne opsamles fra slamlagertanken, er hhv. 29.000, 28.500 og 12.000 m³ for forsyning 2, 4 og 5. De indsamlede data fra dette projekt giver et godt udgangspunkt for dimensionering af såvel slamlagertanke som rådnetanke, eftersom de opnåede udrådningskurver fra BMP/RMP-analyserne indikerer, hvor lang en opholdstid der er nødvendig for at opnå hovedparten af metanudbyttet.

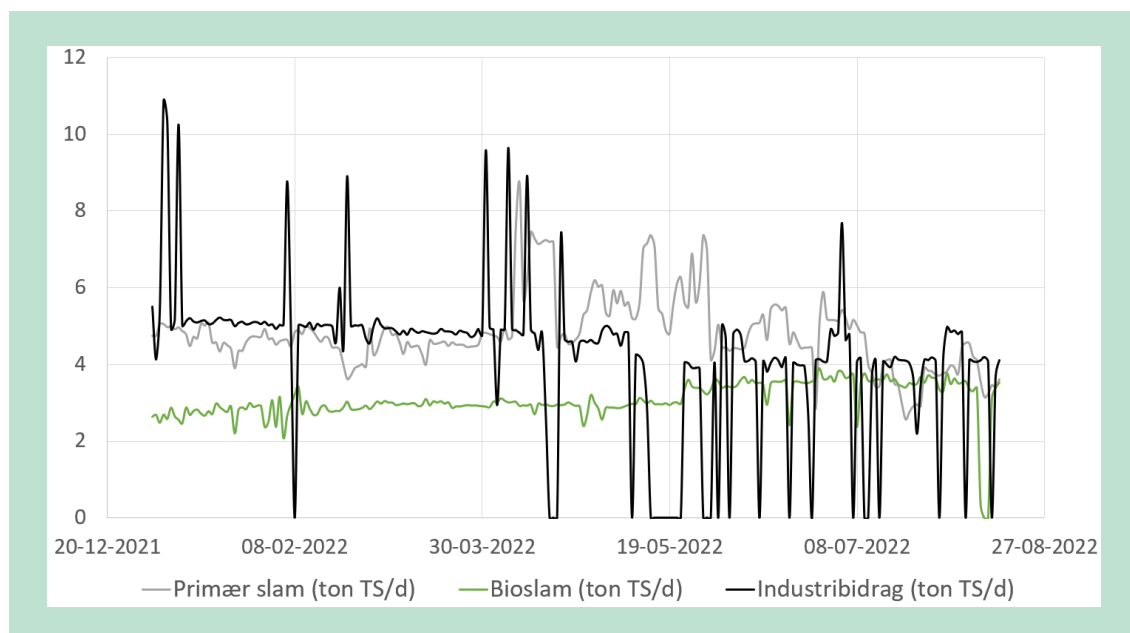


FIGUR 10. Det gennemsnitlige restmetanpotentiale i det udrådnede slam opgjort som procentdel af den totale metanproduktion i rådnetanken.

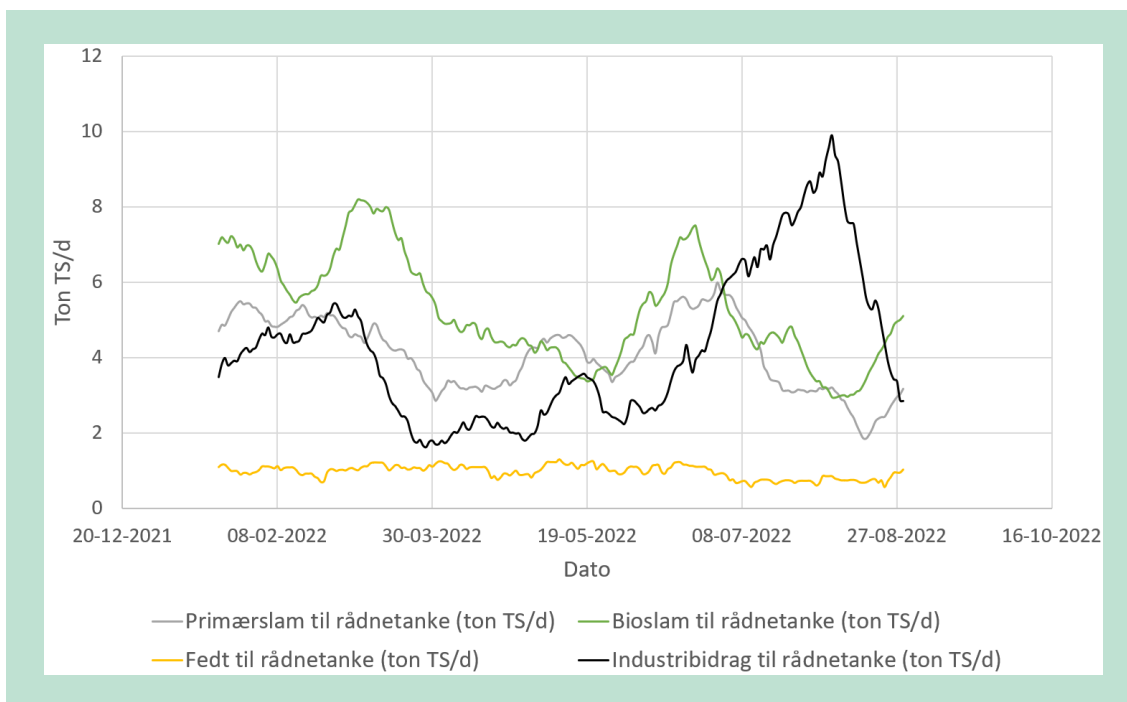
På baggrund af det indsamlede data fra forsyningerne kan det konkluderes, at der er visse forskelle i, hvordan rådnetankene driftes. FIGUR 11 og FIGUR 12 viser opgørelser over tilførslen af biomasser til rådnetankene på hhv. forsyning 2 og forsyning 1. Det ses, at forsyning 2 har en meget jævn tilførsel af biomasser, især i den første del af året. Omkring maj måned stiger mængden af primærslam temmelig pludseligt, hvilket balanceres ved at nedbringe tilførslen af industribidrag (FIGUR 11).

