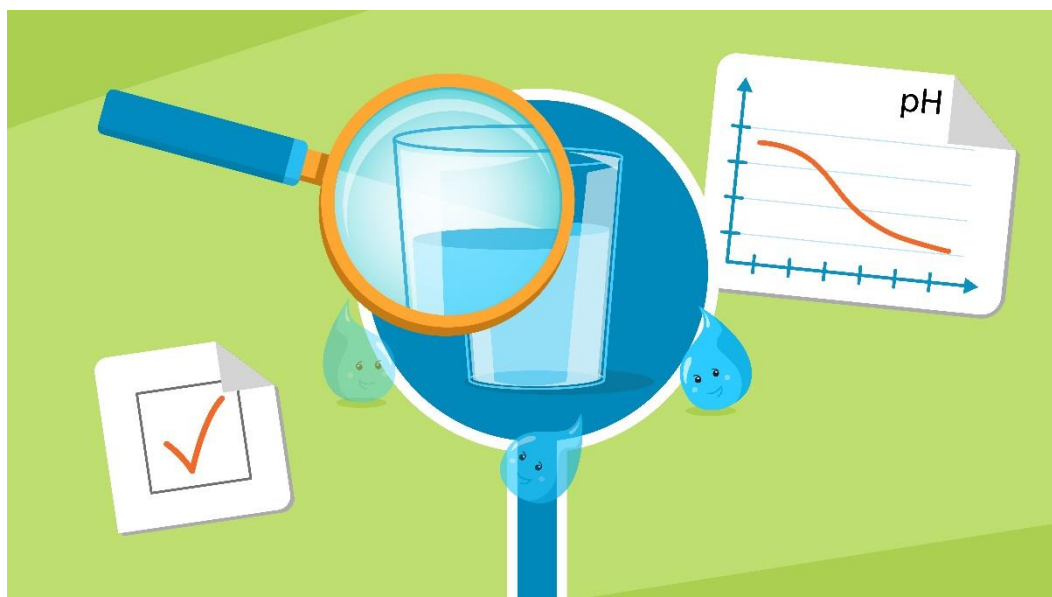


Verksamhetsberättelse för

”Projektprogram för FoU inom dricksvattenområdet i Sverige
– från råvatten till tappkran (DRICKS)”



DRICKS 2018



Innehållsförteckning

1.	Bakgrund	1
2.	Projektprogrammet DRICKS	2
2.1	DRICKS integrerade projektbeskrivning	2
2.2	Forskningsledare och forskarstuderande.....	3
2.3	Samverkan med branschen	4
2.4	Användning av Svenskt Vattens medel	4
3.	Forskningsresultat	6
3.1	Beslutsstöd för framtida utmaningar	6
3.2	Hållbar drift av distributionsnät för säker vattenkvalitet.....	9
3.3	Förekomst av kemiska ämnen och barriärverkan	11
3.4	Biofilter och mikrobiologiska barriärer	18
4.	Kommunikation och publicering	21
4.1	DRICKS seminarier	21
4.2	Vetenskaplig publicering, konferenser, möten	21
4.3	DRICKS hemsida och nyhetsbrev.....	22
5.	Undervisning kopplad till DRICKS	23
5.1	VA-kurser och kursutveckling.....	23
5.2	Examensarbeten.....	25
6.	Referenser	26
6.1	Vetenskapliga publikationer.....	26
6.2	Konferensartiklar och andra konferensbidrag	27
6.3	Doktors- och licentiatavhandlingar	30
6.4	Rapporter	31
6.5	Examensarbeten.....	31

1. Bakgrund

Svensk dricksvattenforskning minskade betydligt i omfattning under 1990-talet och början av 2000-talet på grund av minskade ekonomiska resurser för forskning och utveckling (FoU), vilket innebar att forskningsverksamheten vid landets högskolor i allmänhet, och vid Chalmers i synnerhet, i princip upphörde. Chalmers beslutade under 2002 att göra en satsning för en nystart av den historiskt framgångsrika dricksvattenforskningen och startade i slutet av 2003 DRICKS, *Projektprogram för FoU inom dricksvattenområdet i Sverige – från råvatten till tappkran*, med finansiering från Svenskt Vatten. Den första projektperioden löpte under fem år, och DRICKS har sedan dess finansierats i treårsperioder där innevarande period påbörjades 2018.

DRICKS övergripande målsättning är att den forskning som bedrivs i samverkan med branschen ska ge ökad kunskap och praktiskt tillämpbara resultat som bidrar till en tillförlitlig och säker dricksvattenförsörjning. Arbetet sker genom att i samverkan lösa aktuella och långsiktiga utmaningar i en inspirerande miljö som präglas av hög vetenskaplighet tillsammans med branschen – från råvatten till tappkran. Svenskt Vattens satsning på DRICKS har möjliggjort ett stort antal forskningsprojekt som möjliggjort denna typ av arbete och med finansiering från EU, forskningsråd, myndigheter, vattenproducenter, m.fl.

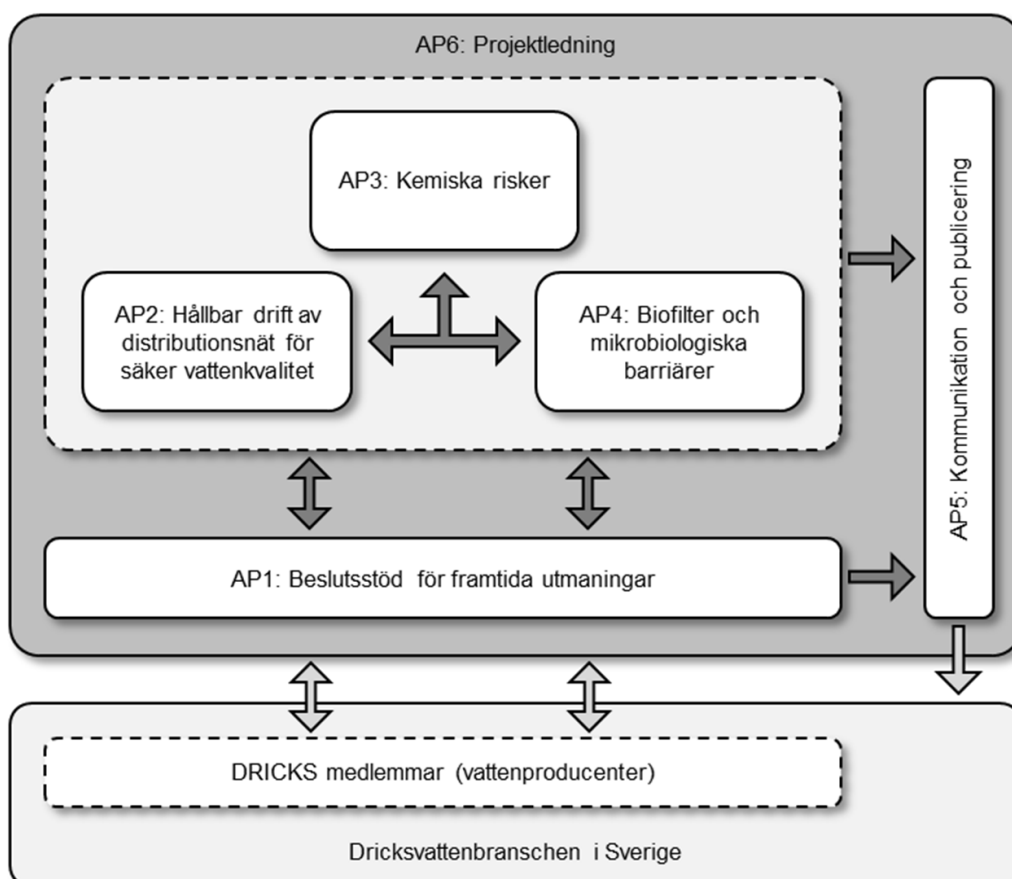
Dricksvattenbranschen i Sverige står inför en rad olika utmaningar idag och i framtiden. Hanteringen av åldrande system, effekter av klimatförändringarna, delvis nya föroreningar och spridningsvägar samt ändrade förutsättningar i form av vattenbehov m.m. är några exempel. För att på ett effektivt sätt hantera dessa utmaningar krävs ökad kunskap om såväl hur befintliga system kan drivas, optimeras och övervakas samt kunskap om hur möjliga åtgärder kan analyseras och prioriteras.

2. Projektprogrammet DRICKS

I detta avsnitt beskrivs hur DRICKS olika verksamheter binds ihop genom integrerade projektdelar, vilka finansörer som bidragit med finansiering och hur de övergripande arbetspaketen samverkar för att täcka de delområden som DRICKS i tidigare program delat in dricksvattenområdet i.

2.1 DRICKS integrerade projektbeskrivning

Inför ansökningsprocessen för innevarande programperiod genomfördes ett stort förankringsarbete tillsammans med dricksvattenbranschen. Arbetet inleddes med att DRICKS beredningsgrupp arbetade fram en lista över de viktigaste utmaningarna som dricksvattenbranschen ansågs stå inför, och förankrade listan hos DRICKS styrgrupp. I samband med det årliga DRICKS-internatet, där DRICKS samtliga forskare och medlemsorganisationer deltar, gjordes ytterligare prioriteringar vilket ledde fram till att flera konkreta projektförslag kunde presenteras. DRICKS ledningsgrupp bearbetade förslagen och arbetade fram ett förslag på fyra större forskningsprojekt (se Figur 1), och DRICKS beslut att detta interna förarbete skulle utgöra grunden i innevarande programperiod förankrades i en process med Svenskt Vattens fackkommittéer. Återkopplingen från kommittémedlemmarna var mycket positiv och de inspel och förslag på kompletteringar som erhöles har arbetats in i projektförslagen i DRICKS programperiod 2018-2020.



Figur 1 En schematisk skiss på arbetspaketen som utgör kärnan i DRICKS verksamhet.

De fyra arbetspaket som utgör kärnan i DRICKS verksamhet, dvs. forskningsprojekten som identifierats tillsammans med branschen, har följande titlar:

AP1 – Beslutsstöd för framtida utmaningar

AP2 – Hållbar drift av distributionsnät för säker vattenkvalitet

AP3 – Förekomst av kemiska ämnen och barriärverkan

AP4 – Biofilter och mikrobiologiska barriärer

Utöver dessa fyra arbetspaket ingår ytterligare två, Kommunikation och publicering (AP5) och Projektledning (AP6), som utgör stommen för projektledning, administration och kommunikation av DRICKS verksamhet och aktiviteter.

I Figur 1 illustreras relationen mellan de olika arbetspaketen. AP6 kan ses som ramen för allt arbete och AP5 innehåller bland annat strategier för hur de resultat och kunskap som arbetas fram på ett bra sätt kan spridas till branschen. AP2, 3 och 4 är fokuserade på att öka kunskapen om aktuella problem och analysera effekten av möjliga åtgärds- eller handlingsalternativ. Det finns en direkt koppling mellan dessa arbetspaket, exempelvis att samma del av systemet analyseras eller att samma kvalitetsparameter studeras. AP1 är fokuserat på att utveckla beslutstödsmodeller och ett viktigt underlag till detta arbete är resultaten från AP2-4. Genom att ha ett särskilt beslutstödsprojekt (AP1) där resultaten från övriga arbetspaket blir indata för att lättare att skapa en helhet som kan nyttiggöras av branschen.

2.2 Forskningsledare och forskarstuderande

Under innevarande programperiod har flera forskare och forskningsledare varit aktiva inom DRICKS, se Tabell 1. Vi har arbetat aktivt inom samtliga delområden *från källa till tappkran* men har även ökat samverkan med branschen genom större utbyte med medlemmar i projekt och fallstudier. Föreståndare för DRICKS är Thomas Pettersson och vice föreståndare är Andreas Lindhe.

