



SLUTRAPPORT FAS III

VA-TEKNIK SÖDRA

2015–2018

VA-teknik Södra



Dagvattendamm i Augustenborg, Malmö (foto: Ann Mattsson).

VA-teknik Södra under Fas III.....	4
Nya krav – nya reningsmetoder	6
Mat i cirkulära robusta system	7
Anammox – en energieffektiv metod för kvävereduktion	7
Hållbar hantering av slam och rejektvatten	8
Ny biofilmsbärare ger nya möjligheter	9
Aeroba granuler	10
Biologisk fosforavskiljning	11
Separation av partiklar – kan vi rena avloppsvatten utan biologi och vad finns i partiklarna som lämnar avloppsreningsverket?	12
Tillskottsvatten och bräddning – viktiga avvikelser i vattnets urbana kretslopp	13
Hållbar dagvattenhantering – nyckeln till framgång i det urbana vattenpusslet	14
Praktiska tillämpningar	15
Grundforskningsprojekt	15
Avhandlingar och publikationer	16
Rapporter	19

Författare: Henrik Aspegren, Karin Jönsson, Britt-Marie Wilén, Ann Mattsson,
Michael Cimbritz, Marinette Hagman, Hans Bertil Wittgren

Redaktör: Ann Moen

Kontaktuppgifter VA-teknik Södra
Karin Jönsson, programledare
Inst. för kemiteknik, vattenförsörjnings- och avloppsteknik
Lunds tekniska högskola
Box 124
221 00 Lund
karin.jonsson@vateknik.lth.se

VA-teknik Södra har som huvudsyfte att hitta lösningar till framtidens utmaningar för svenska kommuner och vattentjänstbolag. Svaren ska hittas i en kombination av forskning, utveckling och utbildning. Samarbetet i klustret ska säkerställa att alla delar inom VA-teknikområdet utvecklas parallellt.

VA-TEKNIK SÖDRA UNDER FAS III

Stärkande av forskning, utveckling och utbildning inom avancerad avloppsvattenhantering var även under Fas III ledord för klustret.

VA-teknik Södra fortsatte under sin tredje programperiod den mycket framgångsrika satsningen på industridoktorander i samarbete med företag och vattentjänstbolag. Man avsatte den största andelen av de ekonomiska medlen för utveckling av just denna samarbetsform för att på så sätt garantera att den forskning som utförs är till gagn för VA-branschen. Även det arbete där styrgruppen genom så kallade särskilda satsningar har haft möjlighet att få igång verksamhet inom viktiga ämnesområden, som inte täcks in av industridoktorandprojekten, har varit en viktig del av programperiodens strategiska utvecklingsarbete av VA-teknik Södra. I nuläget består VA-teknik Södra av medlemmar från två universitet, tre företag och tio vattentjänstbolag. Basen i programmets verksamhet är på högskolorna i Lund och Göteborg.

Samarbetet med övriga högskoleprogram utökades under den tredje treårsperioden. Ett påtagligt resultat av detta är den nationella vattenforskarsskola som de fyra klusterverksamheterna tillsammans med forskningsbolaget Sweden Water Research utvecklade under perioden. Vattenforskarsskolan har idag närmare 50 medlemmar.

Under programperioden har VA-teknik Södras organisation stärkts genom att en fast kommunikator/projektkoordinator tillsatts och genom att arbetet har utvecklats och stärkts i de tre fokusgrupper som skapades under föregående programperiod.

Fokusgrupperna ansvarar för att initiera och leda arbetet inom sitt område och tar framför allt utgångspunkt i verksamheternas konkreta behov och utmaningar. Fokusgrupperna har varit mycket framgångsrika i att skapa projekt och ansöka om externa projektmedel.

Fokusgrupp: Framtidens avloppsvattenrening

En både svensk och global trend är inflyttning till städer vilket ökar mängden avloppsvatten till och belastningen på reningsverken. Samtidigt ställs det allt strängare krav på rening av avloppsvatten och det blir allt svårare att hitta mark som kan utnyttjas för att bygga reningsverk i våra städer, vilket kräver allt yteffektivare processer. Samtidigt ska reningsprocesserna vara kostnadseffektiva, resurs- och energieffektiva och generera så liten miljöbelastning som möjligt.

VA-teknik Södra har under programperioden bidragit till utvecklingen av teknologier inom detta område där bland annat avskiljning av mikroföroreningar ingår. Exempel på processlösningar är behandling av avloppsvatten med ozon, aktivt kol, membran och biofilmsprocesser såsom MBBR eller aeroba granuler.

Fokusgrupp: Energi och Resurshushållning

Avloppsvattnet innehåller resurser i form av både värmeenergi, kemisk energi och växtnäringsämnen. Samtidigt behövs energikrävande processer och tekniker för att rena

MEDLEMMAR I VA-TEKNIK SÖDRA UNDER FAS III

Medlemmar i klustret är VA-teknik vid Lunds tekniska högskola och Vatten Miljö Teknik vid Chalmers tekniska högskola samt VA SYD, Gryaab AB, NSVA, Laholmsbuktens VA, DHI Sverige, Trollhättan Energi, Göteborgs Stad Kretslopp och Vatten, Kalmar Vatten, Veolia Water Technologies, Primozone Production AB, Hässleholms Vatten, Västvatten och Lidköpings kommun.

Styrgrupp

Henrik Aspegren, ordförande, vice. förbundsdirektör VA SYD, Karin Jönsson, docent LTH, Doug Lumly, driftschef Gryaab AB, Marie Falk, enhetschef Kretslopp och vatten, Pär Gustafsson, Avdelningschef NSVA, Carl-Olof Zetterman, VD Syvab.

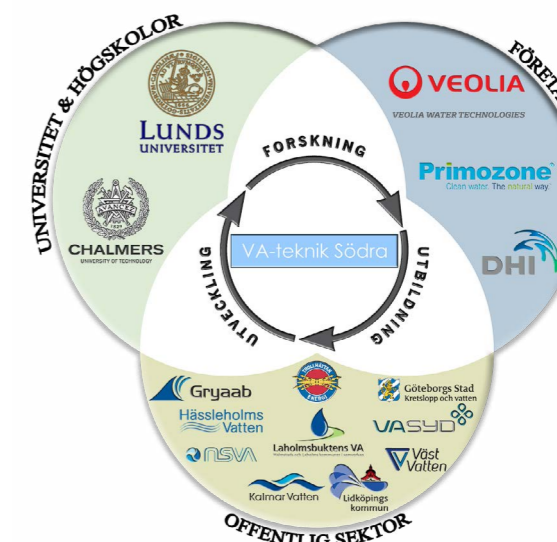
Ledningsgrupp

Karin Jönsson, klusterledare, docent LTH, Britt-Marie Wilén, bitr. professor Chalmers, Ann Mattsson, adj. professor Chalmers, Marinette Hagman, Forsknings- och utvecklingsansvarig NSVA, Michael Cimbritz, univ. lektor LTH, Hans Bertil Wittgren, Forsknings- och utvecklingsansvarig VA SYD.

vattnet. VA-teknik Södra har medverkat till att utveckla teknik för att optimera befintliga system (till exempel luftnings-systemen), men även genom att utveckla ny teknik för att minska energibehoven i systemen. Under programperioden gjordes inledande försök med membrantechnik utan biologi som ett exempel på en teknik för ökad biogasproduktion vid våra reningsverk. Allt slam som produceras vid rening av avloppsvatten innehåller stora mängder växtnäring. Återföring av fosfor är speciellt viktig och VA-teknik Södra har under programperioden medverkat till att direkt eller indirekt utveckla olika koncept för närsaltåterföring, till exempel Reco lab i Helsingborg.

Fokusgrupp: Klimat Samhälle Vatten

Förtätning och ändrad markanvändning, åldrande ledningsnät och strängare krav i kombination med ändrade nederbördsmonster och havsnivåer kommer att innebära stora utmaningar för många svenska VA-verk. VA-teknik Södra har under programperioden arbetat med att utveckla blå-gröna lösningar för applicering sett ur ett stadsperspektiv. VA-teknik Södra har därmed medverkat i samarbets-



projekt, inom Lunds universitet med partners från primärt DHI Sverige samt Göteborg, Helsingborg och Malmö och medverkat till att planeringsverktyg för avrinning har kunnat utvecklas inom ramen för bland annat Future City Flow.

Resultaten från programmet har förmedlats till branschen inte minst genom de kurser för bland annat blivande civilingenjörer, yrkesverksamma och doktorander som nätverket har medverkat i. Sist men inte minst avslutade alla industridoktorander framgångsrikt sina avhandlingsarbeten under programperioden.

SLUTRAPPORTEN FÖR FAS III

I slutrapporten presentera sett urval av de viktigaste forskningsprojekten som drivits under perioden. Dessa har resulterat i att användbara metoder och arbetssätt sett dagens ljus vid såväl vattentjänstbolag som vattenföretag. Många publikationer och avhandlingar har tillkommit

under perioden och dessa återfinns sist i rapporten. VA-teknik Södra ser med tillförsikt fram emot en lovande, kommande period, Fas IV, där ytterligare forskning och nyttoresultat kommer att spridas inom VA-branschen.

NYA KRAV – NYA RENINGSMETODER

I takt med att risker kopplade till utsläpp av läkemedel, pesticider och andra ämnen uppmärksammas allt mer, väcks frågor om vilka substanser som behöver tas bort och hur det bör göras. Flera samarbeten och forskningsinitiativ inom VA-teknik Södra syftar till att få klarhet i vilka metoder som fungerar och hur de bäst kan anpassas till typiska svenska avloppsreningsverk.

Projektet *Reduktion av svårnedbrytbara föroreningar i avloppsvatten* (RESVAV), finansierat av Havs- och vattenmyndigheten, startades sommaren 2014 och avslutades vid årsskiftet 2017/2018. Medarbetare från Institutionen för kemiteknik vid Lunds universitet, Sweden Water Research, Gryaab, Kretslopp och Vatten, VA SYD, NSVA, Primozone Production AB, Sweco Environment och Aarhus Universitet deltog i projektgruppen, vilket gjorde att såväl kunskap som erfarenheter från avloppsreningsverken, industrin och högskolan kunde tillvaratas. Projektet inleddes med en omvärldsbevakning och en studieresa för att inhämta kunskap från fullskaleanläggningar med läkemedelsrening i Europa. Arbetet resulterade i en lättillgänglig SVU-rapport, men också i en samsyn om vilka processkombinationer som skulle specialstuderas för att passa svenska avloppsreningsverk. Valet föll på ozonering följt av biologisk rening och dosering av pulveriserat aktivt kol efter ett aktivslamsteg. Det genomfördes sedan pilotförsök på 10 olika avloppsreningsverk i södra och västra Sverige. Genom samarbete med andra projektgrupper kunde man även ta del av resultat från den lovande processvarianten med kolfilter som slutsteg.

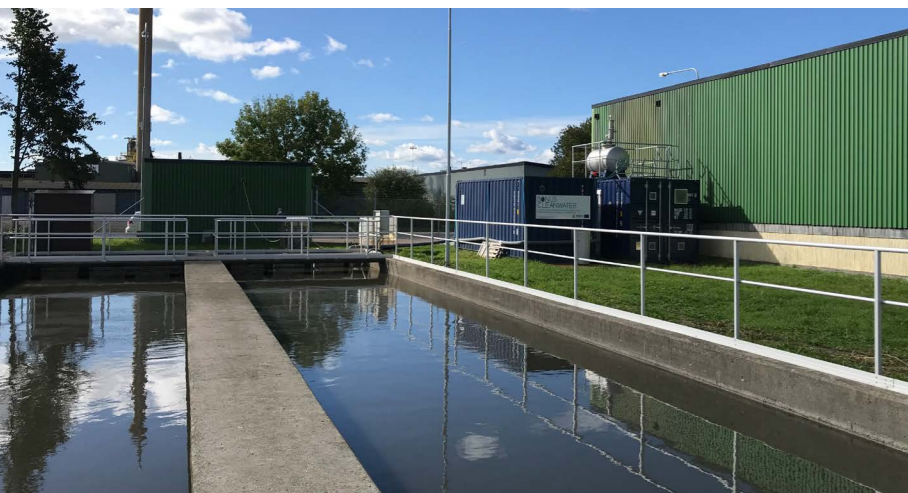
I kraft av det arbete som genomfördes inom RESVAV och andra projekt inom utlysningen finns det nu både kunskap om och drifterfarenhet av olika tekniska lösningar samt en kostnadsbild att förhålla sig till. Arbetet har även bidragit till nya initiativ och forskningssamarbeten. I Kalmar har kombinationen UF (ultrafiltrering) och kolfiltrering utvärderats med stöd från Svenskt Vatten Utveckling. Institutionen för kemiteknik vid Lunds universitet deltar även sedan 2017 i ett internationellt forskningsprojekt, *BONUS Cleanwater*, där nedbrytning av organiska

mikroföroreningar studeras, både genom ozonering och biologisk nedbrytning med rörliga biofilmsbärare. Från Kemiteknik leds också ett internationellt forsknings- och utvecklingsprojekt, *Less is More*, där separation av organiska mikroföroreningar med aktivt kol står i fokus.

På Chalmers har en studie inletts där syftet är att öka kunskapen om hur läkemedel och hormonstörande ämnen bryts ner eller omvandlas i nya avancerade reningsprocesser. En fullskalestudie har gjorts på Ryaverket (Gryaab) som har olika typer av biofilmsprocesser (MBBR) i kombination med aktivt slam. Resultaten tyder så här långt på att en stor del av reduktionen av de läkemedel som kan tas bort biologiskt har tagits bort redan i aktivslamprocessen. För att öka förståelsen för de mekanismer som påverkar reduktionen görs experiment för att studera vilka ämnen som adsorberas, respektive bryts ner i biofilmer från MBBR-system samt aeroba granuler. Den mikrobiella sammansättningen analyseras för att se om den påverkas av läkemedlen i avloppsvatten och hur olika driftsstrategier påverkar förekomsten av olika bakteriegrupper och deras nedbrytningsförmåga.

LÄSTIPS:

- Cimbritz, M., Tumlin, S., Hagman, M., Dimitrova, I., Hey, G., Mases, M., Åstrand, N., la Cour Jensen, J. (2016). Rening från läkemedelsrester och andra mikroföroreningar. En kunskapssammanställning, SVU, 2016-04.
- Cimbritz, M. (2018). Reduktion av svårnedbrytbara föroreningar i avloppsvatten (RESVAV), VA-teknik Södra, Rapport Nr. 11-2018.
- Edefell, E., Ullman, R., Bengtsson, E. (2019). Ultrafilter och granulerat aktivt kol för avskiljning av mikroföroreningar, SVU, 2019-01.
- Reningstekniker för läkemedel och mikroföroreningar i avloppsvatten. Redovisning av åtta projekt som fått medel från Havs- och vattenmiljöanslaget 2014–2017, Havs- och Vattenmyndigheten, Rapport, 2018:7.



Pilotanläggningar med ozonering och rörliga biofilmsbärare (MBBR) vid Lundåkraverket i Landskrona (foto: Ellen Edefell).

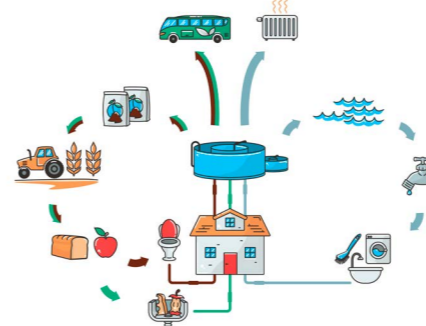
MAT I CIRKULÄRA ROBUSTA SYSTEM

Projektet MACRO har haft som mål att bidra till utvecklingen av hållbara och robusta system som tillvaratar och förädlar stadens restprodukter. Fokus har övergripande varit på sorterande system där avloppsvatten delats upp i svartvatten och gråvatten samtidigt som matavfall hanterats separat.

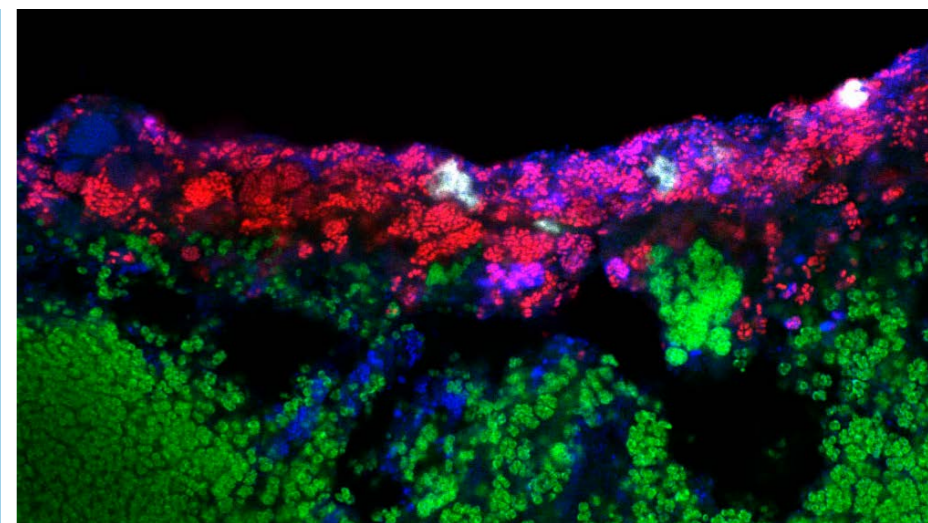
Många av de tekniker som testats, utvecklats och utvärderats är relativt nya. Kritiska frågeställningar är nu till stor del utredda, bland annat vatteninblandning i matavfallskvarnar, funktion av dessa för hela den organiska avfallsfraktion, behandling av våta fraktioner i fluglarvskomposter samt koncentrerings av växtnäring i klosettavatten.

En samhällsekonomisk studie, av bland andra Hamse Kjerstadius, belyser nyttorna av sorterande system i en svensk kontext, vilket kan fungera som underlag för beslut i kommuner där sådana system skulle kunna vara en lämplig lösning. En internationell marknadsstudie visar att det finns en potential för sorterande system i både Sverige och andra delar av världen. Behovsbilden ser dock annorlunda ut i Sverige eller Norra Europa jämfört med länder med vattenbrist.

En juridisk studie visar att det inte finns några hinder för en kommun att införa sorterande avloppssystem inom verksamhetsområdets existerande lagrum eftersom lagen tillåter detta redan idag. Projektet har även bidragit till en ökad kännedom kring lantbrukets och andra nyckelaktörers inställning till kretsloppsprodukter samt identifierat både hinder och möjligheter med certifiering, vilket ger ett gediget underlag för arbetet med certifiering och återföring av växtnäringssämnen från sorterande avloppsfraktioner i framtiden.



System för kretsloppsanpassade avloppslösningar.



Biofilm för partiell nitritation-anammox där AOB sitter ytterst som magentafärgade celler och anammox-bakterierna sitter längre in som grönfärgade celler (foto: Carolina Suarez).

ANAMMOX – en energi-effektiv metod för kvävereduktion

En alternativ metod för biologisk kvävereduktion är anaerob ammoniumoxidation, Anammox, där nitrit och ammonium omvandlas direkt till kvävgas utan att behöva gå via denitrifikation, något som sparar energi.

Projektet *Anammox i huvudströmmen* (Manammox), inom vilket bland andra Carolina Suarez (Göteborgs universitet) disputerade 2017, drevs i samarbete mellan VA SYD, LTH, Göteborgs universitet och Chalmers under 2012–2017. Partiell nitritation-anammox (PNA) för huvudströmsbehandling undersöktes i en pilotanläggning vid Sjölanda avloppsreningsverk, där olika driftsbetingelser och samspelet med den mikrobiella samhällsstrukturen utvärderades. Vid partiell nitritation går ammoniumoxidationen endast halvvägs till nitrit. Det kvarvarande ammoniumet omvandlas tillsammans med den bildade nitriten direkt till kvävgas av anammox-bakterier. Pilotförsöken för PNA i ett steg utfördes i två huvudströmsreaktorer med biofilmsbärare (MBBR) i serie och en separat MBBR för sidosrömsbehandling. Bärare överfördes mellan sidos- och huvudströmsreaktorerna för att på så sätt få en mer effektiv process. Resultaten visade att aktiva och stora populationer av långsamväxande anammoxbakterier kunde bibehållas över tid (> 1000 dagar) vid huvudströmsförhållanden där de i samspel med ammoniakoxiderande bakterier (AOB) avskilde kväve vid hastigheter som är realistiska för kommunal avloppsvattenrening. De nitritoxiderande bakterierna (NOB), som konkurrerar med AOB om nitriten och omvandlar den till nitrat, kunde inte hämmas varaktigt i processen, vilket medför att en efterpolering för avskiljning av nitrat skulle vara nödvändig vid implementering. Vid partiell nitritation och anammox i åtskilda steg var NOB svårare att kontrollera. Sidostudier finansierade av Formas påvisade avsevärda skillnader mellan de mikrobiella samhällena för huvud- och sidosröms-PNA, samt att tjockleken och gränsskiktet runt själva biofilmen hade betydelse för möjligheterna att hämma NOB.

HÅLLBAR HANTERING AV SLAM OCH REJEKTVATTEN

Slam och rejektivatten är oundvikliga biprodukter från avloppsvattenreningen och viktiga för reningsverkens bidrag till det cirkulära samhället. Produktion av biogas och kretslopp av näring är viktiga exempel på hur reningsverken bidrar till samhällets energi- och resurshushållning. Slamhanteringen har dock en miljöpåverkan som kan minimeras genom till exempel uppströmsarbete för bättre slamkvalitet och kunskap om processernas emissioner av metan och lustgas till atmosfären.

Slottshagens reningsverk i Norrköping

Att rena det relativt varma och koncentrerade rejektivattnet från slamavvattningen kan ha stora fördelar såsom effektiv kväverening med lägre insatser i form av energi, kemikalier och bassängvolym. För att vinsterna ska förverkligas och inte balanseras upp av exempelvis ökade emissioner av lustgas är det viktigt med djup processförståelse omsatt i driftstrategier som är praktiskt tillämpbara vid ett reningsverk. Förutsättningarna för att ta fram denna typ av kunskap är goda i industridoktorandprojekt. Man har tillgång till såväl universitetens djupa kunskap som en fullskaleanläggning att göra försök vid samt handledning och praktisk kunskap från ett kunskapsföretag. I Fredrik Stenströms industridoktorandprojekt (LTH) detaljstuderades rejektivattenrening genom nitrifikation och denitrifikation i full skala i en satsvis biologisk reaktor (SBR) på Slottshagens reningsverk i Norrköping. Resultaten visar hur viktig styrningen av processen är för att minimera utsläppen av lustgas till atmosfären. Viktiga parametrar för att undvika förhöjda utsläpp av lustgas var syrehalten vid nitrifikation, som inte får vara för låg, och tillgången till organiskt material för denitrifikation, vilken inte heller den får vara för låg. Genom att kombinera styrda försök och modellering fick man viktig förståelse för vilka biologiska

mekanismer som leder till förhöjda utsläpp av lustgas och hur de kan kontrolleras.

Från mesofil till termofil rötning

För att få till stånd en hygienisering av det aktiva slammet kan man röta slammet vid 55°C (termofil) istället för vid 33–37 °C (mesofil). Detta praktiseras med framgång vid flera reningsverk idag. Det som är oklart eller som det finns motstridiga uppfattningar kring är hur mycket mer biogas som produceras vid termofil rötning samt hur man bäst går över från mesofil till termofil rötning utan att få stora problem med mikrobiologin, vilket emellanåt resulterar i att stora mängder illaluktande och svåravvattnat slam ska hanteras. För att få svar på den senare frågan drevs sex parallella röt-kammare i labbskala på Ryaverket. Tre av reaktorerna var mesofila genom hela försöket och i de tre andra höjdes temperaturen efter olika strategier till det termofila spannet. Resultatet blev att det inte lönade sig att långsamt höja temperaturen, då tog det längre tid för de termofila mikroorganismerna att konkurrera ut de mesofila. Det som fungerade bäst var att höja temperaturen i ett svep men kraftigt sänka belastningen till en nivå där de nya bakterierna hann konsumera det inkommande organiska materialet och sedan smyga upp belastningen under noggrann kontroll så att inte mängden flyktiga syror ökade eller pH sjönk. Genom att ta regelbundna prov kunde Chalmers forskare följa övergången av bakteriekulturen från mesofil till termofil rötning. Tyvärr visade det här testets 15 veckor med termofil drift inte högre biogasproduktion än vid mesofil drift och dessvärre också sämre avvattningsegenskaper. Vid kommande tester är det lämpligt att driva testet längre tid. Det som däremot tydligt kunde visas ge högre biogasproduktion var att driva två röt-kammare i serie istället för parallellt, vilket ingick i ett annat försökpaket. Helt i överensstämmelse med hur det borde vara när två totalomblandade reaktorer drivs i serie istället för parallellt minskar mängden slam med mycket kort uppehållstid i biogasanläggningen, vilket innebar att 5–10 % mer biogas producerades. Den största miljömässiga vinsten torde dock vara att metanavgången från efterföljande lagring i tre veckor minskade med 25 % jämfört med när röt-kamrarna drevs parallellt.



Utsläpp av metan till luften från ett slamlager blir mindre om två röt-kammare drivs i serie i stället för parallellt (foto: Ann Mattsson).

NY BIOFILMS-BÄRARE GER NYA MÖJLIGHETER

MBBR-processen (moving bed biofilm reactor) är en biologisk process där mikroorganismerna som ska rena avloppsvattnet växer på suspenderade bärare. Konventionellt designas och optimeras MBBR huvudsakligen för bärarnas yta utan hänsyn till andra egenskaper som biofilmstjocklek eller biofilmens sammansättning.

Tjockleken har betydelse!

I Maria Piculells doktorsarbete utvärderades effekten på MBBR-processen av biofilmens tjocklek med hjälp av den nyutvecklade Z-bäraren på vilken det går att styra biofilmens tjocklek på en helt ny nivå. Studierna visade bland annat att en tjockare biofilm erbjöd fler miljöer, i vilka olika sorters mikroorganismer kan växa, och ett bättre skydd mot olika störningar av processen, medan en tunnare biofilm var känsligare. Det visade sig dock att den tunna biofilmens känslighet för påverkan, i kombination med väl valda driftsstrategier, kunde användas för att styra biofilmens sammansättning och funktion. Studien visade även på fördelarna med biofilmkontroll för att förhindra igensättning av bärare, vilket kan ske om till exempel närings-tillgången är hög. Slutligen studerades också biofilmens ymp-effekt, det vill säga huruvida avskavda biofilmsfragment fortfarande kunde vara aktiva i MBBR-processen.