Omvendt viser FIGUR 12, at forsyning 1 har store udsving i, hvor meget af de forskellige biomasser der tilføres – eksempelvis svinger tilførslen af primærslam i perioder mellem ca. 4 ton TS/dag og 8 ton TS/dag, og tilførslen af industribidrag svinger mellem 3 og 10 ton TS/d indenfor en måned. Eftersom de biologiske processer, som biogasteknologien er baseret på, er sensitive overfor ændringer i de fysiske omgivelser, vurderes det, at der er et væsentligt optimeringspotentiale i at opnå en mere jævn drift, da en jævn drift vil resultere i en mere stabil udrådningsproces.

Betragtes både FIGUR 5 og FIGUR 12 ses det, at de perioder, hvor metanproduktionen ifølge modellen burde være væsentligt højere, falder sammen med de perioder, hvor der tilføres store mængder industribidrag. Dermed viser modellen tegn på, at det industribidrag, som forsyning 1 behandler i rådnetanken, forårsager hæmning af udrådningsprocessen, hvilket bevirker, at der i perioder med hæmning ikke opnås det fulde udbytte af industribidraget. Ved nærmere databehandling er det, ud fra BMP-analyserne og de indsamlede data, estimeret, at der i perioder med hæmning kunne have været produceret 500 m³ mere metan om dagen, hvis udnyttelsen i disse perioder havde været optimal. Udover den uindfrie indtægt fra energiproduktion estimeres det, at udgifterne til slamhåndtering vil stige med 1.500 kr./dag i perioder med hæmning grundet uomsat tørstof.



FIGUR 11. Opgørelse over tilførslen af primærslam (grå), bioslam (grøn) og industribidrag (sort) for forsyning 2.



FIGUR 12. Opgørelse over tilførslen af primærslam (grå), bioslam (grøn), industribidrag (sort) og fedt (gul) for forsyning 1.

Som FIGUR 3 viser, har forsyning 3 en væsentligt lavere belastning af deres rådnetank end de øvrige forsyninger. Dette betyder, at de også producerer væsentligt mindre metan per reaktorvolumen. Gøres reaktorbelastningen op i $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{m}^3 \text{ reaktor/dag}$, ligger forsyning 3 på 0,39, mens de øvrige forsyninger ligger omkring $0,5 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{m}^3 \text{ reaktor/dag}$. Dette indikerer, at forsyning 3 opererer med en vis overkapacitet, som med fordel kunne udnyttes til at øge energiproduktionen. Kan metanbelastningen hæves til $0,5 \text{ CH}_4/\text{m}^3 \text{ reaktor/dag}$, vil forsyning 3 i runde tal kunne producere 500 m^3 mere metan om dagen. Dette forventes ikke at nedsætte glødetabsreduktionen nævneværdigt, jævnfør data fra de øvrige forsyninger (FIGUR 4).

På trods af ovennævnte optimeringspotentiale for visse anlæg indikerer de indsamlede data, at alle fem forsyninger opnår noget nær det fulde udbytte af deres biomasser jf. resultaterne fra BMP/RMP-analyserne. Som det ses af glødetabsreduktionen (FIGUR 4), er der imidlertid en vis fraktion af det organiske materiale, som ikke er bionedbrydeligt, dvs. det omsættes ikke i reaktorerne, og bortskaffelse af resterende slam repræsenterer en betydelig udgift for anlæggene. For at øge omsætningen er det nødvendigt at forbedre bionedbrydeligheden af slammet, hvilket kan forsøges ved brug af forskellige forbehandlingsteknologier. Dette vil især være relevant for forsyning 5, hvis gennemsnitlige glødetabsreduktion ligger på 40 %. Kan implementering af eventuel forbehandling bidrage til at hæve glødetabsreduktionen til 60 %, som er niveauet for de øvrige forsyninger, ville det give forsyning 5 en estimeret besparelse relateret til afvanding og afsætning af slam på knap 500.000 kr. om året. Derudover estimeres det, at metanproduktionen vil kunne øges med op mod $100.000 \text{ m}^3/\text{år}$.