Tabell 1 Kompetens som täcks via DRICKS (delområden samt forskningsledare och forskarstuderande) 2018.

Delområde	Forskare och forskarstuderande	Externa medverkande
Riskbedömning	Lars Rosén, Andreas Lindhe, Viktor Bergion, Karin Sjöstrand, Tommy Norberg, Lena Blom	Tore Söderqvist & Mats Ivarsson (Anthesis Envenco), Kaisa Sörén (SVA)
Kemiska hälsorisker	Karin Wiberg, Lutz Ahrens, Stephan Köhler	
Vattenresurser - Ytvatten	Thomas Pettersson, Ekaterina Sokolova, Viktor Bergion, Lena Blom, Karin Sjöstrand	Johan Åström (Tyréns) Åsa Sjöling (Karolinska)
Vattenresurser - Grundvatten	Lars-Ove Lång, Andreas Lindhe, Lars Rosén	Per-Olof Johansson (Artesia), Johan Åström (Tyréns)
NOM-karakterisering	Stephan Köhler, Dolly Kothawala, Kathleen Murphy, Claudia Cascone	Sofia Firpo Nilofar Åkerlund
Beredningsteknik	Mia Bondelind Kate Murphy, Nashita Moona, Mohanna Heibati, Stephan Köhler, Peter Rådström, Catherine J. Paul, Kristjan Pullerits	Linda Holmer (Norrvatten)
Mikrobiella ekosystemtjänster	Catherine J. Paul, Sandy Chan, Kristjan Pullerits,	Alexander Keucken (VIVAB), Kenneth M Persson (SWR),
Distribution	Thomas Pettersson, Viktor Vinas, Peter Rådström, Catherine J. Paul	Jonas Toljander (SLV), Melle Säve-Söderbergh (SLV)
Konsument	Mia Bondelind	Jonas Toljander (SLV)

2.3 Samverkan med branschen

Inom DRICKS har vi sedan starten 2003 haft ett nära och fruktsamt samarbete med dricksvattenbranschen och antalet fullständiga DRICKS-medlemmar år 2018 var 11 st. I denna senaste programperiod (2018-2020) har projektsamarbetet fokuserats i de fyra arbetspaketen där flera fallstudier påbörjats och ytterligare flera planeras. I programansökan var ett antal fallstudier formulerade och fler kommer att startas under programperioden.

Projektet "Mikrobiell ekosystemteknik för säker och högkvalitativt dricksvatten" med finansiering från VR och Sweden Water Research, har i nära samverkan med Kvarnagårdens vattenverk (VIVAB) och Ringsjöverket (Sydvatten) genererat praktisk erfarenhet hur man med rationell FCM-analys kan övervaka och optimera dricksvattenproduktionen på vattenverk med olika reningsprocesser och råvattenkvalitéer. Förutom den förfinade FCM-analysen har projektet tagit fram ny kunskap om biofilmer i långsamfilter och distributionssystem med hjälp av bl.a. taxonomisk sekvenseringsanalys. Projektet har i sin helhet föreställts och försvarats i samband med Sandy Chans disputation den 26 oktober 2018.

Tillsammans med Norrvatten och SLU studerar Lunds universitet beredningsprocesserna kemiskt och biologiskt med bl.a. FCM-analys. Målet är övervakning och beredningsoptimering av bl.a. snabbfilter och GAC. UV är en vanlig och effektiv mikrobiologisk säkerhetsbarriär som undersöks brett i DRICKS. Bildandet av UV-exponerade småmolekyler studeras i samverkan med NTNU med målet att undersöka mikrobiell återväxt samt identifiera fluorescensbaserade indikatorer. Under 2018 påbörjades också en UV-studie på Görvälnverket med mål att identifiera vilka mikroorganismer som avdödas med UV samt påvisa återväxtpotentialen hos UV-resistenta mikroorganismer. Projektet genomförs som ett samverkansprojekt mellan FOI, Livsmedelsverket, Lunds universitet, Norrvatten och Sweden Water Research. Därtill är syftet med projektet att studera hur flödet av mikrobiella virulens- och resistensgener påverkas av olika UV-doser användande shotgun metagenomics.

Projekt i samarbete mellan Chalmers, SLU och Lackarebäcks vattenverk har undersökt reduktion av organiskt material och lösta organiska miljöföroreningar, och med Mariebergs vattenverk för att undersöka effekt av utbyte av aktiverat kol på NOM-halter. I Lund har samverkan bland annat skett med Norrvatten, Sweden Water Research (Sydvatten, NSVA och VA SYD) och VIVAB avseende biofilmsstudier i vattenverk (biofilter) och ledningssystem, och med Stockholm Vatten, Norrvatten, Tekniska Verken, Sydvatten avseende mikrobiell analys med DNA-baserad flödescytometri (FC).

Samverkan sker även i form av bl.a. provtagningskampanjer och metodutveckling, samt genom samarrangemang av seminarier och kurser. Flera forskare har även varit inbjudna som talare vid olika typer av seminarier, workshops och konferenser som har anknytning till DRICKS. För detaljer hänvisas till respektive delområdesbeskrivning under kapitel 4.

2.4 Användning av Svenskt Vattens medel

Under 2018 har Svenskt Vatten Utveckling (SVU), enligt projektkontraktet, avsatt medel till DRICKS med 2000 kkr, fördelat på Chalmers 1300 kkr, SLU 350 kkr och Lunds universitet 350 kkr. De kostnader som DRICKS haft under programperiodens första år 2018 har uppgått till 1813 kkr (Chalmers 1330 kkr, SLU 370 kkr, Lund 63 kkr, Linköping 50 kkr). Andra dricksvattenrelaterade projekt, som finansierats av andra finansiärer än Svenskt Vatten, finansierade av forskningsråd,

kommuner, statliga myndigheter, institut och universitet mm som genomförts vid de tre universiteten under 2017 uppgår totalt till runt 14,0 Mkr, vilket ger en betydande uppväxling av DRICKS kostnader under året.

En mer detaljerad ekonomisk redovisning av kostnaderna under 2018 finns i den ekonomiska bilagan (Bilaga 1), vilken endast delges finansiären Svenskt Vatten.

3. Forskningsresultat

Här beskrivs de forskningsresultat som delprojekten inom DRICKS har producerat under 2018 och hur det fortsatta arbetet ser ut, ur ett branschperspektiv. Resultaten från doktorandprojekt och kortare projekt redovisas under respektive delområde i detta kapitel. (mer detaljer om projekten finns även på DRICKS hemsida, www.dricks.chalmers.se, under Projekt).

3.1 Beslutsstöd för framtida utmaningar

Forskningsprojekt *Beslutsstödsystem för hållbar regional vattenförsörjning (ReWarDS)* startades 2015 och beslutstödsmetoderna multikriterianalys och kostnadsnyttoanalys har tillämpats och kombinerats i en fallstudie i Göteborgsregionen där regionala vattenförsörjningsalternativ utvärderats. Under 2018 har resultat från arbetet publicerats bl.a. i *Journal of Environmental Management* (Sjöstrand et al., 2018, Sustainability assessments of regional water supply interventions). Arbetet visar hur kostnadsnyttoanalys kan kombineras med analys av sociala och miljömässiga effekter i en multikriterianalys och på detta sätt möjliggöra en hållbarhetsanalys. Resultaten publicerades också i rapportform (Input data report for economic assessments of water supply interventions in the Göteborg region) och i en licentiatavhandling från Karin Sjöstrand under våren 2018 (se kap 8 för ytterligare referenser). Arbetet inom ReWarDS har även breddats och genom ett ytterligare projekt *SCARCE – Sustainable Choice of Action for a Recovered water acCEss*, finansierat av bl.a. Almi Företagspartner Gotland AB, har arbete med beslutsstöd för vattenbristområden kunnat påbörjas. Detta arbete fokuserar på hur åtgärder för att öka vattentillgången samt minska vattenbehovet kan analyseras och jämföras och ge beslutsstöd för olika intressenter.

Inom ramen för AP1 arrangerades DRICKS under 2018 en workshop tillsammans Norrköping Vatten och Avfall AB i syfte att identifiera och ta fram förslag på mål och kriterier för Norrköpings framtida dricksvattenförsörjning. Syftet var att få input kring vilka aspekter som behöver beaktas då strategiska beslut om förändringar i dricksvattenförsörjning ska genomföras. Resultaten kommer att användas som underlag i det fortsatta arbetet inom AP1 med att ta fram kriterier och bedömningsgrunder. Följande aspekter kopplade till mål och kriterier identifierades utifrån Norrköpings förutsättningar:

- Leveranssäkerhet
 - Råvattentillgång
 - Beredningskapacitet
 - Redundans i:
 - Råvattenförsörjningen
 - Beredningen
 - Distributionen
 - Tillgång till reservvatten
 - Nödvattenförsörjning
 - Läckage på ledningsnätet
 - Flexibilitet
- Vattenkvalitet
 - Råvattenkvalitet
 - Temperatur

- Mikrobiologisk säkerhet
- Kemisk säkerhet
- Övervaknings- och skyddsmöjligheter
- Möjlighet till åtgärd
- Flexibilitet
- Rutinprov
- Kundklagomål
- Miljöeffekter
- Sociala effekter
- Ekonomi
- Yttre faktorer
 - Sabotage
 - Invasiva arter
 - Nyttjanderätt
 - Staden växer
 - Osäkerheter kring framtida etablering
 - Lagstiftning
 - Lokala föreskrifter
 - Branschföreskrifter

Resultaten från workshopen har publicerats i en intern rapport, kontakta andreas.lindhe@chalmers.se för ytterligare information.

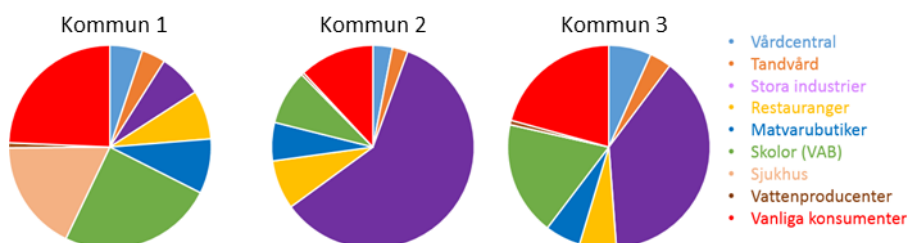
En ny fallstudie och ett projekt tillsammans med Lerums kommun och Göteborgs Stad har under året startats med syfte att utveckla en beslutsstödsmodell för att analysera hur Gråbodeltat kan användas för dricksvattenförsörjning. Förutsättningarna för att anlägga en konstgjord infiltrationsanläggning i det tidigare grustäktområdet i Gråbodeltat har undersökts i omgångar under många år. Det finns dock osäkerheter som måste beaktas och innan ytterligare undersökningar genomförs eller beslut om anläggningsutformning tas är det viktigt att avgöra vilka krav som bör ställas på en framtida anläggning. Det övergripande syftet med projektet är att utveckla en beslutsstödsmodell som kopplar osäkerheter till uppsatta mål och ger konkret beslutsstöd för prioritering av alternativa anläggningsutformningar och ytterligare undersökningar i Gråbo. Detta innebär att alternativa anläggningslösningar och möjligheten att nå uppsatta mål för dricksvattenförsörjning utreds.

Projektet *Riskbaserat beslutsstöd för säkert dricksvatten (RiBS)* slutfördes under 2018 och kommer att slutrapporteras under 2019. Under året har bl.a. modeller, dataunderlag och angreppssätt för att kombinera kvantitativ mikrobiologisk riskbedömning (QMRA) och kostnadsnyttoanalys vidareutvecklats, tillämpats och publicerats. En sammanställning av alternativa sätt att ekonomiskt värdera reducerad hälsorisk i dricksvattensystem har tagits fram och publicerats i tidskriften *Exposure and Health* (Bergion et al., 2018, Economic valuation for cost-benefit analysis of health risk reduction in drinking water systems). Resultaten visar vilka effekter valet av värderingsmetod får och ger vägledning kring hur man ska tänka vid val av metod. Inom projektet har en Vombsjön använts som fallstudie i samverkan med Sydsvatten och den samhällsekonomiska nyttan av åtgärder i såväl vattenverk som avrinningsområde har studerats. Resultaten har publicerats i tidskriften *Water Research* (Bergion et al., 2018, Risk-based cost-benefit analysis for evaluating microbial risk mitigation in a drinking water system) och visar hur nyttor och kostnader kan beräknas, hur effekten

av olika åtgärder kan uppskattas med hjälp av olika modeller och hur modellerna kan kombineras. Resultaten från arbetet har också publicerats i SVU-rapport 2018-12.

Två examensarbeten med fokus på riskbaserat beslutsstöd genomfördes under 2018. Sköld (2018, se avsnitt 6.5) presenterar resultaten från ett ettårigt examensarbete kopplat till RiBS-projektet, där den samhällsekonomiska nyttan med att installera ultrafilter i Kvarnagårdens vattenverk, Vivab, analyserades. Ofta genomförs denna typ av analys innan åtgärden genomförs, syfte med detta arbete var att följa upp en genomförd åtgärd och jämföra de kostnader som uppstått med de förbättringar (nyttor) som konstaterats. De nyttor som framförallt fokuserades på var reducerad hälsorisk samt förbättrad lukt och smak. Resultaten visar att efter installationen av ultrafilter förväntas mindre än en person per år bli sjuk till följd av dricksvattnet samt de förutsättningar och händelser som inkluderats i analysen. Åtgärden bedöms som samhällsekonomiskt lönsam med 82 % sannolikhet. Nettonyttan, dvs. nyttor minus kostnader, beräknades till ca 50 Mkr (medelvärde). Det var den estetiska förbättringen (lukt och smak) som bidrog mest till den uppskattade nyttan. Studien visar konkret hur riskbedömningar och beslutsstödsmodeller kan kombineras för att identifiera och monetarisera de kostnader och nyttor som förändringar i form av t.ex. ultrafilter är förknippade.

Bolander & Martinsson (2018, se avsnitt 6.5) kombinerade i sitt examensarbete riskbedömning och kostnadsnyttoanalys för att utvärdera ett antal leveranssäkerhetshöjande åtgärder i dricksvattenförsörjning. Fallstudie i arbetet utgjordes av Kärnsjön i Munkedal och analysen fokuserade på hur Munkedals dricksvattenförsörjning kan säkerställas samt hur redundansen kan förbättras för de närliggande kommunerna Uddevalla, Sotenäs och Lysekil. Ett antal kritiska händelser som leder till avbrott i dricksvattenleveransen identifierades och för dessa uppskattades sannolikheten för att de ska inträffa samt dess konsekvenserna. Konsekvenserna i form av skadekostnader uppskattades baserat på såväl litteraturdatabas som genom intervjuer med verksamhetsutövare inom fallstudieområdet. Graferna i Figur 2 visar fördelningen av skadekostnader mellan de olika verksamheterna som analyserades i fallstudiekommunerna och visar att det ser lite olika ut beroende på vilken typ av verksamhet m.m. som finns. Resultaten från kostnadsnyttoanalysen visar att de analyserade alternativen med stor sannolikhet är samhällsekonomiskt fördelaktiga men att det finns viktiga osäkerheter att analysera närmare. Examensarbetet visar på möjligheterna att tillämpa kostnadsnyttoanalys som beslutsstödsmetod i kombination med traditionella riskbedömningsmetoder för att generera användbara resultat.



Figur 2 Fördelning av skadekostnader, på grund av avbrott i vattenförsörjningen, för de olika kommunerna.

Under 2018 beviljades även nya projekt, bl.a. projektet WaterPlan (Riskbaserad prioritering av vattenskydd i hållbart samhällsbyggande) av Formas. Projektet startas upp under början av 2019 och kommer att pågå under 3 år med en budget på 7,5 Mkr. Syftet med projektet är att möjliggöra välgrundade underlag och prioriteringar av skydd av dricksvattenresurser i Sveriges framtida urbana samhällsbyggande. En brist vid prioritering och utformning av riskreducerande åtgärder för

vattentäkter är att det i Sverige saknas underlag för att motivera åtgärderna med hänsyn till de positiva och negativa effekterna i samhället. Projektet omfattar därför (1) karakterisering av dricksvattenresurser och identifiering av effekter i samhället av riskreducerande åtgärder, (2) samhällsekonomisk värdering av dessa effekter baserat på värdeöverföring och primärstudier, (3) ekonomisk beslutsanalys av riskreducerande åtgärder. Projektet kommer att ge helt ny kunskap och beslutsstöd för prioritering av vattenskydd i Sverige. Projektet är tvärvetenskapligt mellan ämnesområdena riskbedömning, vattenteknik och miljöekonomi. Arbetet genomförs i samverkan med vattenproducenter och inkluderar ett antal fallstudier.

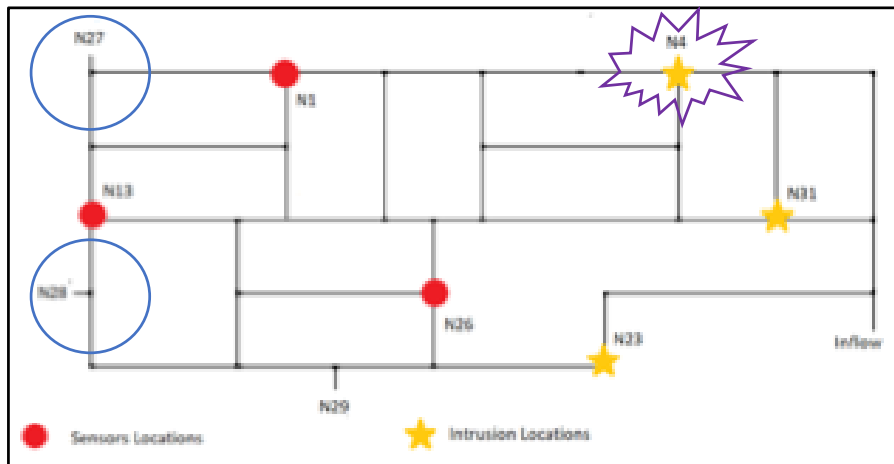
I slutet av 2018 beviljades även projektet *Vägledning för val och prioritering av mellankommunala vattenförsörjningsåtgärder*, med finansiering från SVU samt medfinansiering från deltagarna. Projektets övergripande syfte är att för den svenska VA-branschen *tillgängliggöra framtagna beslutsstödsmodell för direkt tillämpning inom svensk vattensektor, där val och prioriteringar av mellankommunala åtgärder baseras på utvärderingar av deras ekonomiska, sociala och miljömässiga effekter*. Fokus ligger på att anpassa och tillgängliggöra den modell som tagits fram inom ReWarDS med fokus på regionala/mellankommunala åtgärder. Projektet möjliggör en breddning av det arbete som sedan tidigare planerats inom AP1, där fokus inte varit på regionala lösningar.

3.2 Hållbar drift av distributionsnät för säker vattenkvalitet

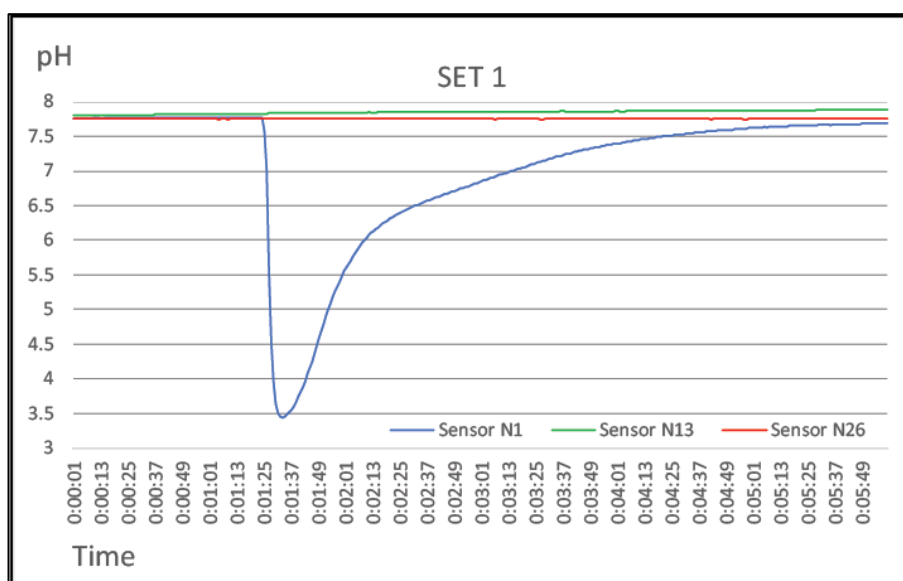
Inom arbetspaket 2 har studier genomförts i samtliga fem komponenter och en kort sammanställning av resultaten under 2018 presenteras här.

Ett examensarbete som omfattar komponenterna 2.1 och 2.2 slutfördes under 2018 där tidig varning av föroreningsinträngning i ett distributionssystem studerades genom experiment och mätningar i en pilotskale-modell, i storleken 8x4 m² (Figur 3). I modellen sprutades syra in vid några olika uppströms punkter där "föroreningen" detekterades i nedströms (pH-)sensorer (Figur 4). Syftet med examensarbetet var att hitta ett sätt att optimera sensorers placering i dricksvattennätet för att kunna lokalisera var en uppströms förorening trängt in. Genom att flera sensorer installerades kunde vi studera hur "pulsen" av föroreningen sprids/transporteras i ledningsnätet vid en stor mängd olika fall (olika flöde, inträngningsposition och sensorplacering) har vi tagit fram en preliminär metod/modell som med "back-tracking" kan bestämma var förorening trängt in i systemet. Arbetet har även kompletterats med en hydrodynamisk modellering (av samma modell) där ytterligare fall modellerades.

Inom komponent 2.3 under 2018 aktiviteten "Definiera en funktionell sensor i samverkan med slutanvändare" utförts och avslutats. Linköpings universitet och Tekniska verken i Linköping har tillsammans med den tilltänkta sensortillverkaren sense2bits AB arbetat fram en specifikation för en "minimum viable product"-version av den elektroniska tungan. En ny version av sensorproben som är anpassad efter denna nya specifikation är designad och har tillverkats i ett exemplar. Nästa steg är att tillverka 5 stycken mätprober och tillhörande elektroniklådor. Tekniska verken har identifierat ett antal viktiga mätpunkter där sensorerna ska sättas ut och ge tidig och värdefull information om föroreningspåverkan på dricksvattennätet. En av dessa punkter är i vattentornet och ytterligare tre punkter i tryckstegringsstationer längs en ledning längre ut på dricksvattennätet. Ytterligare en mätpunkt är belägen i dricksvattenledningarna vid avloppsreningsverket i Nykvarn i Linköping. Vid



Figur 3 Labskale-modell över distributionsnät



Figur 4 Mätresultat från pH-sensorer i pilotskale-nätet

testrigger i Nykvarn kommer finnas möjligheter att tillsätta olika föroreningar, huvudsakligen avloppsvatten, och därmed simulera olika typer av händelser på nätet. Samtliga mätpunkter har inspekterats och testrigger för att kunna mäta i samtliga mätpunkter har designats. Planen är att påbörja mätningar i samtliga mätpunkter under 2019.

Studier inom komponent 2.4 har genomförts vid Kvarnagårdens vattenverk i Varberg. Vattenverket producerar nu ett mer eller mindre cellfritt dricksvatten med hjälp av ultrafiltrering (UF) med förfällning. Pågående studier visar att både distributionsnätets biofilm och vattenkemi har påverkats dramatiskt av detta. Projektet har erhållit ytterligare SVU-medel vilket möjliggör fördjupade biofilmsstudier där man bl.a. studerar vilka bakterietaxa som lämnar biofilmen i strategiska provpunkter på nätet med hjälp av MPS-analys, vilken för första gången visar vilka bakterietaxa som lämnar biofilmen i ett fullskaligt distributionssystem samt deras antal. Det är framförallt 29 bakteriegrupper tillhörande bl.a. släktena Sphingomonas, Nitrospira, Mycobacterium och Hyphomicrobium som dominerar. Mängden bakterier som frigges från biofilmen utgör ungefär 0.5%

jämfört med den ursprungliga mängd bakterier som påvisades i ledningssystemet innan UF-drift, vilket var cirka 750 000 bakterier per ml dricksvatten. Under 2018 utökades provtagningsprogrammet med ytterligare 12 strategiskt intressanta provtagningspunkter på ledningsnätet, d.v.s. totalt analyseras 18 provpunkter i Varbergs distributionssystem. Sommaren 2018 började antalet bakterier variera från cirka 2000 per ml i de centrala områdena till 250,000 per ml i ytterområdena. Preliminära resultat visar att antalet bakterier och dess sammansättning korrelerar med vattnets uppehållstider enligt FCM-analysen. Vår arbetshypotes är att Kvarnagårdens vattenverk efter VIVABs implementering av UF övergripande styr biofilmdynamiken i Varbergs ledningsnät utifrån framförallt vattentemperatur och näringstillförsel men också utifrån flöden, uppehållstider och rörmaterial. Projektet som är unikt i sitt slag diskuterades ingående utifrån begreppet biostabilitet på DRICKS internat i Örebro, och presenterades på Svenskt Vatten Forskning och Innovation konferens (Malmö), IWA Sweden Biofilms in Drinking Water Supply Systems symposium (Lund), Nordic Drinking Water Conference (Oslo) och Workshop om Smart Water Networks (Lund).

I komponent 2.5 har arbetet med att ta fram ett *Ramverk för riskbedömningar på ledningsnätet* påbörjats och en omfattande litteraturgenomgång har genomförts. Sammanställningen visar att distributionsnät för dricksvatten utsätts för händelser och incidenter som kan förorena dricksvattnet och kan påverka befolkningens hälsa. De fem största riskerna som kan påverka konsumenternas hälsa negativt har identifierats i en litteraturstudie: inträngning, korskoppling och backflöden, ohygieniska reparationer och underhållsarbeten i ledningsnät, undermålig hantering av reservoarer och effekter av biofilm. Samtliga riskhändelser har varit orsak till flera utbrott av vattenburna sjukdomar i samhället. Det finns två metoder att bestämma sambandet mellan incidenter i ledningsnätet och risken för sjukdom/infektion: epidemiologiska studier och riskmodellering. Epidemiologiska studier har använts för att utvärdera hälsoproblem vid olika grad av exponering av föroreningar i ledningsnätet, exempelvis vid underhållsarbeten, låga tryck. Medan utbrott har ett väsentligt samband med händelser i ledningsnätet, har föroreningar med en endemisk sjukdomsnivå i befolkningen haft varierande resultat. Kvantitativ mikrobiell riskbedömning (QMRA) är en av de främsta metoderna för att uppskatta de hälsorisker som detta kan innebära för befolkningen.

Arbetet med att utveckla QMRA-verktyg för distributionssystemet har påbörjats och en första modell för att bedöma hälsoriskerna vid korskopplingar har presenterats, vid Victor Vinas licentiatseminarium 2018 (se kapitel 6). Vidare har konceptuell modell för inträngningar i sprickor och hål i dricksvattenledningar vid låga tryckförhållanden formulerats. Allt detta baseras på en omfattande litteraturstudie som genomförts "*Overview of microbial risks in water distribution networks and their health consequences: quantification, modelling, trends, and future implications*" vilken är presenterad i en vetenskaplig tidskrift.

3.3 Förekomst av kemiska ämnen och barriärverkan

SAFEDRINK: Forskning kring kemiska hälsorisker är en växande del inom DRICKS och sker i synergi med en rad andra projekt på SLU, varav SafeDrink (<https://resurs.slu.se/safedrink-det-livsviktiga-dricksvattnet/>) är det mest omfattande. Detta projekt avslutades i december 2018. Under projektet togs ett stort antal prover i ett antal områden och miljöer, både i råvatten och i olika vattenverk före och efter olika processteg. Under projektets gång utvecklades ett stort antal nya metoder för analys

av låga halter av ett stort antal organiska spårämnen. SafeDrink fann att halterna av oönskade kemiska ämnen i dricksvatten var i allmänhet låga. Koncentrerade vattenprover uppvisade toxisk aktivitet, som inte berodde på de analyserade kemiska ämnena i dricksvatten, utan var orsakade av okända ämnen. Konventionell fällning är i allmänhet inte effektiv för avlägsnande av oönskade vattenlösliga kemiska ämnen. Dricksvatten kan ge en betydande exponering för per- och polyfluoralkylerade substanser (PFAS) även vid relativt låga halter. Beredning med aktivt kol kan fungera som kemisk barriär. Biotester i kombination med kemisk analys är en mycket användbar ny metodik för detektion av kemiska hot i dricksvatten från källa till kran. Detta har lett till ett nytt forskningsprojekt på SLU (DANTE), där utveckling av s.k. effekt-driven analys (kemiska-biologisk metodik) ska utvecklas vidare och användas för vattenanalys. SafeDrink har bidragit till ny kunskap om hur reningsmetoder fungerar för akvatiska miljöföroreningar, framför allt för PFAS och hur organiska ämnen (DOC) påverkar reningen. Människors förståelse av dricksvattenrisker är bl.a. grundat på att vatten anses naturligt och därmed förstås som rent och riskfritt. Personliga erfarenheter av att vattnet varit otjänligt leder till en medvetenhet om möjliga risker men sällan till någon förändring av beteende. Bättre övervakningsstrategier och nya vattenbehandlingsmetoder är nödvändiga för säker produktion av dricksvatten. I EU:s nya dricksvattendirektiv föreslås en riskbaserad bedömning där bioanalys kombineras med kemisk analys (effekt-driven analys) för att identifiera hälsofarliga kemiska ämnen. Projektet har visat på ett behov av ett kompetenscentrum för avancerad kemisk analys och bedömning av kemiska risker. SafeDrink har lett till en hemställan till regeringen om inrättandet av ett kompetenscentrum (på SLU) för kemiska risker i dricksvatten initierat av landshövdingen i Uppsala län och signerat av ytterligare 10 regionala aktörer (vattenproducenter, myndigheter, m.fl.). SafeDrink har också lett till en stor ansökan till Vinnova om inrättandet av ett kompetenscentrum för säker produktion av framtida dricksvatten.

KOLPILOT GÖRVÄLN (drivs av Norrvatten): Norrvatten bedriver ett pilotförsök med ozon och GAC-filtrering. Inom detta projekt har SLU fått möjlighet att addera fyra kolonner för att utföra kompletterande försök med GAK. Ozon (O₃) i kombination med granulerat aktivt kol (GAK) kan vara både en effektiv kemisk barriär (ozon och GAK) och mikrobiologisk barriär (ozon). Ozonering av organiskt material leder till ökad mängd bionedgängligt organiskt material (BOM) samt nedbrytning av löst organiskt kol (DOC) till mindre molekyler med lägre benägenhet att binda till GAK. För att studera detta i detalj påbörjades i maj 2018 en stor systematisk pilotstudie på Görvälnverket, där effekter av uppehållstider och olika typer av GAK) utvärderas för både ozonerat och icke-ozonerat matarvatten i nio olika GAK-kolonner. Ozonering av vatten efter fullskalig konventionell fällning, flockning, sedimentering och filtrering genom snabbfilter sker i en ozonpilot som består av en ozonreaktor, 4 reaktionstankar och pH-justering. Efter ca 20-40 min reaktionstid så tillförs vatten till de olika kolonnerna med ett flöde av max 0.7 m³/h som fördelas mellan kolonnerna.

Inlösningsgrad av ozon styrs av flertalet fysikaliska parametrar, t.ex. temperatur på matarvattnet och tryck i ozonsystemet och dosen påverkas därutöver av vattenkvalitetsparametrar, inklusive DOC-halt och UV-absorbans, alkalinitet, turbiditet och mängd mikroorganismer. Bestämning av den faktiska ozondosen har inte varit möjligt då detta inte tillhandahålls av ozonsystemet. Den parameter som går att styra, (generatorns effekt) styrs enbart via en redoxmätare som sitter på utloppet från den reaktionstank som ingick i ozonsystemet. Detta medför att piloten måste följas upp så att större variationer i inkommande processvatten påverka ozoneringseffekten så lite som möjligt. Samtliga

Tabell Översikt för de 5 kolonner som används till försök med GAK

Nr	Kolsort	EBCT (min)	pH	O ₃	Q# (m/h)	Syfte
1	Norit 1240 W	4, 8, 12, 16, 20	ca 6,8 (SF) /6,5	Ja	3	Jämföra olika pH (förväntad högre adsorption av NOM vid lägre pH) Drifttid till mättnad med avseende på DOC,UV-absorbans och olika OMPs
2	Norit 1240 W	4, 8, 12, 16, 20	7,8	Ja	3	
3	Norit 830 W, mättat	4, 8, 12, 16, 20	7,8	Ja	3	Fokus borttagning AOC, effekt av olika EBCT
4	Norit 1240 W	12	7,8	Ja	5	Kontroll för EBCT 12 min
5	Norit 1240 W	4, 8, 12, 16, 20	ca 6,8 (SF) /6,5	Nej	3	Jämföra SF med ozonerat SF
6	Filtrisorb 400	5, 10,16, 20	7,8	Ja	3	Test av olika EBCT
7	Norit 1240	5, 10,16, 20	7,8	Ja	3	Replikat till kolonn 2
8	Norit 1240 ympning 5-10% gammalt Norit 830	5, 10,16, 20	7,8	Ja	3	Test av olika EBCT + test av uppstart ("quasireplikat")+ biofilterfunktion
9	Filtrisorb 400	6	7,8	Ja	10	Fokus regenerering, färgämnesförsök, jämförelse med tidigare icke ozonerat SFförsök. försök (De Brito et al 2017, se rapport för 2017)

Q = Ytbelastning

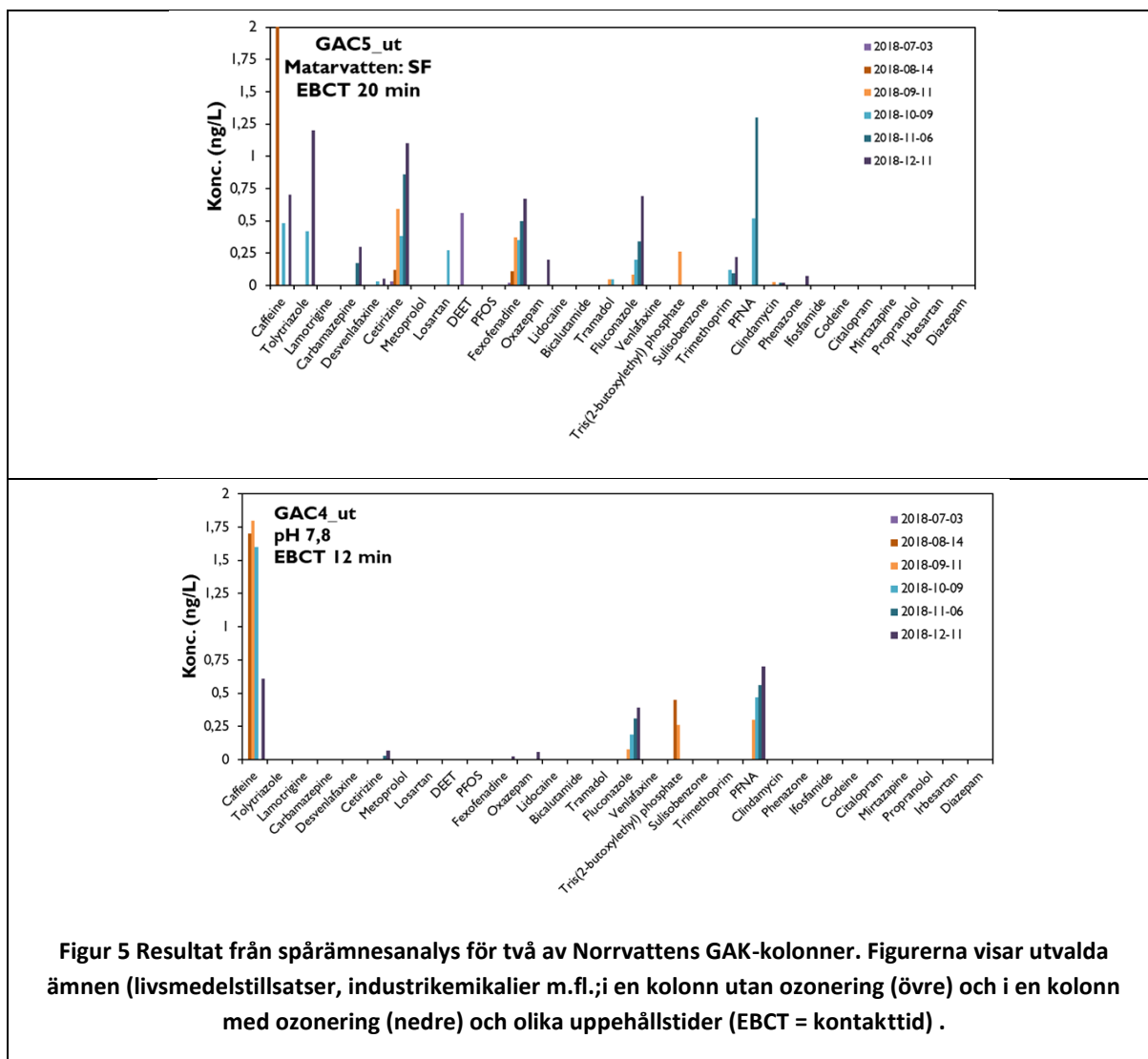
GAK-kolonner kan provtas på 3-4 höjder utöver utloppet via provtagningskranar som sitter med 20-25 cm mellanrum. Detta möjliggör utvärdering av flera olika kontakttider i samma kolonn. Fyra av de nio kolonner som studeras ingår i det delförsök som utförs inom WP3 (Kolonn 6 - 9), fem kolonner (1

- 5) studeras av Norrvatten. Här ges en översikt av de viktigaste resultaten av båda projekten vilket till stor del baseras på ett antal interna rapporter från Norrvatten. Detta försök har som syfte att studera a) metoder som kan användas som ett tidigt varningssystem för eventuell mättnad av GAK-filiter, b) kemisk barriärverkan av två olika typer av GAK och olika uppehållstider och c) biofilterfunktion för olika uppehållstider och två olika typer av GAK och d) effekter av "ympning" av nytt kol med gammalt kol (kan ge förbättrad uppstart och bättre biofilterfunktion). Under försöket tas prover månadsvis för att analysera OMP (organic micropollutants = oönskade organiska spårämnen, så som läkemedel, pesticider och högfluorerade organiska substanser (PFAS)), antal bakterier med flödescytometri, AOC (assimilerbart organiskt kol) (endast Norrvattens kolonner), LC-OCD (karaktärisering av olika storleksfraktioner av löst organiskt kol via kromatografi) (endast Norrvattens kolonner). Prover för analys av vattenkemi tas av Norrvatten veckovis och analyser som utförs på det interna ackrediterade laboratoriet inkluderar bl.a. TOC (totalt organiskt kol), DOC (löst organiskt kol), pH, alkalinitet, metaller, näringsämnen och UV-absorbans vid 254 nm). En del av SLUs resultat har presenterats på dricksvattenkonferensen i Västerås (oktober 2018) och på SVUs FoU-konferens i Malmö (november 2018). Efter 11 månaders försökstid har vi nu samlat mycket data kring reningseffektivitet av DOC, UV-absorbans och olika OMP samt kunnat identifiera signifikanta skillnader i beteendet av olika kolonner och olika försöksuppsättningar. Vi har fått en mycket bra förståelse för hur DOC fastläggs och även bryts ner i de olika kolonnerna. Försöken är inte avslutade och resultaten är därför preliminära.

Resultaten tyder på att drastiskt minskad borttagning av DOC i allmänhet sker efter 2-3 månader eller 25 000 – 45 000 bäddvolymeter beroende på typ av GAK och EBCT. Under de här utvalda förhållandena (EBCT upp till 20min) har förmågan i GAK att adsorbera DOC helt upphört efter ca 8 månaders drift. Ozonering (ca 1 mg/l efter 4.2 min kontakttid) har lett till en stor förlust av UV-absorbans (-40%), dock är effekter på DOC-halt knappt mätbara (medelminskning på 0,1 mg/l). Våra resultat tyder på att kolonnerna har en förmåga att adsorbera 80-150 g DOC/kg GAK. Mycket noggranna mätningar av UV-absorbans och DOC tyder på en initial, selektiv borttagning av ämnen med hög SUVA. I enlighet med tidigare försök visar Filtrasorb 400 en större bindningsförmåga för DOC än Norit. Efter mättnad ligger den biologiska nedbrytningen av DOC runt 0,3 mg/L för kolonner med ozonerat matarvatten. De redan låga halterna av organiska spårämnen i råvattnet ($\Sigma < 100$ ng/l) bryts effektivt ner med ozon (total reningseffektivitet ca 70-90%), medan PFAS passerar PFNA och enskilda ämnen. Efter sju månader har vi kunnat uppmäta halter av PFNA och några få läkemedlen i det utgående vattnet från några av GAK-kolonnerna. Nedan redovisas resultat för de första 7 månaderna. Den väl fungerande kemiska barriärverkan av ozon och för GAK-kolonner med uppehållstid på 20 min är förväntad. Tidigare försök (De Brito et al 2017, se rapport för 2017) har visat genombrott (utgående halt > 10% av ingående halt) OMP (utgående halt > 10% av ingående halt) av lamotrigin och karbamezepin efter 40 000 bäddvolymeter för en kort uppehållstid (6 minuter).

Försöket räknas pågå minst under hela sommaren 2019. Under denna period kommer vi fortsätta provtagningen med ett reducerat provtagningsprogram. Vi kommer även göra olika försök för att utvärdera hur vi kan använda indirekta metoder för bestämning av genombrott av OMP.

AVANCERAD KEMISK ANALYS: I samband med ovanstående projekt genomfördes en utförlig provtagning i samarbete med Utrecht universitet där en ny teknik (PTR-MS) ska testas. Denna metod kan användas för att bestämma låga halter av organiska anjoner och ska ge bättre information om



bildning av nedbrytningsprodukter av DOC och läkemedel. Resultaten kommer att vara tillgängliga under 2019.

MÄLARENPROVTAGNING: Under 2018 avslutades provtagning av läkemedel i Mälaren. Arbetet presenterades på en konferens och mynnade i ett mastersarbete (Rehrl 2018). Resultaten togs emot med mycket intresse på Mälaren vattenvårdsförbunds årsmöte och på ett Mälaren seminarium på SLU¹. Resultaten av dessa OMP analyser ska följas upp med ytterligare en intensiv provtagning även under 2019 där också tillrinningsområden ska ingå. Detta arbete ingår i det 2017 påbörjade forskningsarbete runt Mälaren som ska sträcker sig minst till 2023. Mer information kan erhållas via Mälaren vattenvårdsförbund eller Stephan Köhler

OZONERING: Under 2018 påbörjades arbetet med att ta fram en labbskale ozon anläggning. Detta arbete kommer att presenteras i april 2019 i form av ett mastersarbete. Tillgång till en labbskale-reaktor möjliggör ett antal specifika studier för bildning av biprodukter och efterföljande toxicitetstester i framtiden. Denna anläggning kan därför vara av intresse till vattenproducenter och

¹ <https://www.slu.se/ew-kalender/2018/10/malarseminariet-2018/>

för mer information kan Stephan Köhler kontaktas. Ett arbete för en systematisk litteraturstudie för karakteriseringen av nedbrytningsprodukter av ozon påbörjades. Resultaten ska rapporteras under sommaren i form av ett examensarbete.

WORKSHOP: Inom DRICKS genomfördes under 2018 en kortare videoworkshop med fokus på kemiska hälsorisker i Uppsala. Under workshopen presenterades förekomst av OMP och en tekniker provtagning av passivprovtagare (Ahrens och Ejhed, vid intresse kan dessa presentationer erhållas från Lutz.ahrens@slu.se och helen.ejhed@norrvatten.se). Därefter diskuterades användning av passiva provtagare i vattenverk och smartare provtagningsstrategi för att minska antal prover samt hur man möjligen kan minska effekter för tidsförskjutning av olika beredningssteg. Prover kan samlas från olika ställen och frysas direkt och därefter blandas. Eftersom det inte fanns ett stort intresse för detta i nuläge togs det än så länge inga beslut om en samordnad passivprovtagning under 2019.

KEMISKA ÄMNEN: Under 2018 genomfördes tre master-projekt med inriktning mot kemiska faroämnen och reningsteknik genomfördes på SLU. Av ett större antal olika publikationer vill vi lyfta Gobelius et al (2018) och Tröger et al (2018). I Gobelius L et al. genomfördes en nationell screening och analyserades 26 olika PFAS-substanser i olika typer av vatten från 493 platser i Sverige med fokus på dricksvattenkällor med misstänkt påverkan från lokala föroreningar. De högsta halterna hittades i ytvatten (13 000 ng L⁻¹) och grundvatten (6 400 ng L⁻¹). Det svenska riktvärdet på 90 ng L⁻¹ för Σ11PFAS i dricksvatten överskreds i 3% av de prover som kom från dricksvattenkällor (n = 169). I Tröger R et al. togs fram en metod för att detektera miljöföroreningar (>130 substanser) på spårämnesnivå i dricksvatten utvecklades. Med hjälp av denna genomfördes en fältstudie där vatten från källa till kran analyserades, inklusive mellan reningsstegen vattenverket. Totalt detekterades >40 substanser i minst ett prov. Vi kunde konstatera att den konventionella dricksvattenbehandlingen var ineffektiv med en medel-reningseffektivitet nära 0% trots att vattnet passerade ett GAK-filter. I kontrast uppvisade en pilotanläggning med nanofilter och ett nytt GAK-filter en reningseffektivitet på nära 100%.

NOM-karakterisering

OPTISKA SENSORER: Under 2018 genomfördes ett antal studier inom det SVU finansierade projektet Genomljusning där användning av optiska sensorer kommer till användning för att optimera beredning av dricksvatten. Under 2018 genomfördes studier för Uppsala vatten, Gästrike vatten och Vivab. Vi har samlat viktiga erfarenheter med praktiska problemställningar och gjort stora framsteg i behandling och utvärderingen av data. T.ex. så har vi kunnat visa tydliga skillnader mellan signalerna mellan två olika sensorer. Vi har också kunnat göra framsteg med utvärderingen av data i flera olika användningar. Konkret har vi etablerade metoder för kvalitetssäkring av sensorer och börjat med att ta fram matematiska metoder databearbetning och tolkning av sensordata. De matematiska verktygen kommer att göras tillgängligt till vattenverken i form av Pytonscript² som är en open source programmeringskod. Genomljusning har gett mervärde. Utöver VINNOVA projektet Digidrick så har det även möjliggjort att även andra relaterade projekt har kommit igång. T.ex. så beviljades ett projekt från Havs- och vattenmyndigheten och så genomfördes ett antal mätningar för Uppsala vatten utanför Genomljusning. I ett praxisnära samarbete mellan sju olika vattenverk och forskare från två olika universitet utvärderas och implementeras olika typer av ljussensorer med syftet att uppnå en bra och jämn processvattenkvalitet med avseende på färg och NOM halt i olika typer av

² [https://sv.wikipedia.org/wiki/Python_\(programspråk\)](https://sv.wikipedia.org/wiki/Python_(programspråk))

råvatten, minska användning av fällningskemikalier och därmed slamproduktion genom optimerad dosering och följa upp och ta beslut om driftoptimering av långsam- och aktivkolfiler, konstgjord infiltration och i membranprocesser (foulingpotential). I år vill vi särskild lyfta resultaten från det avslutade projektet i Fyrisån med Uppsala vatten. Här användes sensorer för att testa vilka sensorer som möjligen kan komma till användning för att drifva konstgjord infiltrationen. Installationen av två olika sensorer: S:can och EXO2 samt det utvecklade flödessystem fungerade utan några större avbrott under mer än sju månader där de var utplacerade vid intaget för infiltrationsanläggningen för Uppsala vatten infiltrationssystem. Instrumenten skötes ungefär varannan vecka pga. av den låga dataminne av S:can sensorn (spectrolyser). Medan EXO2 sonden fungerade helt autonom utan ström så krävde S:can tillgång till ström för försörjningen av S:can och dess rengöringsmodul, en högtryckspump. Under stark varierande flöden var det nödvändigt att adaptera flödet i flödessystemet. I ett framtida system bör flödesvariationer buffras genom ett uppströms liggande buffertkärl. Löst organiskt kol (DOC) och turbiditet kan förutsägas från absorptionspektrat DOC inom 2 mg L⁻¹) genom matematisk utvärdering av rådata av S:can. FDOM-signalen från EXO2 ger också en tydlig årsvariation. FDOM signalen är dock ej lika pålitligt för att prediktera DOC-dynamiken speciellt under torra månader. Förändringar i sammansättningen av DOC leder till variationer i de optiska egenskaperna och påverkar således FDOM-mätningar. FDOM signalen påverkas även av ett antal yttre faktorer. Inverkan av dessa så som grumlighet, temperatur, inre filtereffekt kunde dock korrigeras för. Båda instrument kan kopplas upp mot internet och kan således ge online data. I ett annat SLU projekt testades detta för EXO2. Fördelen med EXO2 sonden är att sonda för temperatur, pH, ledningsförmåga och turbiditet gav stabila värden och kan användas omgående. För bestämning av DOC kräver både S:can och EXO2 en lokal kalibrering. Om sensorerna ska kunna användas för drift av infiltrationsanläggningen krävs en installation av ett modem.

KONSTGJORT INFILTRATION: Arbetet med drift av konstgjord infiltration följdes upp under 2018 i form av ett examensarbete. Uppsalas dricksvattenproduktion är byggd omkring Uppsalaåsen. Genom att infiltrera ytvatten från Fyrisån på flera platser på åsen förstärkes den naturliga grundvattenbildningen. Under 2017 infiltrerades över 8 miljoner m³ vatten och fram till 2100 beräknas infiltrationsvolymen öka till 28 miljoner m³. Under de senaste 25 åren har 3700 ton löst organiskt material (DOC) tillsatts åsen via konstgjord infiltration. I Sverige har ökande halter av naturligt organiskt material (NOM) observerats på flera håll. Vid dricksvattenberedning kan ökande halter av NOM i dricksvatten leda till dålig lukt och smak, men även formation av cancerogena desinfektionsbiprodukter (DBP). Syftet med det här examensarbetet har varit att undersöka vad som händer med DOC i Uppsalaåsen vid konstgjord infiltration mellan infiltrationsanläggningen i Tunåsen och uttagsbrunnen i Galgbacken. Avskiljningen av DOC på denna åsträcka har jämförts med kemiskfällning med järnklorid, FeCl₃, genom med bägarförsök. Ett ytterligare syfte var att undersöka huruvida ett för- eller efterfällningssteg är lämpligt att implementera inför framtida, ökade infiltrationsvolymerna. Genom att analysera DOC i grundvattenprover tagna längs med Uppsalaåsen har det visats att åsen naturligt kan avskilja upp till 70 % av DOC i infiltrationsvattnet. Med kemisk fällning uppnås liknande avskiljning av DOC om vattnets pH-värde sänks till pH 6,2–6,5 och 100 mg FeCl₃ tillsätts per liter vatten. Genom att undersöka karaktären av NOM i infiltrations- och grundvattnet med spektrofotometri och kromatografiska analyser (LC-OCD) har det visats att det organiska materialet i grundvattnet som pumpas ut ur åsen främst består av högmolekylära organiska föreningar >600 Dalton (Da) i medeltal. Med kemisk fällning kan majoriteten av de högmolekylära föreningarna fällas ut och efter fällning består majoriteten av de kvarvarande

organiska föreningarna av lågmolekylära organiska ämnen <500 Da imedeltal. Inför framtida ökade infiltrationsvolymerna skulle ett efterfällningssteg vara lämpligt att implementera som ett komplement till den konstgjorda infiltrationen. Studien visar också att den ekosystemtjänst som Uppsalaåsen utgör är en stor tillgång för stadens nuvarande och framtida dricksvattenproduktion. Under 2019 kommer vi att följa upp NOM avskiljning med optiska sensorer och en mera noggrann utvärdering av tidsserier.

3.4 Biofilter och mikrobiologiska barriärer

Projektet "mikrobiella säkerhetsbarriärer" med inriktning på UV har i samverkan med Livsmedelsverket, Norrvatten, Sweden Water Research och Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI) i Umeå fått till stånd en fullskalig UV-studie på Görvålverket i mars 2018. Syftet har varit att undersöka hur tre olika UV-doser (250 J/m², 400 J/m² och 600 J/m²) avdödar naturligt förekommande mikroorganismer samt påverkar vattnets biostabilitet. Sex olika analysmetoder har använts för att undersöka den momentana UV-effekten samt återväxten i bestrålat vatten efter 6 dygn, närmare bestämt; långsamväxande (HPC), koliforma bakterier med Colilert metoden, DNA-baserad flödescytometri (FCM), 16S-amplikonsekvensering, metagenomsekvensering och PMA real-time PCR. Vattenprover för analys har koncentrerats med två approacher, 0.22 membranfilter och dead-end ultrafiltrering, för att även undersöka hur olika provbehandlingsmetoder påverkar analysresultaten. Preliminära resultat visar att UV momentant exempelvis avdödar fraktioner av proteobakterier som bland annat härbärgerar koliformer emedan några andra naturligt förekommande vattenbakterier visar UV-resistens. Med stigande UV-dos ökar den selektiva avdödningen samtidigt som vissa specifika bakteriegrupper alltmer stärks i sin återväxtpotential. Dessa resultat överensstämmer väl med tidigare iakttagelser att UV gynnar växten av vissa långsamväxande bakterier (HPC). Bioinformatiken och den statistiska datahanteringen för den riktade taxonomiska 16S-amplikonsekvenseringen kommer att framställas i färdigt skick i början av 2019 och därefter utgöra grunden för en vetenskaplig publikation. Databearbetningen från den oriktade totalgenomsekvenseringen (metagenomics) visar att ungefär 95 % av vattenfloran är bakterier och återstående mikrober är DNA-virus, protozoer, alger, svampar och arkéer. Den framtida bioinformatiken som utförs av industridoktorand Kristjan Pullerits med stöd av FOI kommer att inriktas på "riskgener", dvs. undersöka förekomsten av virulensgener och antibiotikaresistensgener i förhållande till olika UV-doser. Resultat från 16S-amplikonsekvensering har presenterats internt på DRICKS internt i Örebro och externt på Nordic Drinking Water Conference (Oslo) och Sweden Water Research Day (Malmö).

Formasprojektet "Nya fluorescensbaserade indikatorer på dricksvattendesinfektion" avslutades 2018 och doktoranden som jobbade med projektet kommer att disputera 2019. Målet var att förbättra kontrollen på dricksvattendesinfektion genom att tolka förändringar i vattenkaraktären spårad med fluorescensspektroskopi. Två huvudtyper av biprodukter från desinfektion är aktuella i Sverige idag. Den första är toxiska klorerade molekyler som bildas genom reaktioner mellan NOM och klor. Den andra är små molekyler som bildas när UV-strålning splittrar organiska molekyler; dessa molekyler är lättillgängliga födoämnen för mikroorganismer som växer i distributionsnätet. Detta projekt har undersökt nya indikatorer för dricksvattenklorering och UV-desinfektion, baserad på spektroskopiska metoder. Aktiviteter under 2018 inkluderades:

- AOC studien: Försök med tillsats av UV-exponerat organiskt material till bakteriekulturer för att studera påverkan på mikrobiell återväxt. AOC är små molekyler som bildas när UV-strålning splittrar organiska molekyler; dessa molekyler är lättillgängliga födoämnen för mikroorganismer som växer i distributionsnätet. Denna studie genomförts i samarbete med Dr. Cynthia Halle (NTNU) och Megan Strand-Jordan (Nordic5Tech ex-jobbare).
- AOX studien: Samarbete med Curtin University (Australia). Doktoranden åkte till Perth under 3 månaden och genomförde en studie om UV-strålningens påverkan på klorerade desinfektionsbiprodukter mättade med AOX-metoden.

I AOC studien deltog sju dricksvattenproducenter med olika typer av råvatten (inklusive ytvatten och grundvatten) och beredningsprocesser. Resultat visades att AOC ökar linjärt med ökad UV-dos. Det beräknades att en typisk UV-dos på 40 mJcm^{-2} skulle förväntas ge AOC-ökning med $18,5 \pm 9,3 \mu\text{gL}^{-1}$. I AOX studien undersöktes effekten av UV-strålningen på bildandet av klorerade desinfektionsbiprodukter (DBP) från NOM-extrakt och australiensiska råvatten. Endast 20 % av de DBP som producerades genom UV-bestrålning och klorering i denna studie tillhörde producenter som för närvarande kontrolleras av hälsovårdsmyndigheterna i Sverige eller utomlands. Koncentrationer av oreglerad AOX-ämnen ökade med upp till 20 nmol för varje ökning av UV-dos på 10 mJcm^{-2} . Dessa två studier tyder på att UV-desinfektion är förknippad med en ökad risk av bioinstabilitet och oönskade desinfektionsbiprodukter i dricksvattennätet, dock är riskökningen relativt liten.

Formasprojektet "Identifiering av kända och nya virus i vatten och deras spridning i befolkningen" med Helene Norder och Thomas Bergström på Göteborgs universitet har tillsammans med Olof Bergstedt ett pågående pilotprojekt avseende vattenrening med inriktning på metoder för patogenövervakning. Projektet har resulterat i en studie om virus i avloppsrening i *International Journal of Hygiene and Environmental Health* (Wang et al. 2018: 221(3):479-488) som är relevant ur råvattensynpunkt. Realtids-PCR användes för att följa 21 humanrelaterade virus. Avloppsreningen reducerade virushalterna med 4 logenheter förutom adenovirus och paravirus som hade en sämre reduktion. Ozon gav ytterligare en reduktion om 1-2 logenheter förutom adenovirus som påverkades mindre. De låga virushalterna i dricksvattenberedningen har krävt omfattande metodutveckling, men de första resultaten är intressanta både med avseende på bakteriofager som kan ge användas som virusindikatorer och med avseende på oväntade fynd av humanpatogena virus. Fynden planeras att publiceras under 2019.

Projektet "Mikrobiell ekosystemteknik för säker och högkvalitativt dricksvatten" har resulterat i ny kunskap hur biofilmen i långsamfilter successivt byggs upp till funktionella biofilter som selektivt reducerar mängden smittagens och organiskt material. Dessutom har projektet demonstrerat hur FCM-analys kan användas för rationell övervakning av individuella långsamfilter samt fastställa när man kan driftsätta långsamfilter efter skumning eller vid etablering av nya långsamfilter. Resultaten har publicerats i *Water Research* (doi:10.1016/j.watres.2018.03.032). Den bakteriella floran i ingående och utgående vatten har också taxonomiskt bestämts med hjälp av massiv parallellsekvensering (MPS) i långsamfilter med olika mognadsgrad på Ringsjöverket. Resultaten som överensstämmer med tidigare FCM-analys bekräftar att långsamfilter förändrar bakteriesammansättningen till fördel för s.k. ultramikrobakterier eller LNA-bakterier (Low Nucleic Acid). Funktionen är inte kopplad till *schmutzdecke*, det översta biofilmslagret, utan biofilmen i hela

sandbädden. Sandy Chans avhandling, "Processes governing the drinking water microbiome", som försvarades 26 oktober 2018, visar att det är en specifik bakteriesammansättning som återfinns i funktionella långsamfilter samt att biofilmen hos nyetablerade filter med tiden blir alltmer lik funktionella långsamfilter. Sandy Chan har också visat att MPS-data korrelerar med FCM-data, vilket verifierar att flödescytometriska spektraanalyser faktiska återger specifika förändringar i bakteriesammansättningen. Projektet som har finansierats med medel från VR och Sweden Water Research kommer att följas upp med ytterligare bioinformatik innan den publiceras i en vetenskaplig tidskrift. Resultaten har presenterats på Sweden Water Research Day (Malmö), IWA Sweden Biofilms in Drinking Water Supply Systems symposium (Lund), och Nordic Drinking Water conference (Oslo).

4. Kommunikation och publicering

I detta kapitel beskrivs hur resultaten från forskning och samverkan inom DRICKS har spridits ut till den svenska dricksvattenbranschen men också till övriga forskarvärlden och allmänheten.

4.1 DRICKS seminarier

Under 2018 arrangerades ett DRICKS-internat, en workshop och tre DRICKS-seminarium. I januari samlades alla inom DRICKS för att delta vid det årliga DRICKS-internatet, som hölls i Alingsås. Vid internatet deltog DRICKS berednings- och styrgrupper samt representanter från samtliga medlemskommuner och forskningsmiljöer. Arbetet under de två dagarna innebar startskottet för den nya programperioden, och arrangerades som workshops kring de fyra huvudsakliga arbetspaketen. Bakgrund, syfte och planerat arbete presenterades för varje arbetspaket och därefter hölls workshopar med fokus på aktiviteter att inkludera i arbetspaketen.

Två DRICKS-seminarier om kemiska risker arrangerades under 2018. Ett seminarium med fokus på kemiska hälsorisker hölls i Uppsala i samband med att Vattenforskar skolan hade en sammankomst där under oktober. För att nå så många som möjligt, erbjöds deltagande via videolänk. Under seminariet presenterades förekomst av OMP och en teknik för provtagning av passivprovtagare (Ahrens och Ejhed, vid intresse kan dessa presentationer erhållas från Lutz.ahrens@slu.se och helen.ejhed@norrvatten.se). Därefter diskuterades användning av passiva provtagare i vattenverk och smartare provtagningsstrategi för att minska antal prover samt hur man möjligen kan minska effekter för tidsförskjutning av olika beredningssteg. Prover kan samlas från olika ställen och frysas direkt och därefter blandas. Eftersom det inte fanns ett stort intresse för detta i nuläge togs det än så länge inga beslut om en samordnad passivprovtagning under 2019.

Det andra seminariet arrangerades i samband med Sandy Shans disputation i Lund i slutet av oktober, då opponenter Fredrik Hammes från EAWAG gav en presentation på temat "Managing the drinking water microbiome in new buildings: microbial ecology influenced by consumer choices and engineering decisions".

En workshop kring biostabilitet arrangerades i Stockholm i september. Här diskuterades begreppet biostabilitet som ofta används för dricksvatten. Vad är egentligen biostabilitet och hur kan man mäta det? Det gavs presentationer om olika mätmetoder samt praktiska exempel från utvärderingar på olika vattenverk. Deltagarna fick även möjlighet att gemensamt diskutera och definiera vilka frågeställningar som är viktigast för att utvärdera biostabilitet på de deltagande vattenverken för att hitta rätt analysmetoder.

4.2 Vetenskaplig publicering, konferenser, möten

Under året har forskare inom DRICKS publicerat vetenskapliga artiklar i välrenommerade referee-granskade tidskrifter samt flera konferensbidrag, både i form av muntliga presentationer, posterpresentationer och som posterbidrag. En doktorsavhandling samt tre licentiatavhandlingar har publicerats. Ett antal tekniska rapporter har också publicerats. Både forskare verksamma inom DRICKS samt representanter från medlemskommuner och vattenverk har aktivt deltagit i flera olika nationella och internationella konferenser och seminarier samt workshops under 2018. I kapitel 6 redovisas de publiceringar som genomförts inom DRICKS.

4.3 DRICKS hemsida och nyhetsbrev

DRICKS hemsida www.dricks.chalmers.se utgör den primära informationskanalen för DRICKS och är ett skyltfönster mot våra intressenter. Hemsidan syftar till att beskriva DRICKS genom att presentera en översiktlig bild av verksamheten. Här beskrivs resultat såväl som pågående forskning, forskarutbildning och undervisning, hur detta kommer samhället till nytta, hur organisationen är uppbyggd och vilka forskare och experter som är knutna till DRICKS.

Målet med DRICKS hemsida, som kanal sett, är att våra identifierade målgrupper relativt enkelt ska kunna finna den informationen och/eller inspirationen de söker. Tonalitet och tilltal skiljer sig med andra ord i viss mån åt på respektive undersida – anpassat efter de olika målgrupperna.

Hemsidan har en typiskt statisk prägel, undantaget nyhets- och kalenderfunktionen. Under 2018 har hemsidan utvecklats med fler bilder och tydligare rubriker och undersidor. Arbetet med hemsidan och dess innehåll är således ett pågående arbete, dels ifråga om utveckling av strukturen, men framförallt när det handlar om publicering av material rörande vår forskning och information kring våra aktiviteter.

Under 2018 introducerades DRICKS nyhetsbrev där det första brevet skickades ut i april 2018. Nyhetsbrevet syftar till att ge medlemmar och intressenter inblick i vad som sker i verksamhet, skapa intresse för projekten och visa på samverkansmöjligheter. Nyhetsbreven innehåller bland annat information om nya projekt och resultat från pågående projekt, publikationer och kommande arrangemang.

En nyhet som vi vill lyfta fram är att Alexander Keucken, utvecklingschef på Vivab och ledamot i DRICKS styrgrupp, har utsetts till ordförande för den europeiska samarbetsorganisationen EurEaus gruppering för innovationer inom vattensektorn. Organisationens övergripande uppgift är att samla expertis för att kunna stödja andra EU-organ och påverka beslutsfattare i frågor kring vattenkvalitet, resurseffektivitet och tillgång till vatten.

– Det är väldigt hedrande att EurEau, med stöd av Svenskt Vatten, har utsett mig till ordförande för en arbetsgrupp som fokuserar på innovationsfrågor. Jag är övertygad om att uppdraget kommer att vidga min professionella horisont i det dagliga arbetet. Det kommer också skapa nya nätverk som är till nytta för både min arbetsgivare och den nationella branschorganisationen, säger Alexander Keucken.

5. Undervisning kopplad till DRICKS

I detta kapitel beskrivs de insatser som gjorts inom grundutbildningen, utveckling av kurser och examensarbeten, för att verka för att fler studenter inriktar sig mot dricksvatten i sin utbildning. Under 2017 startades även en Vattenforskarsskola i samverkan med de övriga tre SVU-finansierade vattenklustren.

5.1 VA-kurser och kursutveckling

Vid alla tre lärosäten, dvs Chalmers, Lunds universitet och SLU, finns kurser som har direkt koppling till DRICKS och de olika tematiska områden som programmet täcker. Inom Vattenforskarsskolan har Stephan Köhler och Olof Bergstedt utvecklat och genomfört en doktorandkurs i dricksvattenteknik. Även dricksvattenproducenter var välkomna och flera deltog i kursen.

Vid Chalmers ges kurser som kopplar till dricksvatten och va-teknik samt riskbedömning och beslutsstöd. Kurserna ingår i Masterprogrammet "Infrastructure and Environmental Engineering" samt en grundkurs i Hydraulik och va-teknik som ges i kandidatprogrammen Väg- och vattenbyggnad samt i Byggingenjörprogrammet. Följande kurser innehåller dricksvattenrelaterade frågeställningar i olika omfattning:

Drinking Water Engineering

Dricksvattenteknik i hela systemet behandlas i denna kurs, vilket delas in i tre delmoment; råvatten, beredning och distribution. Vi har ett moment i beredningsteknikdelen där studenterna använder sig av QMRA-verktyget (utvecklat i ett SVU-projekt) för att bedöma de hälsomässiga riskerna för konsumenter som försörjs av vattenverk med varierande uppsättningar beredningsprocesser. Inom distribution så genomför studenterna en dimensionering av ledningsnätet i ett nytt bostadsområde med hjälp av EPANet. Kursen är numera valfri i programmet och årligen läser ca 30 studenter (både svenska och internationella) denna kurs. Kursen har fått mycket bra kritik av studenterna samt från flera konsultföretag i Göteborg, som anställt nyutexaminerade civilingenjörer med VA-teknik som huvudinriktning.

Risk Assessment and Decision Support

Denna kurs är fokuserad på hur riskbedömningar och specifika beslutsanalyser såsom kostnadsnyttoanalys och multikriterieanalys kan användas som beslutsstöd i syfte att minska existerande risker till en acceptabel nivå. Under kursen lär sig studenterna tekniker för att jämföra åtgärdsalternativ och utvärdera resultaten. För att praktisera de teoretiska kunskaperna får studenterna genomföra ett projektarbete kopplat till ett dricksvattensystem med konstgjord grundvatteninfiltration. I storleksordningen 30-40 studenter läser kursen varje år (svenska och internationella). Kursen har fått mycket goda omdömen.

Environmental Risk Assessment in Engineering

Kursen syftar till att lära ut grunderna i riskbedömning och fokuserar främst på miljörelaterade risker. Studenterna får en orientering i de olika delar som riskhanteringsarbetet består av och får fördjupa sig i hur risker kan analyseras. En central del av kursen utgörs av ett projektarbete där studenterna själva får analysera riskerna kopplade till ett förorenat område. En av de aspekter de ska beakta är vilka konsekvenser saneringen av området kan få på den intilliggande vattentäkten. I storleksordningen 20-30 studenter läser kursen varje år (svenska och internationella). Kursutvärderingen visade att ämnet uppfattades som angeläget och kursen har fått goda omdömen.

Modellering och problemlösning inom geo och vattenteknik

Kursen syftar till att lära sig att ställa upp och utvärdera en modell. Kursen är inriktad på vattenkvalitetsmodellering samt geologisk modellering. En central del i kursen utgörs av ett projektarbete där studenterna får öva sina färdigheter på att lösa en öppen problemställning. I storleksordningen 70 studenter läser kursen varje år.