En mötesplats för biofilmsanvändare

Under 2018 initierades BioFiAN av VA-teknik Södra och Anox Kaldnes. BioFiAN är ett nytt processinriktat nätverk kring temat biofilmsprocesser på kommunala avloppsreningsverk. Det riktar sig främst till användare, det vill säga processingenjörer och processinriktade driftstekniker, av biofilmsprocesser, exempelvis MBBR, biobäddar och biorotorer.

LÄSTIPS:

- Piculell, M. (2016). *New Dimensions of Moving Bed Biofilm Carriers: Influence of biofilm thickness and control possibilities*. Doctoral dissertation, Lund University.



Mikroskoperingsbild på biofilm och mikrodjur (stjätkad ciliat) från en Z-400 bärare i en kommunal MBBR pilot, AnoxKaldnes (foto: Maria Piculell).



Aeroba granuler (foto: Britt-Marie Wilén).

LÄSTIPS:

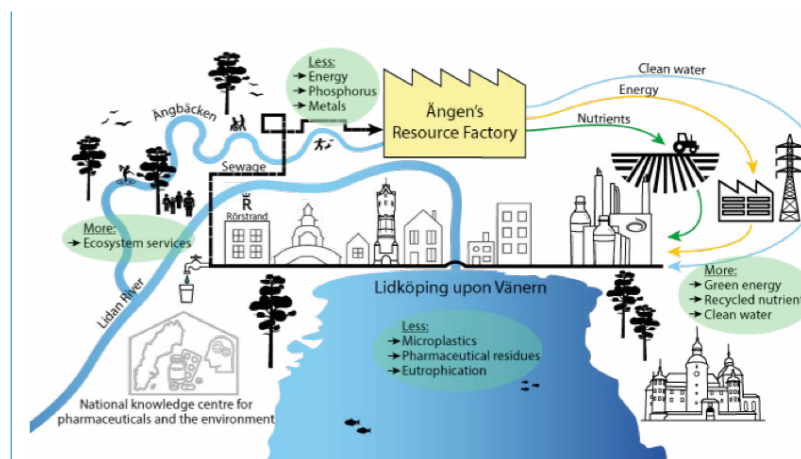
- Szabó, E. (2017). *Composition and dynamics of the bacterial granular sludge reactor*. Doctoral dissertation, Chalmers University of Technology, Gothenburg.
- Liébana García, R. (2017). *Microbial community assembly during aerobic granulation*. Licentiate thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg.
- Bengtsson, S. m.fl. (2017). Aeroba granuler, en ny reningsteknik för kommunala avloppsreningsverk en kunskapsanmästämning, *SVU-rapport*, 2017-19.

AEROBA GRANULER

En relativt ny reningsprocess är aeroba granuler där bakterierna växer i kompakta och runda biofilmsliknande aggregat med extremt goda avskilningsegenskaper. Detta ger en mycket kompakt reningsprocess.

I ett antal Formas-finansierade projekt har den mikrobiella ekologin i granulerna studerats för att förstå mekanismerna för granuleringen samt hur den påverkar nedbrytningen av organiskt material, kväve och fosfor. Moderna DNA-baserade metoder för identifiering av olika bakterier har använts. Uppstarten av granulreaktorer som ympats med aktivt slam har studerats i laboratorieskala för att hitta lämpliga driftsstrategier. Granuler bildas i satsvisa reaktorer med en mycket kort sedimenteringstid. Resultaten visar att en gradvis sänkning av sedimenteringstiden ger en bibehållen nitrifikation och snabb granulering. Reactorer med olika driftsbetingelser har olika mikrobiell sammansättning där vissa bakteriegrupper utgör en större andel i granulerna jämfört med den flockformiga fraktionen som lämnar reaktorn med utgående vatten. Försök med membranfiltrering av aerobt granulerat slam har gjorts för att på sikt utveckla en mycket kompakt och effektiv reningsprocess. Utmaningen ligger dock i att bibehålla stabila granuler då det s.k. selektionstrycket för granuler sänks.

I projektet *AGNES-I* har en litteratursammanställning om tillämpningen av aeroba granuler med fokus på fullskaletillämpningar gjorts (SVU-rapport). Den första fullskaletillämpningen av aeroba granuler (NEREDA-processen) i Sverige vid Österröds avloppsreningsverk i Strömstad följs upp sedan sommaren 2018 i projektet *AGNES-II*. Under det första året studeras driftsstrategier under uppstarten. Prover tas på den mikrobiella sammansättningen för att senare kunna relatera denna till processförhållandena.



Resurser i ett cirkulärt system, LIWE LIFE.

BIOLOGISK FOSFORAVSKILJNING

Att rena bort fosfor ur avloppsvatten med så liten kemikalieförbrukning som möjligt är målet för de anläggningar som använder biologisk fosforavskiljning (Bio-P) i stället för eller som ett komplement till kemisk fällning.

En grundförutsättning för att Bio-P-processen ska fungera är att det finns lättnedbrytbart kol. I vårt klimat är kolet i inkommande avloppsvatten oftast inte tillräckligt lättnedbrytbart, men kan omvandlas genom så kallad hydrolys. Driftserfarenheter från svenska avloppsreningsverk som använder sidoströmshydrolys för Bio-P och intern kolproduktion har sammanställts samtidigt som riktlinjer för dimensionering, drift och uppföljning tagits fram. Detta användes sedan inom ett examensarbete om Bio-P-funktionen på Västra Strandens avloppsreningsverk, Laholmsbukts VA (LBVA), där förslag till driftförändringar för optimerad drift togs fram.

Bio-P ger förutsättningar för att återvinna fosfor i en ren fraktion, så kallad struvit, vilket kommer att studeras inom det nystartade femåriga LIWE LIFE-projektet då Lidköpings kommun bygger sitt nya avloppsreningsverk. Livscykelanalys kommer att användas för att sätta Bio-P-processen i ett större sammanhang där sidoströmshydrolys, fosforåtervinning och skärpta utsläppskrav är väsentliga byggstenar.

Bio-P-nätverk för erfarenhetsutbyte

Årligen anordnas nätverksträffar med seminarier för kommuner med intresse för Bio-P och gemensamma projekt initieras. Bio-P-nätverket startades år 2000 med stöd från Svenskt Vatten och ett antal svenska kommuner, men drivs nu av VA-teknik Södra.

LÄSTIPS:

- Eriksson, A. (2018). Optimering av bio-P-processen vid Västra stranden avloppsreningsverk i Halmstad, examensarbete, Inst. för kemiteknik, LTH.
- Salmonsson, T. m.fl. (2017). Sidoströmshydrolys och biologisk fosforavskiljning på svenska avloppsreningsverk, *SVU*, 2017-06.

SEPARATION AV PARTIKLAR – kan vi rena avloppsvatten utan biologi och vad finns i partiklarna som lämnar avloppsreningsverket?

Slutsedimenteringsbassänger i Källby avloppsreningsverk (foto: Per Lindh).



Avloppsvattenrening går i mångt och mycket ut på att överföra lösta föroreningar och små partiklar till större partiklar som sedan kan tas bort från vattnet. En effektiv avskiljning av partiklar är därför avgörande för lyckad rening, speciellt när kraven blir allt strängare.

Effektiv partikelavskiljning

Janne Väänänen har i sin avhandling visat att mikrosilning som kombineras med kemisk förbehandling kan ge stabila utgående fosforhalter på < 0,1 mg/l om man utformar kemikalietillsats och kontrollstrategi rätt. Mikrosilning kan också användas för att styra fördelningen av exempelvis kol så att maximal mängd kan användas till gasproduktion samtidigt som man säkerställer koltillgången för de biologiska processerna. Väänänen utformade en styrstrategi med vilken det gick att uppnå en stabil COD-nivå i förbehandlat vatten oberoende av inkommande COD-halt och flödesvariationer. Oavsett om det gäller för- eller efterbehandling är tillsatsen av polymer avgörande för ett bra resultat och samma typ visade sig vara effektiv i båda fallen.

Rening helt utan biologi

Biologisk rening och konventionell separation med sedimentering kräver stora ytor. Tobias Hey har i sin avhandling konstaterat att det är möjligt att uppnå utsläppsvillkoren för små och medelstora avloppsreningsverk utan biologiska processer, det vill säga med en kombination av mikrosilning och membranprocesser. Det gick att uppnå mer än 96 % avskiljning av BOD och mer än 99 % för fosfor, samtidigt som det beräknade ytbehovet var minst 73 % mindre. På kvävesidan avskildes dock endast upp till 65 %. Vid jämförelse med 105 svenska avloppsreningsverk i storleksintervallet 1 500–10 000 PE var det specifika energibehovet 30 % lägre. Resultaten indikerar dessutom att rening helt utan biologi har positiva effekter på biogasproduktionen varför ytterligare energivinst kan förväntas.

Karaktärisering av organiska ämnen i avloppsvatten

Organiska ämnen i avloppsvatten mäts vanligtvis med parametrarna BOD₇, COD, och TOC, som ger övergripande information om den totala koncentrationen av ämnen. I projektet *Karaktärisering av organiska ämnen i avloppsvatten* undersöktes flera optiska metoder som i vissa fall skulle kunna ge mer specifik information om ämnens sammansättning. Hittills har korrelationen mellan de traditionella parametrarna och mätningar gjorda med fluorometri, spektrofotometri och kromatografi undersökts. Resultaten visar möjligheter att använda dessa mätmetoder för realtidsmätning av löst organiskt material i vissa processflöden.

Prosit – analys av virusliknande partiklar

Det är känt att bakteriefager, virus som angriper bakterier, finns i höga koncentrationer i aktivslamprocessen. Det är dock okänt i vilken utsträckning de påverkar processen och om de bidrar till koncentrationen organiskt kol i utgående vatten. I projektet *Prosit – analys av virusliknande partiklar* undersöktes koncentrationen virusliknande partiklar i utgående vatten från fyra avloppsreningsverk. Koncentrationen virusliknande partiklar hade en linjär korrelation med koncentrationen organiskt kol i vattnet och partiklarna själva utgjorde cirka 20 % av det organiska kolet. Resultaten visar att virus kan vara en viktig parameter som påverkar processen.

LÄSTIPS:

- Hey, T. (2016). *Municipal wastewater treatment by microsieving, microfiltration and forward osmosis: Concepts and potentials*. Doctoral dissertation, Lund University.
- Väänänen, J. (2017). *Microsieving in municipal waste water treatment – Chemically enhanced primary and tertiary treatment*. Doctoral dissertation, Lund University.

TILLSKOTTSVATTEN OCH BRÄDDNING – viktiga avvikelser i vattnets urbana kretslopp

I ett idealt avloppssystem transporteras spillvatten i perfekta ledningar till ett perfekt reningsverk där allt spillvatten renas. I praktiken läcker ledningar och reningsverk presterar inte på topp varje dag. Det uppstår bräddningar av avloppsvatten och reningen försämras, vilket orsakar övergödning och ibland smittspridning. Att förstå och åtgärda tillskottsvatten och bräddning handlar om att systematisera och prioritera bland avvikelser och anomalier.

I samverkan med Grön Nano och Luleå universitet utvärderades avloppsvattenprov tagna från olika tillloppstunnlar till Ryaverket i Göteborg under nederbördsrika perioder. Genom att relatera metallhalter till fosfor och kväve kunde man, med kännedom om spillvattnets sammansättning, uppskatta såväl avloppsvattnets utspädningsgrad som metallhalten i tillskottsvattnet. Detta ger en möjlighet att med enkla vattenprover få ett stöd i beslut om vilket tillskottsvatten som borde åtgärdas och vilken rening som eventuellt behövs för att kunna avleda det på annat sätt.

På Chalmers gjordes också en kartläggning av sammansättningen på potentiella tillskottsvatten i form av dag- och grundvatten samt vatten från flera åar, en kanal, havet och Göta älv i Göteborg. Metaller samt närsalter och organiskt material analyserades. Detta gav en kvantifiering av vilka tillskottsvatten som mest bidrar till föroreningen av avloppsvattnet och slammet. Ett väl så viktigt syfte var också att bedöma vilka, om några, av dessa vatten som det eventuellt skulle finnas en miljönytta med att fortsatt avleda till ett kommunalt avloppsreningsverk. Det visade sig att inget av de vatten som provtogs innehöll så höga halter av närsalter att avledning till avloppsreningsverk skulle vara motiverat om syftet enbart vore att totalt sett minska mängden närsalter eller organiskt material till vattenmiljön.

Vid ett förändrat klimat med större nederbörds mängder, kan avloppsledningar i kustnära områden fyllas med havsvatten. Detta leder till ökade flöden in till avloppsreningsverket där den förhöjda salthalten kan påverka reningprocessen negativt. Inom ett examensarbete gjordes ett försök att kvantifiera inläckande havsvatten till ledningsnätet genom att

mäta konduktivitet på reningsverket. En empirisk modell togs fram som korrelerar flöden, havsvattennivåer och konduktivitet. Den framtagna modellen kan bidra till att kartlägga havsvatteninträngningar så att svaga punkter i ledningsnätet kan åtgärdas, men arbetet visade också att varierande salthalter och systematiska väderfenomen komplicerar analysen. Inga försämrade reningsresultat på grund av förhöjd konduktivitet kunde påvisas.

Future City Flow

En konstellation av VA-bolag och företag med DHI som centralfigur samarbetar inom det av Vinnova finansierade projektet Future City Flow, vilket föddes vid ett planeringsmöte inom VA-teknik Södra. I projektet utvecklas två användbara verktyg för att hantera avloppsflödena i samhället. Det ena är ett beslutsstödsystem som ska hjälpa stadens olika aktörer att förstå hur just deras projekt och anläggningar kan förbättra vattenflödena i staden och bidra till att minska bräddningar och förbättra avloppsvattenreningen. Det andra verktyget är ett paket av styrstrategier för att dynamiskt hantera flödena i det ännu inte perfekta ledningsnätet så bra som möjligt, bland annat genom att minimera bräddningar och brädda det som måste bräddas i den lämpligaste utsläppspunkten. Fallstudierna som bygger upp systemen kommer från de medverkande kommunerna, vilka får värdefulla insikter i sina system samtidigt som de är med och bygger upp system som förhoppningsvis kommer många kommuner i Sverige och världen till del.



Inom Future City Flow utvecklas ett verktyg för att hjälpa stadens aktörer att bedöma vilka tillskottsvattenåtgärder som ger bäst valuta för insatsen (foto: Ann Mattsson).

HÅLLBAR DAGVATTENHANTERING – nyckeln till framgång i det urbana vattenpusslet

Hållbar dagvattenhantering är en förutsättning för skyfallshandling och en klimatsäker framtid samt för att minska tillskottsvattenmängderna i avloppssystemet och bräddningen. I våra allt tätare urbana miljöer måste platsen som behövs för vattnet motiveras väl. Det urbana vattenpusslet blir lättare att lägga och bibehålla om vattnet både upplevs som positivt och kvaliteten är rätt. Det behövs robusta lösningar för rening, avledning och fördröjning som också uppskattas i samhället.

Hur transporteras organiska föroreningar i dagvatten?

Trots att många organiska föroreningar som påträffas i dagvatten är hydrofoba och alltså borde binda till partiklar, påträffas dessa ämnen även i löst fas och bundna till kolloider i dagvatten. Forskning vid Chalmers tyder även på att höga halter organiska föroreningar, diesel och kolloider kan leda till att mycket små partiklar och/eller emulsioner bildas vid hög turbulens, vilket exempelvis kan uppstå i dagvatten på en vägyta.

Passiv provtagning visar på förekomst av lösta PAH i dagvatten.

Passiv provtagning av organiska ämnen med så kallade semi-permeabla membran kräver mindre arbetsinsats än den vanliga metoden med automatiska provtagare, men kan däremot bara mäta lösta föroreningar. Metoden har testats i Järnbrottsdammen i Göteborg och visar att halten lösta polycykliska aromatiska kolväten (PAH), det vill säga de biologiskt tillgängliga PAH, i vissa fall inte minskar i dammen, utan transporteras ut till recipienten.

Sorptionsfilter av billiga material är effektiva för att rena dagvatten.

I en pilotanläggning har tre olika sorptionsmaterial – aktivt kol, torv och tallbark – utvärderats under drygt 18 månader med avseende på förmågan att reducera lösta organiska föroreningar. Alla testade material är effektiva för att förbättra dagvattenkvaliteten; utgående halter PAH och bränslerelaterade kolväten var generellt låga.

Kan man använda regelbunden gatusopning som en åtgärd för att reducera föroreningar på vägytor?

Trafik är en stor källa till föroreningar och partiklar bär ofta höga halter föroreningar i dagvatten, därför bör gatusopning vara effektivt för att höja kvaliteten på vägvirning. Till stor del stämmer detta, även om många små partiklar, som bär på förhållandevis höga halter föroreningar, kan finnas kvar på vägytan efter sopning. Projektet har dock tydligt visat att det krävs åtgärder för att rena vägdamm och det vatten som bildas i gatusopningsmaskinen innan materialet deponeras, eftersom materialen kan vara kraftigt förorenade.

Ytliga dagvattenlösningar i ett bostadsområde ger mervärden och minimerar tillförseln av tillskottsvatten till det kombinerade systemet. I Augustenborg i Malmö är vattenhanteringen sedan flera år integrerad i varje del av närområdet. I Salar Haghighatafshars doktorandprojekt (LTH) har vattenhanteringen modellerats i detalj och kalibrerats mot uppmätta flöden. Såväl modell som verklighet visar att den ytliga dagvattenhanteringen är en effektiv metod för att minska effekterna av dagvattenflödet till det kombinerade systemet, men att placeringen både av individuella lösningar och hela områden av lösningar är avgörande för effekten.

Om dagvattenlösningarna är estetiskt tilltalande blir de accepterade och självklara delar av det urbana vattenpusslet. I Misagh Mottaghis doktorandprojekt (LTH) har boende i Augustenborg intervjuats om sin syn på de ytliga dagvattenlösningarna och de har också fått berätta hur de använder och upplever dessa i sin vardag. De fick även värdesätta ytliga dagvattenlösningarna i ekonomiska termer, genom att skatta hur mycket de skulle vara villiga att betala för dem.

LÄSTIPS:

- Alenius, F. and Hermansson, A. (2016). *Sorption Filter Columns to Remove Colloidal and Dissolved Pollutants from Stormwater*. Master's Thesis, Chalmers tekniska högskola.
- Bechter, I. (2018). *Organic pollutants in stormwater ponds: Assessment of removal efficiency and monitoring methods*. Master's Thesis, Chalmers tekniska högskola.
- Berndtsson, R., Becker, P., Persson, A., Aspegren, H., Haghighatafshar, S., Jönsson, K., Larsson, R., Mobini, S., Mottaghi, M., Nilsson, J., Nordström, J., Pilesjö, P., Scholz, M., Sternudd, C., Sörensen, J., Tussupova, K. (2019). Drivers of changing urban flood risk: a framework for action, *Journal of Environmental Management*, 240, pp. 47-56.
- Haghighatafshar, S., Nordlöf, B., Roldin, M., Gustafsson, L.-G., la Cour Jansen, J., Jönsson, K. (2018). Efficiency of blue-green stormwater retrofits for flood mitigation? Conclusions drawn from a case study in Malmö, Sweden. *Journal of Environmental Management*, Vol. 207, pp. 60-69, Elsevier.
- Haghighatafshar, S., la Cour Jansen, J., Aspegren, H., and Jönsson, K. (2018). Conceptualization and schematization of mesoscale sustainable drainage systems: a full-scale case study. *Water* 10(8), 1041.
- Haghighatafshar, S. (2019). A physically based model for mesoscale SuDS – an alternative to large-scale urban drainage simulations. *Journal of Environmental Management*, vol. 240, p 527–536.
- Markiewicz, A., Björklund, K., Strömvall, A.-M. (2017). A pilot study of sorption filters to remove non-particulate organic pollutants in stormwater. *Proceedings of the 14th International Conference on Urban Drainage*, Prague, Czech Republic.
- Polukarova, M. (2018). *Street Sweeping to Reduce Organic Pollutants Sorbed to Small Particles*. Master's Thesis, Chalmers tekniska högskola.

PRAKTISKA TILLÄMPNINGAR

Ozonering för filamentbekämpning och energioptimering av luftare är två praktiska tillämpningar av den forskning som har bedrivits och fortsatt bedrivs inom VA-området.

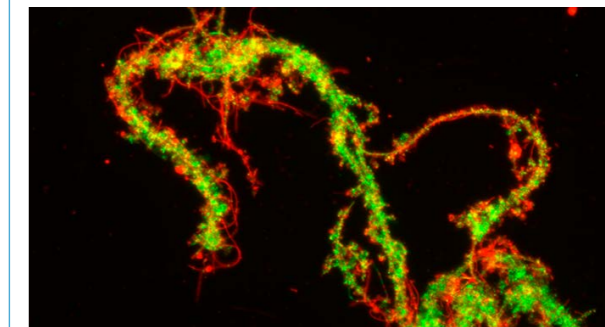
Ozonering för filamentbekämpning på avloppsreningsverk

Filip Nilsson har i sin avhandling utfört fullskalestudier på två avloppsreningsverk och visat att ozon som doseras till returslamflödet är effektivt för filamentbekämpning. Sedimenteringshastigheten ökade tydligt (sänkning av SVI från ca 200 till en nivå kring 100 ml/g inom två till sex veckor, beroende på hur mycket ozon som tillsattes) samtidigt som problemen med ackumulering av flytslam i biosteget försvann. Detaljerade mikrobiologiska studier med Live/Dead®-metoden tydliggjorde att filament som sticker ut från slamflockarna påverkades betydligt mer av ozonet än bakterierna som sitter skyddade inne i flocken. De nödvändiga biologiska processerna på verken visade sig inte bli negativt påverkade av ozonbehandlingen.

Energioptimering av luftare

Luftning står oftast för den största energianvändningen på avloppsreningsverk och om denna kan effektiviseras är stora vinster att vänta. I ett projekt som leds av David Gustavsson på Sweden Water Research möts VA-Sveriges främsta experter inom luftning och drift- och processingen-

jörer och -tekniker samt projektledare för att tillsammans arbeta fram riktlinjer för design, drift, underhåll och upphandling av luftningsutrustning på svenska reningsverk. Projektet avslutas under 2019 med ett öppet seminarium och/eller utbildning.



Filament som sticker ut från flocken är känsliga för ozon. Live/Dead®-metoden – levande bakterier är gröna och döda är röda (foto: Simon Bengtsson).

LÄSTIPS:

- Nilsson, F. (2017). *Application of ozone in wastewater treatment. Oxidation of pharmaceuticals and filamentous bulking sludge*. Doctoral dissertation, Lund University.

GRUNDFORSKNINGSPROJEKT

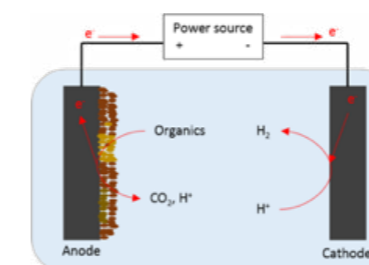
Traditionella avloppsreningsprocesser kräver stora energimängder. Ur uthållighetsperspektiv är därför utvecklingen av nya tekniker som kräver mindre energi eller produktion av förnybar energi intressant.

Mikrobiell elektrokemi, inom vilket Soroush Saheb Alam (Göteborgs universitet) disputerade 2018, har många potentiella applikationer, bland annat för resursutvinning från avloppsvatten. I mikrobiella elektrokemiska processer kan levande mikroorganismer fungera som katalysatorer för diverse reaktioner. Organiska ämnen kan till exempel brytas ner och producera elektrisk ström i ett system med en bioanod och i system med biokatoder kan exempelvis koldioxid reduceras till metan, acetat eller andra värdefulla ämnen. I ett VR-finansierat doktorandprojekt vid Chalmers, Mikrobiell elektrolyse – undersökning av fundamentala

respiratoriska processer, undersöktes de mikrobiella samhällen som anrikas på elektroder i bioelektrokemiska system. Här fokuserades speciellt på katoder som producerar vätegas och metangas från elektricitet. Potentiell applikation är till exempel i anaerob rötning där mikrobiell elektrokemiska system skulle kunna användas för att göra processen mer effektiv, öka andelen metan i biogas, eller lagra förnybar elektricitet.

I ett Formas-finansierat projekt vid Chalmers, studerades adsorption till aktivt slam, som är en viktig process för avskiljning av organiskt material i avloppsvattenrening. Genom att adsorbiera organiskt material till det aktiva slammet kan energi sparas genom mindre luftningsbehov. I det här projektet gjordes en litteratursammanställning av de mekanismer som bidrar till icke-oxiderande avskiljning av organiska ämnen. Här visades också processkonfigurationer som kan användas för att utnyttja dessa mekanismer i reningsverken. I laboratorieförsök etablerades kinetiska samband för sorption av olika organiska fraktioner i aktivslam.

Illustration av en mikrobiell elektrokemisk cell (Illustration: Oskar Modin).



AVHANDLINGAR

2018

Saheb Alam, S. (2018). *A long journey from bioanode to biocathode – Effects of storage, starvation, and potential changes on biological electrodes*. Doctoral dissertation, Chalmers University of Technology, Gothenburg.

2017

Nilsson, F. (2017). *Application of ozone in wastewater treatment. Oxidation of pharmaceuticals and filamentous bulking sludge*. Doctoral dissertation, Lund University.

Suarez, C. (2017). *Sustainable removal of nitrogen in wastewater. A closer look to anammox bacteria*. University of Gothenburg.

Stenström, F. (2017). *Risk of nitrous oxide emissions and potential of bioaugmentation when treating digester supernatant via nitrification-denitrification*. Doctoral dissertation, Lund University.

Szabó, E. (2017). *Composition and dynamics of the bacterial granular sludge reactor*. Doctoral dissertation, Chalmers University of Technology, Gothenburg.

Liébana García, R. (2017). *Microbial community assembly during aerobic granulation*. Licentiate thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg.

Väänänen, J. (2017). *Microsieving in municipal waste water treatment – Chemically enhanced primary and tertiary treatment*. Doctoral dissertation, Lund University.

Kjerstadius, H. (2017). *Enhancing anaerobic digestion in urban wastewater management*. Doctoral dissertation, Lund University.

2016

Hey, T. (2016). *Municipal wastewater treatment by microsieving, microfiltration and forward osmosis: Concepts and potentials*. Doctoral dissertation, Lund University.

Piculell, M. (2016). *New Dimensions of Moving Bed Biofilm Carriers: Influence of biofilm thickness and control possibilities*. Doctoral dissertation, Lund University.

Saheb Alam, S. (2016). *Acetate formation and oxidation on microbial electrodes*. Licentiate thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg.

2015

Nilsson, F. (2015). *Application of Ozone in Wastewater Treatment – For Mitigation of Filamentous Bulking Sludge & Reduction of Pharmaceutical Discharge*. Licentiate thesis, Lund University.

Dominguez Benetton, X., Varia, J. C., Pozo, G., Modin, O., ter-Heijne, A., Fransaer, J., Rabaey, K. (2018) Metal recovery by microbial electro-metallurgy. *Progress in Materials Science*. 94, 435–461.

Hydrodynamic modelling of the influence of stormwater and combined sewer overflows on receiving water quality: Benzo(a)pyrene and copper risks to recreational water. Projektet är ett samarbete mellan Vatten Miljö Teknik, Chalmers (Karin Björklund, Mia Bondelind och Ekaterina Sokolova), Tyréns AB (Anna Karlsson) och Kretslopp och vatten, Göteborgs Stad (Dick Karlsson). *Journal of Environmental Management*, 2018, Volume 207, Pages 32-42.

Liébana, R., Modin, O., Persson, F. and Wilén, B.-M. (2018) Integration of aerobic granular sludge and membrane bioreactors for wastewater treatment. *Critical Reviews in Biotechnology*, 1-16.

Haghighatafshar, S., Nordlöf, B., Roldin, M., Gustafsson, L.-G., la Cour Jansen, J., Jönsson, K. (2018) Efficiency of blue-green stormwater retrofits for flood mitigation – Conclusions drawn from a case study in Malmö, Sweden. *Journal of Environmental Management*, Vol. 207, pp 60–69, Elsevier, 2018.

Hey, T., Bajraktari, N., Davidsson, Å., Vogel, J., Madsen, H., Hélix-Nielsen, C., la Cour Jansen, J., Jönsson, K. (2017) Evaluation of direct membrane filtration and direct forward osmosis as concepts for compact and energy-positive municipal wastewater treatment. *Environmental Technology*, Vol. 39, No. 3, pp. 264-276, Selper Ltd, 2018.

Liébana, R., Modin, O., Persson, F., Wilén, B.-M. (2018). Integration of aerobic granular sludge and membrane bioreactors for wastewater treatment. *Critical Reviews in Biotechnology*, 38(6), p 801-816.

Saheb-Alam, S., Singh, A., Hermansson, M., Persson, F., Schnürer, A., Wilén, B.-M., Modin, O. (2018) Effect of start-up strategies and electrode materials on carbon dioxide reduction on bio-cathodes. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(4), e02242-17.

Modin, O. (2018). A mathematical model of aerobic methane oxidation coupled to denitrification. *Environmental Technology*, 39(9), 1217–1225. (Published: 2017-05-11)

2017

Stenström, F. and Jansen, J. la Cour. (2017) Impact on nitrifiers of full-scale bioaugmentation. *Water Science & Technology*, Vol 76 (11) pp 3079-3085.

Nilsson, F., Ekblad, M., la Cour Jansen, J., Jönsson, K. (2017) Removal of pharmaceuticals with ozone at 10 Swedish wastewater treatment plants. *Water Practice & Technology*, Vol. 12, No. 4, pp. 871–881, IWA Publishing, 2017.

Davidsson, Å., Bernstad Saraiva, A., Magnusson, N., Bissmont, M. (2017) Technical evaluation of a tank-connected food waste disposer system for biogas production and nutrient recovery, *Waste Management*, Elsevier, 2017.

El-taliawy, H., Ekblad, M., Nilsson, F., Hagman, H., Paxeus, N., Jönsson, K., Cimbritz, M., la Cour Jansen, J., Bester, K. (2017) Ozonation efficiency in removing organic micro pollutants from wastewater with respect to hydraulic loading rates and different wastewaters, *Chemical Engineering Journal*, Vol. 325, pp. 310-321, Elsevier, 2017.

Hey, T., Väänänen, J., Heinen, N., la Cour Jansen, J., Jönsson, K. (2017) Potential of combining mechanical and physicochemical municipal wastewater pre-treatment with direct membrane filtration, *Environ-*

mental Technology, Vol. 38, No. 1, pp. 108-115, Selper Ltd, 2017.

Kjerstadius, H., Bernstad Saraiva, A., Spångberg, J., Davidsson, Å. (2017) Carbon footprint of urban source separation for nutrient recovery, *Journal of Environmental Management*, Vol. 197, pp. 250-257, Academic Press, 2017.

Väänänen, J., Memet, S., Gunther, T., Lilja, M., Cimbritz, M., la Cour Jansen, J. (2017) Automatic control of the effluent turbidity from a chemically enhanced primary treatment with microsieving, *Water Science and Technology*, Vol. 76, No. 7, pp. 1770-1780, IWA Publishing, 2017.

Nilsson, F., m.fl. (2017) Removal of pharmaceuticals with ozone at 10 Swedish wastewater treatment plants. *Water Practice and Technology*. Reference No: WPT-17-137.

Szabó, E., Liébana, R., Hermansson, M., Modin, O., Persson, F., Wilén, B.-M. (2017) Comparison of the bacterial community composition in the granular and the suspended phase of sequencing batch reactors. *AMB Express*, 7(1), 168.

Modin, O., Fuad, N., Rauch, S. (2017) Microbial electrochemical recovery of zinc. *Electrochimica Acta* 248, 58-63.

El-taliawy, H., Ekblad, M., Nilsson, F., Hagman, M., Paxeus, N., Jönsson, K., Cimbritz, M., la Cour Jansen, J., Bester, K. (2017) Ozonation efficiency in removing organic micro pollutants from wastewater with respect to hydraulic loading rates and different wastewaters. *Chemical Engineering Journal* 325. p.310-321.

Kjerstadius, H., Bernstad Saraiva, A., Spångberg, J., Davidsson, Å. (2017) Carbon footprint of urban source separation for nutrient recovery. *Journal of Environmental Management*, 197, s.250-257.

Hey, T., Bajraktari, N., Davidsson, Å., Vogel, J., Tækker Madsen, H., Hélix-Nielsen, C., la Cour Jansen, J., Jönsson, K. (2017) Evaluation of direct membrane filtration and direct forward osmosis as concepts for compact and energy-positive municipal wastewater treatment. *Environmental Technology* (online).

Szabó, E., Liébana, R., Modin, O., Persson, P. and Wilén, B.-M. (2017) Microbial population dynamics and ecosystem functions of anoxic/aerobic granular sludge in sequencing batch reactors operated at different organic loading rates. *Frontiers in Microbiology*, 8(770), 1–14.

Cossio, C., McConville, J., Rauch, S., Wilén, B.-M., Dalahmeh, S., Mercado, A., Romero, A.M. (2017). Wastewater management in small towns – Understanding the failure of small treatment plants in Bolivia. *Environmental Technology*, 39(11), 1393-1403.

Modin, O., Aulenta, F. (2017). Three promising applications of microbial electrochemistry for the water sector. *Environmental Science: Water Research & Technology* 3, 391–402.

Skambraks, A.-K., Kjerstadius, H., Meier, M., Davidsson, Å., Wuttke, M., Giese, T. (2017) Source separation sewage systems as a trend in urban wastewater management: Drivers for the implementation of pilot areas in Northern Europe. *Sustainable Cities and Society*, vol. 28, pp. 287-296.

Persson, F., Suarez, C., Hermansson, M., Plaza, E., Sultana, R., Wilén, B.-M. (2017). Community structure of partial nitrification-anammox biofilms at decreasing substrate concentrations and low temperatures. *Microbial Biotechnology*, 10(4): 761–772 (published online 2016).

PUBLIKATIONER

2018

Haghighatafshar, S., Nilsson, F., Väänänen, J., Hagman, M., Hey, G., Bollmann, U. E., Bester, K., Jönsson, K. (2018). Microsieving coupled with O₃ or ClO₂ for treatment and disinfection of combined sewer overflows. *Journal of Water Management & Research (VATTEN)*, pp. 74(3).

Hägg, K., Cimbritz, M., Persson, K.M. (2018). Combining Chemical Flocculation and Disc Filtration with Managed Aquifer Recharge. *Water*, Vol 10, Issue 12.

Achermann, S., Falås, P., Joss, A., Mansfeldt, C.B., Men, Y., Vogler, B., Fenner, K. (2018). Trends in micropollutant biotransformation along a solids retention time gradient. *Environmental Science & Technology* 52(20), 11601-11611.

Bondelind, M., Nguyen, A., Sokolova, E., Björklund, K. (2018). Transport of Traffic-Related Microplastic Particles in Receiving Water. In: Mannina, G. (eds) *New Trends in Urban Drainage Modelling*. UDM 2018. *Green Energy and Technology*. Springer, Cham.

Haghighatafshar, S., la Cour Jansen, J., Aspegren, H., and Jönsson, K. (2018) Conceptualization and Schematization of Mesoscale Sustainable Drainage Systems: A Full-Scale Study, *Water*, 10, No. 8, MDPI AG.