8. Konklusion og perspektivering

I dette projekt er der foretaget en kortlægning af biometanpotentialer for primær- og bioslamfraktioner fra fem forskellige renselanlæg og af restmetanpotentialer for det udrådnede slam. Data viser, at renselanlæggene har lave restmetanpotentialer (i gennemsnit $27 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ton TS}$) sammenlignet med biometanpotentialer i primærslammet ($301 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ton TS}$) og bioslammet ($121 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ton TS}$), hvilket indikerer en god udnyttelse af biomasserne i rådnetanken.

Baseret på indsamlet SRO-data er rådnetanksrelaterede procesparametre som belastning og glødetabsreduktion blevet sammenlignet på tværs af anlæggene. Data viser, at nogle anlæg er relativt lavt belastet, og det vurderes, at der er mulighed for at inkludere yderligere biomasser med henblik på at øge energiproduktionen. Omvendt er der også anlæg, som i perioder er overbelastet, hvilket reducerer udnyttelsesgraden af biomasserne og øger omkostningerne til slamhåndtering.

Der er opstillet en matematisk model, som kan beregne den forventede metanproduktion i rådnetanken ud fra mængderne af de indgående biomasser. Derved kan modellen fungere som et værktøj til indikation af driftsforstyrrelser, som fx overbelastning, som giver anledning til en lavere metanproduktion end den forventede og øgede slamhåndteringsudgifter. Det vurderes, at modellen således kan bidrage med indsigt i, hvordan forskellige driftstiltag påvirker metanproduktionen. Modellen forudsiger desuden med rimelig præcision emissionen fra slamlageret og giver dermed et beslutningsgrundlag for en eventuel investering i opsamling af restmetan med henblik på øget energiproduktion og mindsning af metanemissioner. Emissionen fra slamlageret på de forskellige anlæg er i projektet opgjort til at være mellem 2,5-3,3 %.

Modellen, som præsenteres i denne rapport, er baseret på et gennemsnit af tre punktmålinger, og der er ikke foretaget nogen iterationer. Den foreliggende model kan med fordel videreudvikles med henblik på at opnå større opløselighed og nøjagtighed. I forhold til den nye lovgivning om implementering af egenkontrolprogram vurderes det imidlertid, at modellen ikke bliver egnet til at indgå i et egenkontrolprogram.

Styringsværktøj til optimering af biogasproduktion og reduktion af metanemission på danske renselanlæg

Der er i dag stort politisk fokus på at begrænse udledningerne af drivhusgasser, som fx metan (CH₄). Metan udledes bl.a. fra åbne slamlagertanke på renselanlæg, som producerer biogas af spildevandsslammet. Ny lovgivning betyder, at biogasanlæg skal have et egenkontrolprogram til dokumentation af anlæggets metanemissioner.

Projektets formål har været at udvikle et styringsværktøj, som skal give de delta-gende forsyninger mulighed for at øge udnyttelsesgraden af de indgående biomasser og dermed reducere metanemissionerne uden omkostningstunge anlægsinvesteringer.

Indledningsvis blev der ad tre omgange indsamlet prøver fra forsyningerne. De indgående biomasser blev analyseret for biometanpotentiale, og det udrådnede slam blev analyseret for restmetanpotentiale. Ligeledes blev der indsamlet SRO-data fra anlæggene for perioden.

Analyseresultaterne og de indsamlede data blev brugt til at opstille en matematisk model, som beregner den forventede metanproduktion i rådnetanken ud fra mængderne af de indgående biomasser og samtidig estimerer den forventede metanemission fra slamlagertanken.

Modellen forudsiger med rimelig præcision metanproduktionen i rådnetanken og emissionen fra slamlageret og giver dermed et beslutningsgrundlag for en eventuel investering i opsamling af restmetan med henblik på at øge energiproduktionen og mindske metanemissionen. Emissionen fra slamlageret på de forskellige anlæg er i projektet opgjort til mellem 2,5-3,3 %.

Modellen, som præsenteres i denne rapport, er baseret på et gennemsnit af tre punktmålinger, og der er ikke foretaget nogen iterationer. Den foreliggende model kan med fordel videreudvikles med henblik på at opnå større opløselighed og nøjagtighed. Det vurderes imidlertid, at modellen ikke bliver egnet til at indgå i et egenkontrolprogram.



Miljøstyrelsen
Tolderundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk