

Nr B 2327
November 2018

Resultat från FoU-samarbete Syvab-IVL

Årsredovisning för 2017

Christian Baresel, Jingjing Yang, Maximilian Lüdtke, Sofia Andersson



I samarbete med: Sydvästra stockholmsregionens va-
verksaktiebolag, Syvab, Himmerfjärdsverket

Författare: Christian Baresel, Jingjing Yang, Maximilian Lüdtke, Sofia Andersson

Medel från: Syvab & Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning (SIVL)

Rapportnummer B 2327

ISBN 978-91-7883-003-9

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© IVL Svenska Miljöinstitutet

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // Fax 010-788 65 90 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Förord

De redovisade aktiviteterna i denna rapport är del av FoU-samarbetet mellan Syvab och IVL Svenska Miljöinstitutet som syftar till att bidra till en VA-verksamhet som tillgodoser samhällets krav på en resurseffektiv hantering av avloppsvatten och slam. Utöver en så effektiv rening av avloppsvatten och hantering av avloppsslam som möjligt, eftersträvas en VA-verksamhet med minsta möjliga miljöpåverkan där indirekt påverkan från t.ex. användning av kemikalier och el, transporter, slamlagring och slamspridning räknas in såväl som produktion av bioenergi. Samarbetet avser i första hand Syvabs eget reningsverk Himmerfjärdsverket men en spridning av resultaten eftersträvas så att även andra VA-aktörer kan få stöd i sitt arbete mot en mer hållbar hantering av avlopp och slam.

De olika aktiviteterna har genomförts i tätt samarbete mellan IVL Svenska Miljöinstitutet och Syvab Himmerfjärdsverket. Författarna tackar alla Syvabs medarbetare som direkt eller indirekt har varit involverat i arbetet. Speciellt tack till Kristina Stark-Fujii, Sara Söhr, Carl-Olof Zetterman, Elin Åfeldt, Heidi Lemström och Victor Kårelid.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	5
Summary	5
1 Avloppsreningsverkens roll i samhället.....	6
1.1 Vilka utmaningar ser reningsverk framför sig	6
1.2 Vad FoU-samarbetet har som syfte.....	6
1.3 Hur ska resultaten användas	7
2 FoU-frågor som samarbetet har fokuserat på.....	7
3 Aktivitetsredovisning - Hållbara lösningar för att möta framtiden	8
3.1 Funktionella kolkällor som framtidens produkt	8
3.1.1 Vilken utmaning gäller det?	8
3.1.2 De viktigaste resultaten och rekommendationer	8
3.1.3 Hur kan resultaten användas på andra reningsverk?	8
3.1.4 Beskrivning av utfört arbete (inkl. inventering, metodik, m.m.)	9
3.2 Framtidens slamhantering	9
3.2.1 Vilken utmaning gäller det?	9
3.2.2 De viktigaste resultaten och slutsatserna	10
3.2.3 Hur kan resultaten användas på andra reningsverk?	12
3.2.4 Beskrivning av utfört arbete (inkl. inventering, metodik, m.m.)	13
3.3 Kontinuerlig lustgasmätning med vattensensorn	13
3.3.1 Vilken utmaning gäller det?	13
3.3.2 De viktigaste resultaten och rekommendationerna	13
3.3.3 Hur kan resultaten användas på andra reningsverk?	14
3.3.4 Beskrivning av utfört arbete (inkl. inventering, metodik, m.m.)	14
3.4 Termisk hydrolys	14
3.4.1 Vilken utmaning gäller det?	14
3.4.2 De viktigaste resultaten och slutsatserna	15
3.4.3 Hur kan resultaten användas på andra reningsverk?	16
3.4.4 Beskrivning av utfört arbete (inkl. inventering, metodik, m.m.)	16
4 Vad ska göras härnäst?	16
5 Ekonomisk redovisning.....	17
6 Referenser.....	18

Sammanfattning

Dagens reningsverk står inför flera utmaningar såsom skärpta reningskrav, ett förändrat klimat, krav på ökad resurseffektivitet och minskad miljöpåverkan från verksamheten. I en strävan att nå mer hållbara lösningar för avloppsvattenrening och slamhantering har IVL Svenska Miljöinstitutet och Syvab påbörjat ett långsiktigt forskningssamarbete. Under 2017 har olika aktiviteter inom områdena klimat- och miljöpåverkan, slamhantering och processoptimering genomförts.

Några av de aktiviteter som redovisas i denna rapport kommer att fortsätta och nya aktiviteter för 2018 innefattar bland annat direkta mätningar av växthusgasemissioner, vidare arbete med en effektiv slamhantering, utvärdering av alternativ kolkälla samt utvärdering av pilottester med MBR.

Summary

Today's wastewater treatment plants (WWTPs) are facing several challenges such as stringent treatment requirements, climate change, demands for increased resource efficiency, and reduced environmental impacts from operations. In an effort to achieve more sustainable solutions for wastewater treatment and sludge handling, IVL Swedish Environmental Research Institute and Syvab started on a long-term research collaboration. During 2017, various activities related to climate and environment impacts, sludge handling and process optimization were carried out.

Some of the activities described in this report will continue and new activities for 2018 include e.g. the measurement of direct emissions of greenhouse gases, further work on an efficient sludge management, evaluation of alternative carbon sources, and evaluation of MBR pilot tests.

1 Avloppsreningsverkens roll i samhället

1.1 Vilka utmaningar ser reningsverk framför sig

Dagens reningsverk står inför flera utmaningar inklusive skärpta reningskrav, ett förändrat klimat, krav på ökad resurseffektivitet och minskad miljöpåverkan från verksamheten. Det finns fortsatt behov att utveckla men framförallt implementera mer resurseffektiva tekniker och processer för behandling av kommunalt avloppsvatten och för att hitta förnybara alternativ till användande av fossil energi och råvara. Det handlar dels om att minska energi- och kemikaliebehovet vid rening, dels om att tänka i nya banor och utveckla framtidens reningssystem som renar så bra som möjligt utan att öka miljöpåverkan av reningen. Klimatfrågan accentuerar behovet av att arbeta med minskad miljöpåverkan samtidigt som den också tydligt demonstrerar behovet av att utnyttja innehållet av organiskt material i avloppsvatten för nyttiggörande av energi och/eller för att hitta förnybara alternativ till fossil råvara. Viktigt är också att återföra fosfor och andra näringsämnen.

Specifika utmaningar för svenska reningsverk generellt inkluderar (utan prioritering)

- Effektivare rening av närsalter och organiskt material
- Slamhantering som möter krav på energiutvinning, fosforåterföring och miljöpåverkan
- Rening av mikroföroreningar från avloppsvattnet
- Effektivare hantering av bräddvatten
- Minskad kemikalieanvändning vid reningen
- Minimering av utsläpp av växthusgaser från vattenrening och slamhantering

1.2 Vad FoU-samarbetet har som syfte

Syvab Himmerfjärdsverket strävar kontinuerligt efter mer hållbara lösningar för avloppsvattenrening och slamhantering. Detta för att ha en verksamhet som är både mer resurseffektiv och har den lägsta möjliga totala miljöpåverkan, samtidigt som kostnaderna för verksamheten genom långsiktig verksamhetsplanering och verksamhetsutveckling hålls på lägsta möjliga nivå för kommuninvånarna vars avloppsvatten Syvab renar.

Syvabs utvecklingssamarbete med IVL syftar till att bemöta denna strävan mot att uppnå den för samhället mest resurseffektiva avloppsvattenreningen och slamhanteringen. IVL har länge har utvecklat och utvärderat nya och befintliga tekniker inom VA-området bl.a. på FoU-anläggningen Hammarby Sjöstadsverket. IVL och Syvab har samarbetat inom området i flera år.

Ett annat syfte med FoU-samarbete är ett generellt kunskapsutbyte mellan Syvab och IVL men även andra involverade partner som universitet, där ytterligare specialistkompetens på lärosätena kan kanaliseras ut och nå praktisk tillämpning genom gemensamt handledda examensarbetare och industridoktorander. För IVL är det av stort värde att få teknik testad och implementerad i fullskalemiljön samtidigt som Syvabs anställda kontinuerligt "utbildas" genom att ha IVL-experter som bollplank och projektpartners i konkreta implementeringsprojekt. Denna typ av organisatoriskt lärande och kunskapsutbyte blir särskilt effektivt eftersom det med automatik blir direkt anpassat och skraddarsytt för Syvabs egna processer och behov, något som är omöjlig att nå via bredare bransch-workshops och teoretiska kurser. Dessutom ges möjligheten att expertkunskaper stannar inom organisationen även efter avslutade projekt både hos Syvabs

befintliga personal och genom att examensarbetare och industridoktorander även utgör en rekryteringsbas för nyanställningar.

1.3 Hur ska resultaten användas

Resultaten från FoU-samarbetet ska i första hand användas av Syvab för att optimera den nuvarande verksamheten samt för att planera den framtida verksamheten så att resurseffektiva lösningar som ger den lägsta möjliga miljöpåverkan används.

Då frågeställningar som undersöks är av generellt intresse för VA-sektorn så ska resultaten även vara tillgängliga för andra reningsverk eller VA-aktörer. Även om vissa resultat inte kan överföras direkt så är avsikten att belysa möjliga lösningar och angreppssätt för att olika aktörer sedan ska kunna hitta specifika lösningar på sina utmaningar.

2 FoU-frågor som samarbetet har fokuserat på

FoU-samarbete har identifierat ett antal frågeställningar som ska utredas inom det aktuella samarbetet. Vissa av de frågeställningar som dagens reningsverk står inför har redan behandlats i tidigare FoU-projekt mellan parterna men ingår samtidigt också i ett kontinuerligt samarbete. Här kan bl.a. nämnas arbeten med processtyrning, luftningsoptimering, rejektvattenbehandlingen, rening av läkemedelsrester, ökad biogasproduktion, utsläpp av växthusgaser, m.m.

Specifika frågor som prioriterades för samarbetet under 2017 återges i de efterföljande avsnitten och inkluderar:

- **Funktionella kolkällor som framtidens produkt**
Produktion av funktionella kolkällor och nya högkvalitativa produkter från det organiska avfall som bildas i reningsprocessen eller som kommer till reningsverket. Säkerställer reningsverkens inkomst bortom biogas och bidrar till en förbättrad resursåtervinning.
- **Framtidens slamhantering**
Fortsättning av kartering, utredning och framtagande av koncept för framtidens slamhantering vid Himmerfjärdsverket. Inkluderar både röt-kammardesign och röt-kammardrift, energianvändning, slamtorkning och andra aspekter.
- **Kontinuerlig lustgasmätning med vattensensorn**
Resultat från mätningen med vattensensorn som installerades baserat på tidigare aktiviteter kring minskning av växthusgasutsläpp vid verket.
- **Termisk hydrolys**
Utvärdering av implementering av termisk hydrolys vid olika processteg för en ökad nettoenergiproduktion vid anläggningen.

3 Aktivitetsredovisning - Hållbara lösningar för att möta framtiden

3.1 Funktionella kolkällor som framtidens produkt

Delaktiviteten genomförs i nära samarbete med Kungliga Tekniska Högskolan Skolan för Kemiteknik och sträcker sig över flera år och kommer således avrapporterats som en egen publikation senare. Publikationen kommer då vara tillgänglig via hemsidan www.ivl.se eller www.hammarbysjostadsverk.se.

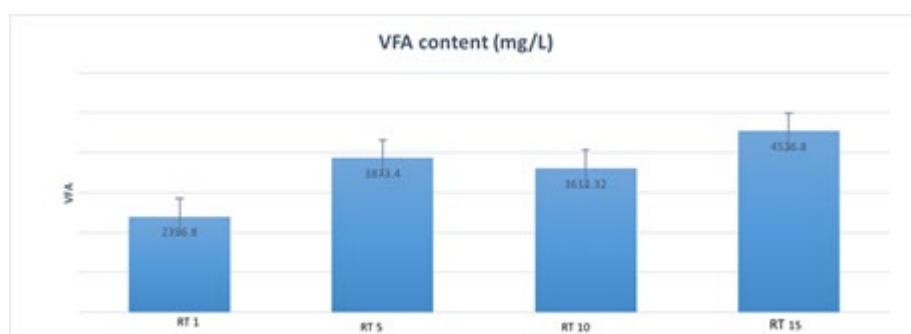
3.1.1 Vilken utmaning gäller det?

Framtidens avsättning av biogas är osäker och påverkas av olika faktorer däribland politiska regler och ramar. Svårigheter att hitta avsättning för producerad biogas skapar redan idag motivation för att leta efter kompletterande eller framtida alternativa produkter som ger reningsverken möjlighet att bidra med en effektiv och ekonomisk intressant återvinning av resurser för ett hållbart samhälle.

Fokus för delaktiviteten ligger på att producera funktionella kolkällor och nya högkvalitativa produkter i form av bulkkemikalier som behövs som råmaterial i olika tillverkningsindustrier och som idag utvinns från fossila källor.

3.1.2 De viktigaste resultaten och rekommendationer

De första resultat som delaktiviteten tagit fram inkluderar identifikation av optimala processbetingelsen för produktion av VFA för olika substrat/blandningar. Som ett exempel från de första försöken illustrerar figuren nedan effekten av ökad retentionstid (RT = retentionstid) på totalt VFA-innehåll.



Figur 3.1. Effekt av ökad retentionstid (RT = retentionstid) på totalt VFA-innehåll i undersökta prover.

3.1.3 Hur kan resultaten användas på andra reningsverk?

Aktiviteten kommer att resultera i processer för tillverkning av alternativa produkter baserat på reningsverkets slam och/eller mottaget externt substrat som skulle kunna implementeras på vilken anläggning som helst. Detta då arbetet undersöker olika substrattyper. Även om Himmerfjärdsverkets substratströmmar ligger till grund för utredningen så kommer själva resultaten vara allmänt tillämpliga.

Som specifika tillämpningar kan t.ex. användningen av kortkedjiga fettsyror (SCFA) som kolkälla i denitrifikationsprocessen nämnas. Detta skulle öka det interna resursutnyttjandet på ett reningsverk och minska behovet för inköp av dyra externa kolkällor. Men även t.ex. produktion av högvärdiga polyhydroxyalkanoater (PHA), som är en huvudkomponent i bioplaster och ett efterfrågat råmaterial, kan leda till produkter som på sikt minskar reningsverkets beroende av biogasförsäljning och minskar ensidig exponering mot en volatil energimarknad.

3.1.4 Beskrivning av utfört arbete (inkl. inventering, metodik, m.m.)

Delaktiviteten kombinerar grundläggande och tillämpade metoder. Olika processförhållanden för att producera VFA från olika substrat har testats i satsvisa försök. Förutom olika substrattyper bestående av slam, externt substrat och blandningar har t.ex. olika retentionstider, pH, ymp och andra faktorer undersökts för att hitta optimala förutsättningar och processbetingelser för VFA-produktionen. För detta har olika ymp och substrat hämtats och från Himmerfjärdsverket. Baserat på dessa initiala försök genomförs bland annat en uppskalning till kontinuerliga experiment med de bästa processförhållandena som bestämts av de satsvisa körningarna.

I det fortsatta arbetet kommer även en utvärdering av miljöhållbarheten för hela processen och jämförelse med metanproduktion genomföras.

3.2 Framtidens slamhantering

Delaktiviteten inkluderar hela slamhanteringen vid Himmerfjärdsverket inklusive samrötning av anläggningens slam med externt organisk material och hantering av rötresten. Förutom aspekter kring återföring av t.ex. fosfor till kretsloppet så är en resurseffektiv energiutvinning och minimering av emissioner till både mark, vatten och luft viktiga punkter som ingår i aktiviteten. Förutom det övergripande arbetet kring slamhanteringen ligger fokus på olika tekniker eller perspektiv som identifierats som intressanta för framtiden. Slutsatser och rekommendationer av vissa av dessa har redan avrapporterats som egna rapporter (t.ex. Baresel *m fl.*, 2016a; 2017a, b), som är tillgängligt via hemsidan www.ivl.se eller www.hammarbysjostadsverk.se, eller i annan form i samarbete med relaterade projekt (t.ex. Lüdtke *m fl.*, 2016a, b; 2017; Nilsson 2017; Weiss *m fl.*, 2017; Öhman *m fl.*, 2017). De flesta aktiviteter är dock pågående och kommer att avrapporteras under 2018/19 samt i viss mån i denna rapport (se avsnitt 3.1 och 3.4).

3.2.1 Vilken utmaning gäller det?

Slamhanteringen vid avloppsreningsverk utgör en stor del av verksamheten men en ökad energiutvinning, återföring av viktiga näringsämnen till åkermark utan negativa bieffekter samt med en problemfri hantering är några av de utmaningar som behöver bemötas. Det delvis osäkra läget med olika framtida krav kräver en flexibel slamhantering som kan anpassas till olika tänkbara utvecklingar och som samtidigt ger en resurseffektiv processintegrering vid reningsverk. Den förslagna utredningen kring ett förbud mot spridning av avloppsslam på åkrar och krav på återvinning av fosfor (Regeringskansliet 2018) är bara en av flera utmaningar som behöver mötas.

För att ta fram en mer flexibel slamhantering för framtiden är det flera delområden som ingår i aktiviteten och som samtliga utgör en del i den framtida hållbara slamhanteringen. Här ingår bl.a.

- Termisk hydrolys
- Rötkammardesign och -drift
- Avvattning
- Slamkarbonisering

- Slamtorkning
- Termisk behandling av slam (förbränning, pyrolys, etc.)
- Nya högvärdiga produkter
- Power2Gas/Gas2Power
- m.m.

Aktiviteten inkluderar möjliga lösningar implementerbara inom kort tid (<2 år) och mer långsiktiga som också kan vara i behov av för mer fördjupande FoU inför en eventuell implementering.

3.2.2 De viktigaste resultaten och slutsatserna

3.2.2.1 Slamtorkning

Som ett steg att möta utmaningarna har slamtorkning varit i fokus under flera år vid Syvab och en uppdaterat genomgång av en möjlig resurseffektiv implementering finns rapporterade i Baresel *m fl.* (2017b). Sammanfattningsvis visar resultaten att slamtorkning framstår som en resurseffektiv komplettering till Syvabs process. Bedömningen är att torkning skulle ge en enklare och mer flexibel slamhantering som dessutom möter utmaningar som en hygienisering och vikt/volyminskning av slammet, ökat gödselvärde (så länge slamgödsling kvarstår som alternativ), minskat transportbehov, minskade direkta växthusgasemissioner, kväve som annars skulle emitteras till atmosfären eller nå yt- och grundvatten skulle kunna tas hand om vid reningsverket, synergieffekter med övrig verksamhet och en möjlighet till kväveåtervinning. Dessutom finns redan kunskap om torkning hos personal vid anläggningen och delar av existerande infrastruktur skulle kunna utnyttjas för torkningsanläggningen.

3.2.2.2 Växthusgasemissioner

Utredningen om växthusgasemissioner (se Baresel *m fl.*, 2016a) visade att slamhanteringsdelar utgör en signifikant del av Himmerfjärdsverket totala klimatpåverkan, både negativt via emissioner och transporter och positivt genom produktion av biobränsle som ersätter fossila drivmedel. Förutom rekommendationer som tekniska åtgärder för att reducera emissioner från kallfackling har scenarioanalysen också visat att t.ex. en slamtorkning kan ge en viss ökning av totalemissioner då mer energi krävs för torkningen. En kombination av den nya reningsprocessen, en utökad samrötning och andra processändringar skulle dock kunna leda till en mycket positiv effekt på den totala klimatpåverkan.

3.2.2.3 Slamkvalitet

Karteringen av föroreningar i slammet (Baresel *m fl.*, 2017a) visade stora variationer i rapporterade koncentrationer. Slutsatser baserade på dessa analysvärden borde därmed tydas med försiktighet. För vissa matriser, som rötslam, samt för analyser som kräver en noggrann upparbetning av proverna, som är fallet för läkemedelsanalyser, rekommenderas en noggrann uppföljning och om möjligt jämförande analyser även om detta med tanke på analyskostnaderna inte alltid är genomförbart. Med tanke på resultaten för Cd/P-kvoten och framtida krav på slamkvaliteten bör fokus läggas på alternativa slamkvittblivningsmetoder om inte tydliga förbättringar med att minska kadmiumhalter i inkommande avloppsvatten eller kompensation via externt material är att vänta. Även totalmängder av andra föroreningar likväl som önskvärda ämnen bör tas med i värderingar av vad som är en hållbar slamhantering.

3.2.2.4 Rötning vid lägre temperaturer

Det förutsätts allmänt att en ökning av röttemperaturer inom det mesofila intervallet ger en ökad biogasproduktion. Vid många svenska reningsverk som Himmerfjärdsverket är dock substratets retentionstid redan tillräckligt lång för att säkerställa en hög grad av uttrötning. Ett eventuellt ökat

metanutbyte skulle i så fall inte täcka kostnaderna för det ökade uppvärmningsbehovet (Lüdtke *m fl.*, 2017). Därför genomfördes ett fullskaletest vid Himmerfjärdsverket för att se om detta även kunde ses vid samröttningsanläggningar och för att kvantifiera eventuella besparingar, vinster eller förluster vid olika rötningstemperaturer inom det mesofila området, exempelvis genom att ha möjlighet att höja/sänka drifttemperatur beroende på aktuell eller planerad rötkammarbelastning och inkommande slamtemperatur (d.v.s. årstidsberoende). Försöken visade att det finns en del utmaningar med dagens rötkammare vid Himmerfjärdsverket med substrat som har en betydligt kortare uppehållstid än vad som kan antas utifrån klassiska beräkningsmetoder för att bestämma hydraulisk uppehållstid. För dessa substratmängder, som spenderar en kortare tid i rötkammaren, får den förbättrade nedbrytningskinetiken vid högre temperaturer ett större genomslag. Effekten på den totala energibalansen, genom att gå upp eller ner i röttemperaturen, bedöms dock vara försumbar i dagens rötning på Syvab, men har potential att innebära en nettobesparing/-vinst om Syvabs uppvärmningslösning kan förbättras (med hjälp av ökad integration med övriga energiflöden på verket). Det konstaterades också att förändringar i röttemperaturer kunde uppnås inom ett par dagar utan några indikationer på process- eller driftstörningar (se Baresel *m fl.*, 2017a).

3.2.2.5 Rötning vid signifikant högre belastning

Fullskaletesterna med kraftig organisk belastningsökning (OLR) hade som mål att undersöka om en ökning av rötkammarbelastningen med minst 40 % skulle vara möjlig utan processtörningar och utan signifikant minskning i metanproduktionen. Detta för att undersöka möjligheten att temporärt hantera substratmängder utöver designkapaciteten med syftet att fördela belastningen till ett mindre antal reaktor vid t.ex. temporärt behov att stänga ner en eller flera rötkammare för underhåll eller vid substratöverskott som annars inte kunde rötas. Testerna visade en stabil ökning av biogasproduktionen med 42 % vid belastningsökningen med 50 % OLR. Räknat som gasutbyte per kg VS innebär det en minskning med enbart 5 % jämfört med vad som uppnåddes vid drift med normal OLR (se Baresel *m fl.*, 2017a). Under 2018 ska en upprepning av dessa fullskaletesterna göras då implikationer för rötkammar drift vid en eventuell renovering av rötkammarna är extremt värdefulla.

3.2.2.6 Verktyg för en effektivare substrathantering

Som många reningsverk så tar även Syvab in externt substrat för att öka biogasproduktionen på anläggningen. Det externa substratet kan bidra till ökad produktion av biogas och påverka också slammet som produceras. För Syvab som är Revaq-certifierade är det viktigt att balansera slamkvaliteten och den ökade produktionen av biogas. Substrathanteringsverktyget som utvecklats i samarbete mellan Syvab och IVL syftar till att förenkla och förbättra planering och uppföljning av substrathanteringen på reningsverk. Verktøget kombinerar säker lagring i databas med massbalansmodeller och ett grafiskt gränssnitt. Substratverktyget har utvecklats i samarbete med IVL och Syvab sedan 2015 och kan individuell tillpassas olika reningsverks behov och förutsättningar. Verktøget har vidareutvecklats för att förbättra användningsmöjligheterna, och planer har även gjorts på att utveckla verktøget för att även inkludera en massbalans av metaller över vattenreningslinjen för att bättre kunna spåra flöden i olika delströmmar som sedan hamnar i slammet. Det finns flera utvecklingsspår och arbeten pågår. En introduktion i verktøget kan fås av Bergfors *m fl.* (2015).

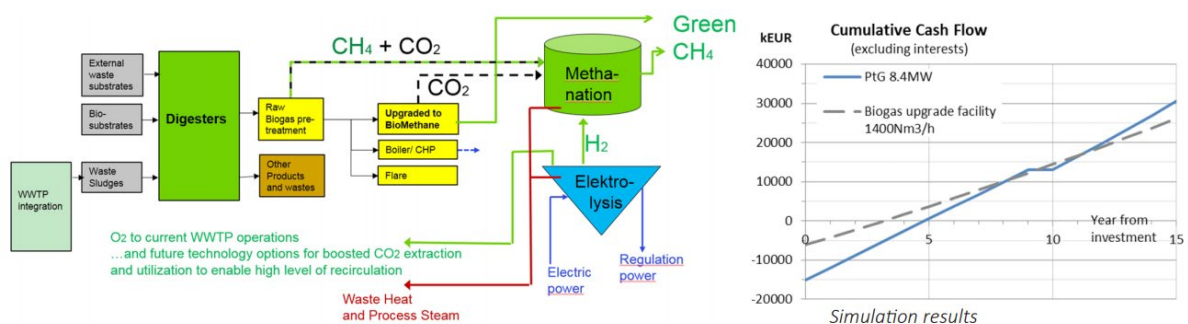
3.2.2.7 Power2Gas/Gas2Power

I samarbete med EU-projektet R3water (<http://r3water.eu/>) och specifikt VTT Technical Research Centre of Finland har Power2Gas konceptets relevans för Himmerfjärdsverket undersökts. Power2Gas konceptet kan ge reningsverk möjlighet att agera som energibuffer och -leverantör i framtidens smarta energinät. Under överproduktion av grön el från t.ex. vattenkraft, vindkraft och solenergi kan Power-to-Gas-systemet omvandla, lagra och bruka denna energi. I tider då

energibehovet överstiger leveransförmågan kan den lagrade energin i princip också konverteras tillbaka till el (Gas2Power). Konceptet har lyfts fram som en flexibel lösning i framtidens bioenergibaserade och förnybara kraftproduktion och har därför även undersökts av parterna angående den ekonomiska bärigheten i konceptet för Himmerfjärdsverket. En ekonomisk modell etablerades som tar hänsyn till den operativa lönsamheten av Power2Gas under olika operativa förhållanden. Analysen är utförd med hjälp av en dynamisk modell (GAMS -General Algebraic Modeling System) med driftdata från Himmerfjärdsverket. Både In-situ biologisk metanisering i befintliga rötkammare och separat biologisk metanisering har undersökts.

Resultaten visar att priset på el och producerad metan bestämmer lönsamheten av konceptet. Med de processbetingelser som undersöktes och historiska data för marknadspriser fastställdes en operativ jämpunkten för elkostnaden till 23,1 €/MWh. Den dynamiska modellen uppskattar dock att den operativa lönsamheten skulle ske vid elkostnaden på omkring 37 €/MWh under perioden vinterhalvåret om biprodukter skapar ett värde och elektrolysen drivs optimalt. För biologisk metanisering i en separat reaktor kan en ökad elektrolyskapacitet öka den operativa vinsten. Den främsta orsaken till detta är den biologiska metanationen i en separat reaktor kan öka CH₄-koncentrationen till en högre nivå än in situ biologisk metanisering. Beräkningarna visade också att en kraftvärmeenhet inte kommer att ge ytterligare operativt vinst (mer info Weiss *m fl.*, 2017).

Med tanke på infrastrukturen som skulle krävas vid Himmerfjärdsverket för implementeringen av Power2Gas-konceptet, osäkerheter i driftstabilitet, en extrem osäkerhet i utveckling av marknadspriser som styr återbetalningstiden, samt den positiva utvecklingen av andra energilagringssystem (här framförallt batterier) är slutsatsen att Power2Gas-konceptet inte är ett bärkraftigt alternativ för Himmerfjärdsverket (och de flesta andra reningsverk) i dagsläget.



Figur 3.2. Power2Gas koncept och exempel resultat från simuleringen (Weiss *m fl.*, 2017).

Flera andra specifika delaktiviteter som relaterar till slamhanteringen kommer att avrapporteras under 2018, t.ex.:

- Omrörningsrapport
- Rötkammar design
- Rötkammar drift/-strategi

3.2.3 Hur kan resultaten användas på andra reningsverk?

Eftersom slamhanteringen för närvarande ses över vid flera svenska reningsverk utgör resultaten från FoU-samarbete Syvab-IVL också möjliga alternativ som kan komma i fråga vid flera anläggningar. De beskrivna aspekterna och rekommendationerna med relevans för Himmerfjärdsverket kan då användas som underlag för egna utredningar/bedömningar.

3.2.4 Beskrivning av utfört arbete (inkl. inventering, metodik, m.m.)

Arbetet baserades på en gemensam inventering och kvantifiering av olika material- och energiflöden vid Himmerfjärdsverket samt erfarenheter från ett flertal fullskaliga och pilottester vid Himmerfjärdsverket eller Hammarby Sjöstadtsverk som kombinerades med resultat och erfarenheter från andre projekt av samarbetsparterna. Läsarna hänvisas till aktivitetsspecifika avrapporteringar för mer information.

3.3 Kontinuerlig lustgasmätning med vattensensorn

Delaktiviteten baseras på resultat och rekommendationer från tidigare aktiviteter som har avrapporterats som en egen publikation (Baresel m fl., 2016a; 2017a) som är tillgängligt via hemsidan www.ivl.se eller www.hammarbysjostadsverk.se.

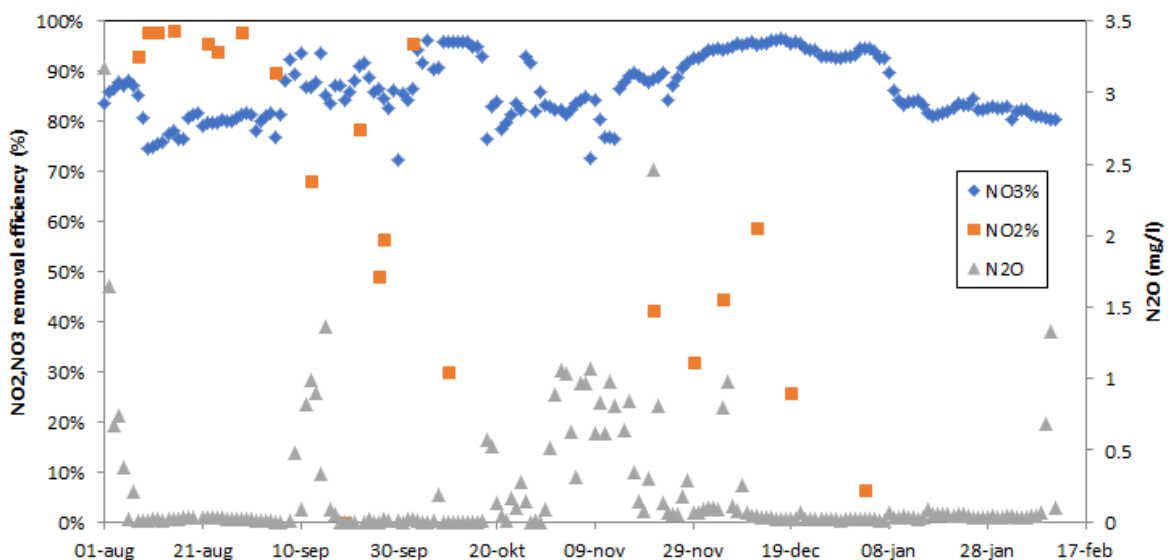
3.3.1 Vilken utmaning gäller det?

Avloppsreningsverk kan utgöra en signifikant källa till växthusgasutsläpp i form av direkta metan- och lustgasemissioner, samt indirekta emissioner genom en hög energi- och kemikalieanvändning. Vid Syvab har därför kvantifieringen och minimering av utsläpp av växthusgaser från reningsprocesser och slamhanteringen varit i fokus under flera år. En kartläggning av klimatpåverkan från Syvab Himmerfjärdsverket har genomförts baserat på både mätkampanjer och olika scenarieberäkningar som beskriver inverkan av olika processändringar samt de aktiva val som Syvab redan har gjort i sitt arbete för att uppnå minskad klimatpåverkan.

En av rekommendationerna från denna utredning har varit att försöka få en bättre övervakning i realtid och därmed förståelse av lustgasutsläpp för att kunna minska dessa direkta utsläpp.

3.3.2 De viktigaste resultaten och rekommendationerna

Figur 3.3 visar uppmätta lustgaskoncentrationer från denitrifikationsprocessen och relaterade processparametrar.



Det observerades att omkring 87 % av inkommande nitrat togs bort i denitrifikationsprocessen och att nitritkoncentrationen i utgåenden vatten var i genomsnitt mindre än 3 mg/L. Runt 1,22 % av inkommande nitrat omvandlades till lustgas.

Nitritkoncentrationen har, baserat på statistiska analyser, pekats ut som den viktigaste faktor som påverkar lustgasproduktionen. Nitratbelastning och pH i processutflödet hade också en högre korrelation jämfört med andra processparametrar. Det är troligt att lustgas producerades av denitrifierare på grund av en låg pH i inkommande processvatten, vilket var mellan 6,5-7. En hög koncentration av nitrit och låg pH resulterade i en hög free nitrous acid (FNA)-nivå (i), vilket kan hämma denitrifikationsprocessen.

Flera tester med lustgassensorn är planerade för 2018/19.

3.3.3 Hur kan resultaten användas på andra reningsverk?

Enkla övervakningsmetoder av lustgasproduktionen i olika delprocesser av ett reningsverk, som är kopplat till anläggningens SCADA, skulle ge en bättre förståelse för lustgasproduktionen och hur denna kan motverkas och minimeras utan att reningseffektiviteten påverkas. Utifrån mätningen och relaterade tester med t.ex. styrningsanpassningar eller driftsätt kan konkreta åtgärder för att minska de totala lustgasemissionerna tas fram. Detta är viktigt för den övergripande hantering och minimering av klimatpåverkan från avloppsreningsverk.

3.3.4 Beskrivning av utfört arbete (inkl. inventering, metodik, m.m.)

För att övervaka och studera produktionen, förbrukning och utsläpp av lustgas från vattenreningsprocesser köpte projektet in en mikrosensor av Clark-typ som tillhandahålls av Unisense Environment A/S i Århus och som framgångsrik används av IVL i andra projekt (t.ex. Baresel m fl., 2016b). N₂O-vattensensorn placerades i denitrifikationsprocessen vid verket efter avstämning med tillverkaren kring de speciella förhållandena (fluidbädd). Denitrifikationssteget har varit den processdel där mätning av utsläpp av lustgas varit mest problematisk under tidigare karteringar. Även om endast låga lustgasemissioner sker från delprocessen så kan lustgas bildas i processen som sedan avgår till atmosfären i efterföljande steg. En direkt mätning av lustgas i vattenfas skulle ge en bättre förståelse av lustgasbildning och möjliggöra en anpassning av processtyrningen.

Att mäta lustgasproduktionen i denitrifikationen förväntas ge information om vilka parametrar som påverkar lustgasproduktionen och om lustgas som produceras också konsumeras i behandlingsprocesserna eller frigörs till atmosfären.

Denitrifikationsprocessen vid Himmerfjärdsverket matas med vatten från nitrifikationen efter en sedimentering. Både metanol och fosforsyra tillsätts i denitrifikationsprocessen som källor till kol och näring. Nitratkoncentrationen övervakades online före och efter behandlingen. pH-värdena kontrollerades en gång per vecka med onsite labbanalyser. Även ett antal andra analyser genomfördes kontinuerligt som del av den vanliga driftövervakningen.

3.4 Termisk hydrolysis

3.4.1 Vilken utmaning gäller det?

Förutsättningar för termisk hydrolysis (TH) för rötningen på Syvab har redan tidigt identifierats som ett slambehandlingsalternativ som bör utredas inom Syvab/IVL-samarbetet. Tekniken går ut på att

spränga cellerna genom behandling vid höga temperaturer (165 °C) och ökat tryck (6 bar) under kortare tid (20 min). Detta kan öka tillgängligheten på det organiska materialet vilket kan ge förbättrad nedbrytningshastighet och högre metanutbyte i rötningsprocessen. Behandlingen ska också ge en hygienisering och förbättra materialets avvattningsegenskaper. Tekniken i sig är känd och flera installationer finns. Däremot finns inte många oberoende bedömningar av nettoeffekten vid reningsverk vid införande av termisk hydrolys. Då tekniken dock utgör en väsentlig investering samt höga driftkostnader (främst pga. de höga temperaturer som krävs) behöver den eventuella ökade gasproduktionen och andra fördelar vägas mot de extra driftmoment och kostnader som uppstår. Dessutom behövs en substratspecifik bedömning för varje anläggning för att bedöma potentialen av termiskt hydrolys. Sveriges första installation finns vid Sundets biogasanläggning (Schnürer *m fl.*, 2017) men en långvarig och oberoende utvärdering av processen återstår. Första resultat visar dock att energiåtgången för den termiska hydrolysen är i samma storleksordning som den ökade biogasproduktionen. Dessutom minskade produktionen av avvattnat slam dock på bekostnad av ett ökat polymerbehov. Vidare gav processen ökade ammoniumhalter i rötningen som medförde en försämring av befintlig kväverening.

3.4.2 De viktigaste resultaten och slutsatserna

De olika implementeringsalternativen som tittades på efter förslag från teknikleverantören Cambi var

1. TH som förbehandling av samtliga substrat före rötning
2. TH som förbehandling av enbart bioslammet före rötning
3. TH som mellanbehandling av rötsubstrat vid seriell rötning
4. TH som efterbehandling av rötslammet efter en delavvattning

Beräkningarna och bedömningen av Himmerfjärdsverkets rötprocess och relaterade processer visar att Syvab i dagsläget inte mottar tillräckliga mängder svärnedbrytbart substrat för att motivera TH som en förbehandlingsmetod. En implementering av TH som förbehandling (Alternativ 1 och 2) skulle endast ge marginell ökning av biogasproduktionen samtidigt som energibehovet vid anläggningen skulle öka avsevärt pga. TH-drift. TH på endast den mest svärnedbrytbara substratdelströmmen, här bioslam (flotationslam; Alternativ 2), är tillämpningen som ger störst förbättring (extra gas vägt mot extra energi och ökad komplexitet i anläggningen) av de båda förbehandlingsalternativen men skulle totalt sett ändå inte vara kostnadseffektiv för Syvab. Huruvida det blir krav på slamhygienisering eller inte är fortfarande inte klargjort och bör inte användas som enskilt argument för TH. Inte heller den frigjorda rötmarkkapaciteten kan räknas som en ekonomisk vinst om inte mer substrat står till förfogande för att utnyttja denna kapacitet.

En implementering som mellanbehandling (Alternativ 2) är i dagsläget inte relevant för Himmerfjärdsverket då rötkamardriften inte tillåter seriell drift och en uppgradering av rötammarna skulle behöva göras. Vid en uppgradering av rötammarna och seriell drift kan dock matningen av substrat med olika nedbrytbarhet styras på annat sätt än vid parallell drift vilket medför större möjligheter att utvinna mer biogas även från svärnedbrytbara material. Där det idag sker flera processer i en reaktor (hydrolys, acido- och acetogenes och metanogenes) tillåter en seriell rötning en anpassad fördelning av olika substrat till rätt processteg. Detta ger ökade möjligheter för processtyrning och en ökad nedbrytning av substrat vilket medför en ökad biogasproduktion och mindre rötrest. Nyttan med TH blir då mycket svårare att bedöma och en separat bedömning av detta fall behöver göras om en seriell drift i framtiden implementeras vid anläggningen.

Det TH-alternativet som kan vara intressant i Syvabs fall är Alternativ 4 som går ut på att all rötrest föravvattnas till ca 17 % TS i centrifug och sedan TH-behandlas. TH-slurryn som uppstår går sedan till slutavvattnings (centrifuger). Rejektvattnet som är COD-rikt och en hög metanpotential kan gå tillbaka till rötningen vilket kan ge en ökad biogasproduktion. Detta implementeringsalternativ liknar HTC-konceptet (Hydrotermisk förkolning) även om det används lägre temperaturer och tryck vid TH än vid HTC. Från HTC-försök med slam från Himmerfjärdsverket har det redan visats att biogasproduktionen kan ökas med 10 % om rejektet återförs till röttningsprocessen (Nilsson 2017). Dessutom har försök på HTC-behandlat slam visat att upp till 90 % av fosforinnehållet kan återvinnas och en mekanisk avvattnings < 75 % kan uppnås (Öhman m fl., 2017). TH som efterbehandlingsmetod bör således främst undersökas och jämföras med HTC under beaktande av alla för- och nackdelar.

3.4.3 Hur kan resultaten användas på andra reningsverk?

Resultaten från denna bedömning av termisk hydrolys gäller specifikt för Himmerfjärdsverket, Dock kan vissa resonemang och diskussionspunkter också användas av andra reningsverk som har för avsikt att titta på termiskt hydrolys.

3.4.4 Beskrivning av utfört arbete (inkl. inventering, metodik, m.m.)

Bedömningen utfördes baserat på beräkningar och kunskaps om Himmerfjärdsverkets slamhantering. Här ingick både massbalanser och beräkningar för olika parametrar som har störst påverkan på en möjlig återbetalning för investering och drift av en termisk hydrolys. Till dessa parametrar räknas bl.a. mängder slam som produceras på Syvab, värdet av en ökad torrhalt i slutavvattnat slam, avsättningsmöjligheter, värdet av en merproduktion av biogas och en kvalitativ bedömning av potentialen för en ökad biogasproduktion vid Himmerfjärdsverket. Som referens har en CAMBI- installation som vid Sundets reningsverk använts plus anläggnings-specifika utformningar och beräkningar från CAMBI.

4 Vad ska göras härnäst?

Samarbetet mellan Syvab och IVL kommer att fortsätta med ett antal FoU-aktiviteter. Främsta målet för samarbetet är att fokusera på FoU-frågor som berör Himmerfjärdsverkets verksamhet nu och i framtiden. Prioritering av framtida aktiviteter bestäms därmed utav det aktuella behovet och kan anpassas under samarbetets gång. Resultat från verksamheten kommer löpande att presenteras i rapporter och på ett sätt som möjliggör nyttjande av erfarenheter och resultat i tillämpningar vid andra VA-anläggningar.

Utav de fokusområden som parterna gemensamt har prioriterat är det följande aktiviteter som kommer att påbörjas eller avslutas under 2018.

- Framtidens slamhantering vid Himmerfjärdsverket inkl. framtagande av en röt-kammarstrategi
- Förhydrolys av externt substrat som intern kolkälla
- Framtagande av bulkkemikalier från rötsubstrat som alternativ högvärdig produkt
- Realtidsmätning av lusgasutsläppen och processoptimeringar med N₂O-vattensensorn
- Utvärdering av nya rejektbehandling inkl. GHG-emissionskartering
- Simulering av verksamhetens miljöpåverkan nu och vid framtida processändringar

- Röttningsstrategier för bibehållen biogasproduktion vid renovering eller temporära driftstörningar i en rötkammare
- Utveckling av substrathanteringsverktyget
- Slamtorkning, pyrolysis, samförbränning etc.

5 Ekonomisk redovisning

Sydvästra stockholmsregionens VA-verksaktiebolag, Syvab, Himmerfjärdsverket har bidragit med 500 tkr som matchades av Stiftelsen IVL. Detta då Stiftelsen IVL har till ändamål att främja de långsiktiga förutsättningarna för miljöforskning med särskild inriktning på tillämpade frågeställningar och ett tvärvetenskapligt och systemorienterat angreppssätt med tyngdpunkt på svenska förhållanden.

Av de totalt 930 tkr som stod till förfogande har inte alla resurser förbrukas då också överblivna pengar från 2016 kunde brukas under 2017. Den största delen har använts för arvodeskostnader men även kostnader för programlicenser, analyser och andra utlägg har ingått i budgeten. Från omfattningen av de rapporterade aktiviteterna blir det tydligt att de förbrukade medlen inte kan ha bekostat samtliga aktiviteter fullt ut. En till synes liten resursförbrukning förklaras framförallt med synergieffekter som uppstått på grund av Syvabs och IVLs långa samarbeten inom olika områden, samt en integrering i den dagliga verksamheten vid anläggningen med en fantastisk support av alla inblandade anställda vid Himmerfjärdsverket.

Under år 2018 har en projektansökan lämnas in till Stiftelsen IVL med samma omfattning som ansökan för 2016 och 2017.

6 Referenser

- Baresel, C., Åmand, L., Lüdtke, Sidvall, A., Andersson, S. 2017a. Resultat från FoU-samarbete Syvab-IVL – Årsredovisning för 2016. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B2277.
- Baresel, C., Lüdtke, M., Berg, M., Åfeldt, E., Aronsson, A. 2017b. FoU-samarbete Syvab-IVL: Slamtorkning som en del av slamhantering vid Syvab Himmerfjärdsverket. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B2276.
- Baresel, C., Yang, J., Tjus, K. 2016a. Klimatpåverkan från Syvab Himmerfjärdsverket - FoU-samarbete Syvab-IVL Delprojekt: Tillämpning och resultat av ett statiskt klimatberäkningsverktyg år 2016. IVL Svenska Miljöinstitutet, Rapport B2270.
- Baresel, C., Andersson, S., Yang, J., Andersen, M.H. 2016b. Comparison of nitrous oxide (N₂O) emissions calculations at a Swedish wastewater treatment plant based on water concentrations versus off-gas concentrations. *Advances in Climate Change Research* 7, 185–191.
- Bergfors, L., Åmand, L., Sidvall, A., Flodgren, J., Örnmark, J. 2015. Biogas prognosis & evaluation tool. 14th Nordic Wastewater Conference - NORDIWA, Bergen.
- Lüdtke, M., Baresel, C., Nordberg, N., Witkiewicz, A., Thunberg, A. 2017. Intermittent feeding equalizes impact of temperature dependant reaction rates on methane yield in mesophilic sludge digestion. *Journal of Environmental Engineering*, under review.
- Lüdtke, M., Berg, M., Berg, S., Söhr, S., Baresel, C. 2016a. Dynamic digester temperature control in full scale, technical feasibility and economic potential. 2nd IWA Conference on Holistic Sludge Management, HSM 2016, Malmö, Sweden.
- Lüdtke, M., Berg, M., Berg, S., Baresel, C., Söhr, S., Bengtsson, L., Levlin, E. 2016b. Rötning med integrerad slamförtjockning för ökad biogasproduktion. SVU-rapport 2016-06. Svenskt Vatten.
- Regeringskansliet 2018. Kommittédirektiv: Giftfri och cirkulär återföring av fosfor från avloppsslam, Dir. 2018:67. <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2018/07/utredning-ska-foresla-forbud-mot-spridning-av-avloppsslam-pa-akrar-och-krav-pa-atervinning-av-fosfor/>, 2018-07-12.
- Nilsson, E. 2017. Rötningförsök med HTC processvatten. Examensarbete 30 hp, Institutionen för energi och teknik; Bioenergi, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Uppsala. ISSN 1401-5765.
- Schnürer, A., del Pilar Castillo, M., Edström, M., Andersson Chan, A., Karlsson, S., Nilsen, P-J. 2017. Termisk hydrolysis vid Sundets biogasanläggning - Utvärdering av förbehandling av rötslam i Växjö. Rapport 2017:367, Energiforsk.
- Weiss, R., Fortkamp, U., Lastusilta, T., Lüdtke, M., Baresel, C., Arnold, M. 2017. Power-to-Gas integrations at wastewater treatment plants. NORDIWA - Nordic Wastewater Conference, 10-12 October, Aarhus, Denmark.
- Öhman, F., Lundqvist, F., Nordström, J.E., Lüdtke, M., Baresel, C., Fortkamp, U. 2017. Results from Hydro Thermal Carbonisation (HTC) of sludge. NORDIWA - Nordic Wastewater Conference, 10-12 October, Aarhus, Denmark.