Falås, P., Jewell, K., Hermes, N., Wick, A., Ternes, T., Joss, A., Nielsen, J., (2018). Transformation, CO₂ formation and uptake of four organic micropollutants by carrier-attached microorganisms, *Water Research*, 141, pp. 405–416, Elsevier.

Nilsson, F., Davidsson, Å., Falås, P., Bengtsson, S., Bester, K., Jönsson, K. (2018) Impact of activated sludge ozonation on filamentous bacteria viability and possible added benefits. *Environmental Technology*, Selper Ltd, 2018.

Bengtsson, S., De Blois, M., Wilén, B.-M., Gustavsson, D. (2018) Treatment of municipal wastewater with aerobic granular sludge. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Vol 48, 2018 – Issue 2.

Bengtsson, S., De Blois, M., Wilén, B.-M., and Gustavsson, D. (2018) A comparison of aerobic granular sludge with conventional and compact biological treatment technologies. *Accepted for publication in Environmental Technology*.

Cossio, C., McConville, J., Rauch, S., Wilén, -M., Dalahmeh, S., Mercado, A., and Romero, A.M. (2018) Wastewater management in small towns – Understanding the failure of small treatment plants in Bolivia. *Environmental Technology*, 39, 1393-1403.

Hellegren, I., Rauch, S., Cossio, C., Landaete, G., and McConville, J. (2018) Importance of triggers and veto-barriers for the implementation of pour-flush toilets in informal peri-urban settlements – the case of Cochabamba, Bolivia. *PLoS One*, e0193613.

Sun, Z., Brittain, J.E., Sokolova, E., Thygesen, H., Saltveit, S.J., Rauch, S., and Meland S. (2018) Aquatic biodiversity in sedimentation ponds receiving road runoff – What are the key drivers? *Science of the Total Environment*, 610–611, 1527-1535.

Karačić, S., Wilén, B.-M., Suarez, C., Hagelia, P., Persson, F. (2018). Sub-sea tunnelreinforced sprayed concrete subjected to deterioration harbours distinct microbial communities. *Biofouling*, 34(10), 1161-1174.

Wilén, B.-M., Liébana, R., Persson, P., Modin, O., Hermansson, M. (2018). The mechanisms of granulation of activated sludge in wastewater treatment, its optimization and impact on effluent quality. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(12), 5005–5020.

2016

Haghighatafshar, S., Wilén, B.-M., Thunberg, A., Hagman, M., Nyberg, A., Grundestam, J., Mases, M., la Cour Jansen, J. (2016) Laboratory-scale assessment of vacuum-degassed activated sludge for improved settling properties. *Environmental Technology* (online).

Tobias, H., Bajraktari, N., Vogel, J., Hélix Nielsen, C., la Cour Jansen, J., Jönsson, K. (2016) The effects of physicochemical wastewater treatment operations on forward osmosis. *Environmental Technology*.

Väänänen, J., Cimbritz, M., la Cour Jansen, J. (2016) Microsieving in primary treatment: effect of chemical dosing. *Water Science & Technology*, 74 (2), pp. 438-447.

Wilén, B.-M., Cimbritz, M., Pettersson, T. Jr., Mattsson, A. (2016) Large scale tertiary filtration – results and experiences from the discfilter plant at the Rya WWTP in Sweden. *Water Practice & Technology*, vol. 11(3), pp. 547-555.

Kjerstadius, H., de Vrieze, J., la Cour Jansen, J., Davidsson, Å. (2016) Detection of acidification limit in anaerobic membrane bioreactors at ambient temperature. *Water Research*, vol. 106, pp. 429-438.

Picullell, M., Suarez, C., Li, C., Christensson, M., Persson, F., Wagner, M., Hermansson, M., Jönsson, K., Welander, T. (2016) The inhibitory effects of reject water on nitrifying populations grown at different biofilm thickness. *Water Research*, 104, 292-302.

Sörensen, J., Persson, A., Sternudd, C., Aspegren, H., Nilsson, J., Nordström, J., Jönsson, K., Mottaghi, M., Becker, P., Pilesjö, P., Larsson, R., Berndtsson, R., Mobini, S. (2016) Re-Thinking Urban Flood Management – Time for a Regime Shift. *Water8(8)*, 332.

Hey, T., Väänänen, J., Heinen, N., la Cour Jansen, J., Jönsson, K. (2016) Potential of combining mechanical and physicochemical municipal wastewater pre-treatment with direct membrane filtration. *Environmental Technology* 38 (1), 108-115.

Kängsepp, P., Väänänen, J., Örnin, K., Sjölin, M., Olsson, P., Rönnberg, J., Wallebäck, F., Cimbritz, M., Pellicer-Nächer, C. (2016) Performance and operating experiences of the first Scandinavian full-scale Discfilter installation for tertiary phosphorus polishing with preceding coagulation and flocculation. *Water Practice and Technology*, 11(2), 459-468.

Picullell, M., Christensson, M., Jönsson, K., & Welander, T. (2016). Partial nitrification in MBBRs for mainstream deammonification with thin biofilms and alternating feed supply. *Water Science & Technology*, 73(6), 1253–1260.

Picullell, M., Welander, P., Jönsson, K., & Welander, T. (2016). Evaluating the Effect of Biofilm Thickness on Nitrification in Moving Bed Biofilm Reactors. *Environmental Technology*, 37(6), 732–743.

Lindblom, E., Arnell, M., Flores-Alsina, X., Stenström, F., Gustavsson, D., Yang, J., Jeppsson, U. (2016) Dynamic modelling of nitrous oxide emissions from three Swedish sludge liquor treatment systems. *Water Science and Technology*, 73(4); 798-806.

Bernstad Saraiva Schott, A., Wenzel, H., la Cour Jansen, J. (2016) Identification of decisive factors for greenhouse gas emissions in comparative life cycle assessments of food waste management – an analytical review. *Journal of Cleaner Production*, 119; 13–24.

Mottaghi, M., Jönsson, K., Aspegren, H. (2016) Integrated urban design and open storm drainage in our urban environments. *Water Practice & Technology*, 11 (1); 118-126.

Modin, O., Persson, F., Wilén, B.-M., Hermansson, M. (2016). Non-oxidative removal of organics in the activated sludge process. *Critical reviews in Environmental Science and Technology*, 46(7): 635–672.

Szabo, E., Hermansson, M., Modin, O., Persson, F., Wilén, B.-M. (2016) Effects of Wash-Out Dynamics on Nitrifying Bacteria in Aerobic Granular Sludge During Start-Up at Gradually Decreased Settling Time. *MDPI Water*, 8(5).

Björklund, K. och Li, L. (2016) Sorption of DOM and hydrophobic organic compounds onto sewage-based activated carbon. *Water Science and Technology*, 74, 852-860.

2015

Bernstad Saraiva Schott, A., Andersson, T. (2015) Food waste minimization from a life-cycle perspective. *Journal of Environmental Management*, 147; 219-226.

Bernstad Saraiva Schott, A., Cánovas, A. (2015) Current practice, challenges and potential methodological improvements in environmental evaluations of food waste prevention – A discussion paper. *Resources, Conservation and Recycling*, 101; 132-142.

Haghighatafshar, S., Ossiansson, E., Koch, K., Kjerstadius, H., la Cour Jansen, J., Davidsson, Å. (2015) Modeling of anaerobic digestion with focus on estimation of hydrolysis constants at 35, 55, and 60°C. *Water Environment Research*, 87(7); 587-594.

Mottaghi, M., Aspegren, H., Jönsson, K. (2015) The necessity of re-thinking the way we plan our cities with the focus on Malmö. *The Journal of Water Management and Research (VATTEN)*, 71 (1); 37-44.

Kjerstadius, H., Haghighatafshar, S., Davidsson, Å. (2015) Potential for nutrient recovery and biogas production from blackwater, food waste and greywater in urban source control systems. *Environmental Technology*, 36 (13); 1707-1720.

Punzi, M., Nilsson, F., Anbalagana, A., Svensson, B.-M., Jönsson, K., Mattiasson, B., Jonstrup, M. (2015) Combined anaerobic-ozonation process for treatment of textile wastewater: Removal of acute toxicity and mutagenicity. *Journal of Hazardous Materials*, 292; 52–60.

Modin, O., Saheb Alam, S., Persson, F., Wilén, B.-M. (2015). Sorption and release of organics by primary, anaerobic, and aerobic activated sludge mixed with raw municipal wastewater. *PLoS ONE*, 10(3).

Nielsen, K., Kalmykova, Y., Strömvall, A.-M., Baun, A., Eriksson, E. (2015) Particle phase distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in stormwater – Using humic acid and iron nano-sized colloids as test particles. *Science of The Total Environment*, 532; 103-111.

Suarez, C., Persson, F., Hermansson, M. (2015) Predation of nitrification-anammox biofilms used for nitrogen removal from wastewater. *FEMS Microbiology Ecology*, 91(11).

Saheb Alam, S., Persson, F., Wilén, B.-M., Hermansson, M., Modin, O. (2015) Effects of storage on mixed-culture biological electrodes. *Scientific Reports* 5, article 18433 (online).

RAPPORTER VA-TEKNIK SÖDRA