Risk assessment and risk management

Vid Chalmers utvecklades under år 2017 kursen *Risk assessment and risk management* som del av vattenforskarsskolan (Water Research School). Kursen ger en orientering i riskbedömning och riskhantering inom VA-området och deltagarna får i egna projekt identifiera och analysera risker kopplade till sitt eget arbetsområde.

From research to policy for sustainable development

Kursen har utvecklats i samverkan med forskare och policy experter vid Göteborgs centrum för hållbar utveckling, GMV, och utgör en del av kursutbudet i den klustergemensamma vattenforskarsskolan. Kursen kombinerar teorier och faktorer som påverkar upptagandet av forskningsresultat i policy processer med praktiska övningar.

Vid Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU, ges följande kurs med inriktning mot dricksvattenbehandling:

Distribution and treatment of drinking water

Efter godkänd kurs ska studenten kunna: identifiera lämpliga råvattenkällor för kommunal användning utifrån deras beskaffenhet och tillgång, samt diskutera de viktigaste utmaningarna för dricksvattenförsörjningen i Norden, beräkna lösligheten av gaser och lösta ämnen utifrån jämviktsreaktioner, beskriva syften och principerna för olika beredningssteg i dricksvattenproduktion, beräkna och redogöra för förändringar i kemisk och mikrobiell sammansättning som ett resultat av bland annat sand- och membranfiltrering, flockulering, sedimentation, jonbyte, adsorption samt olika desinfektionsmetoder, redogöra för grundprinciperna för ett distributionsnät för dricksvatten och för ett avloppsledningsnät, bestämma lämpliga hydrauliska dimensioner för ett vattenlednings- och avloppsledningsnät och bedöma och diskutera Livsmedelsverkets anvisningar för dricksvattenkvalitet. Under kursen genomförs ett projektarbete som har varit att ta fram Wikipedia sidor på svenska som relaterar till dricksvattenberedning. Eftersom kursen genomförs på engelska så kommer det kunna utgöra ett bra underlag den framtida kurser inom beredning för water reserach doctorate school.

Genomförd praktisk utbildning i vattenanalys via Lunds universitet:

DNA-baserad flödescytometri används idag regelbundet för att följa beredningen av dricksvatten på Ringsjöverket (Sydvatten) och Kvarnagårdens vattenverk (VIVAB) samt i deras respektive distributionssystem. Nämnda vattenverk/bolag plus Norrvatten, Stockholm Vatten, Tekniska Verken och VA SYD har genomgått en praktisk utbildning i vattenanalys med DNA-baserad flödescytometri för att underlätta implementering av metoden.

Pipe systems engineering

Ger en omfattande teoretisk förståelse av hydrauliken bakom rörströmning och rörsystem. I kursen ingår analys, design, planering och förvaltning av rörledningar och rörsystem för vatten, avlopp, fjärrvärme och fjärrkyla

5.2 Examensarbeten

Under 2018 har 16 studenter genomfört 11 examensarbeten och kandidatarbeten inom samtliga delområden – från råvatten till tappkran. På DRICKS hemsida (www.dricks.chalmers.se) under Publikationer presenteras samtliga examensarbeten som genomförts under 2018, och de finns även listade i kapitel 6.5 Examensarbeten.

6. Referenser

I detta kapitel redovisas alla publikationer som producerats inom DRICKS under 2018 – från vetenskapliga artiklar, forskningsrapporter och doktorsavhandlingar till populärvetenskapliga artiklar.

6.1 Vetenskapliga publikationer

Bergion, V., Lindhe, A., Sokolova, E. & Rosén, L. (2018, *in press*). Economic valuation for cost-benefit analysis of health risk reduction in drinking water systems. *Exposure and Health*.

<https://doi.org/10.1007/s12403-018-00291-8>

Bergion, V., Lindhe, A., Sokolova, E. & Rosén, L. (2018). Risk-based cost-benefit analysis for evaluating microbial risk mitigation in a drinking water system, *Water Research*, **132**(1), 111-123.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.054>

Bergion, V., Lindhe, A., Sokolova, E., Rosén, L. (2018). Risk-based cost-benefit analysis for evaluating microbial risk mitigation in a drinking water system. *Water Research* **132**, 111-123.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.054>

Bondelind, M., Markwat, N., Toljander, J., Simonsson, M., Säve-Söderbergh, M. & Morrison, G.M. (2018). Building trust: the importance of democratic legitimacy in the formation of consumer attitudes toward drinking water. *Water Policy*, **21**(1): 1-18. <https://doi.org/10.2166/wp.2018.144>

Chan, S., Pullerits, K., Riechelmann, J., Persson, K.M., Rådström, P., Paul, C.J. (2018). Monitoring biofilm function in new and matured full-scale slow sand filters using flow cytometric histogram image comparison (CHIC). *Water Research* **138**, 27-36. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.03.032>

Gobelius L, Hedlund J, Dürig W, Tröger R, Wiberg K, Lilja K, Ahrens L. (2018). Per- and polyfluoroalkyl substances in Swedish groundwater and surface water: Implications for Environmental Quality Standards and drinking water guidelines. *Environmental Science & Technology* **52**, 4340-4349.

Gyllenhammar I, Benskin J, Sandblom O, Berger U, Ahrens L, Lignell S, Wiberg K, Glynn A. (2018). Perfluoroalkyl acids (PFAAs) in serum from 2-4-month-old infants – influence of maternal serum concentrations, gestational age, breastfeeding and contaminated drinking water. *Environmental Science & Technology* **52**, 7101-7110.

Moona N., Murphy K.R., Bondelind M., Bergstedt O., and Pettersson T.J.R. (2018). Partial renewal of granular activated carbon biofilters for improved drinking water treatment. *Environmental Science: Water Research & Technology*, **4**(4), 529-538

Murphy K.R., Timko S.A., Gonsior M., Powers L., Wunsch U., Stedmon C.A. (2018). Photochemistry illuminates ubiquitous organic matter fluorescence spectra. *Environmental Science & Technology*, **52**, 11243-11250.

Pohl, J., Ahrens, L., Carlsson, G., Golovko, O., Norrgren, L., Weiss, J., Örn, S. (2018). Embryotoxicity of ozonated diclofenac, carbamazepine, and oxazepam in zebrafish (*Danio rerio*). *Chemosphere Volume* **225**, 191-199. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.034>

Rosenmai AK, Lundqvist J, Gago-Ferrero P, Mandava G, Ahrens L, Wiberg K, Oskarsson A. (2018). Effect-based assessment of recipient waters impacted by on-site, small scale, and large scale waste water treatment facilities – combining passive sampling with in vitro bioassays and chemical analysis. *Scientific Reports* 21, **8**(1), 17200-.

Rosenmai AK, Lundqvist J, Le Godec T, Ohlsson Å, Tröger R, Hellman B, Oskarsson A. (2018). In vitro bioanalysis of drinking water from source to tap. *Water Research* **139**, 272-280.

Sjöstrand, K., Lindhe, A., Söderqvist, T. & Rosén, L. (2018). Sustainability assessments of regional water supply interventions – Combining cost-benefit and multi-criteria decision analyses. *Journal of Environmental Management*, **225**, 313-324. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.077>

Tröger R, Klöckner P, Ahrens L, Wiberg K. *Micropollutants in drinking water from source to tap - method development and application of a multiresidue screening method*. *Science of the Total Environment* **627**:1404–1432.

Victor V., Malm A., and Pettersson T.J.R. (2018). Overview of microbial risks in water distribution networks and their health consequences: quantification, modelling, trends, and future implications. *Canadian Journal of Civil Engineering*, **3**, 149-159.

Wünsch, U.J., Acar, E., Koch, B.P., Murphy, K.R., Schmitt-Kopplin, P. & Stedmon, C.A. (2018) The Molecular Fingerprint of Fluorescent Natural Organic Matter Offers Insight into Biogeochemical Sources and Diagenetic State. *Analytical Chemistry*, **90**(24), 14188-14197

Wünsch UJ, Geuer JK, Lechtenfeld OJ, Koch BP, Murphy KR, CA Stedmon (2018). Quantifying the impact of solid-phase extraction on chromophoric dissolved organic matter composition. *Marine Chemistry*, **207**, 33-41.

6.2 Konferensartiklar och andra konferensbidrag (muntliga såväl som posterpresentationer)

Bergion V., Lindhe, A., Sokolova, E. & Rosén, L. (2018). Ekonomisk värdering av reducerad hälsorisk. Forskning- och innovationskonferens för hållbara vattentjänster, Svenskt Vatten, Malmö, Sweden, November 29-30.

Lindhe, A., Hermansson, A., Wångsell, C., Bergstedt, O. & Ekblad, T. (2018). Assessing supply interruption risks and mitigation measures in drinking water systems. NORDIWA – The 11th Nordic Drinking Water Conference, Oslo, Norway, June 11–13.

Rosén, L., Lindhe, A., Bergion, V., Sokolova, E., Lång, L.-O. & Sköld, N.-P. (2018). Comprehensive calculations of microbial risks in drinking water systems. NORDIWA – The 11th Nordic Drinking Water Conference, Oslo, Norway, June 11–13.

Bergion, V., Lindhe, A., Sokolova, E. & Rosén, L. (2018). Economic valuation of health risk reduction in drinking water systems. NORDIWA – The 11th Nordic Drinking Water Conference, Oslo, Norway, June 11–13.

M. Heibati, C. A. Stedmon, O. Bergsted and K. Murphy (2018). The role of dissolved organic matter in UV disinfection of drinking water, forsknings- och innovationskonferens för hållbara vattentjänster, 2018, Malmö, Sweden

M. Heibati, C. A. Stedmon, O. Bergsted and K. Murphy (2018). Is there a fluorescent disinfection residual following UV treatment of drinking water? International workshop on organic matter spectroscopy 2018 (WOMS 2018), La Garde, France

N. Moona, M. Bondelind, O. Bergsted, T.J.R. Pettersson, and K. R. Murphy (2018). Distinguishing adsorption from biological degradation in BAC filters, forsknings- och innovationskonferens för hållbara vattentjänster, 2018, Malmö, Sweden

N Moona, K. R. Murphy, M. Bondelind, O. Bergstedt, T.J.R. Pettersson (2018). Partial replenishment of biological activated carbon filters to improve natural organic matter removal. IWA World Water Congress & Exhibition 2018, Tokyo, Japan.

K. Murphy (2018). New approaches to fluorescence analysis reveal ubiquitous signals in DOM. Keynote presentation at DOM Workshop: Predicting the interactivity of dissolved organic matter across terrestrial and aquatic ecosystems, Nov 20-21, Lund.

Tröger, R., Ahrens, L., Wiberg, K. *Screening of organic micropollutants in Sweden's two biggest drinking water sources*. SETAC Asia Pacific, Daegu, Korea, September 16-20, 2018. Oral presentation.

Wiberg, K. *SafeDrink och planer för ett nationellt kompetenscentrum kemiska risker*. Nationell Dricksvattenkonferens, Västerås, October 23-24, 2018. Invited speaker.

Köhler, S. *Aktivt kol som kemisk barriär*. Nationell Dricksvattenkonferens, Västerås, October 23-24, 2018. Invited speaker.

Ahrens, L. *Treatment techniques of PFASs in drinking water and soil*. PFAS-nätverksmötet, Stockholm, November 14, 2018. Invited speaker.

Golovko, O, Rehrl, A-L, Köhler, S, Ahrens, L. *Distribution of organic micropollutants in water and sediments from Lake Mälaren, Sweden*. SETAC Asia Pacific, Daegu, Korea, September 16-20, 2018. Poster presentation.

Rehrl, A-L, Köhler, S, Ahrens, L, Golovko, O. *Spatial and seasonal distribution of organic micropollutants in Lake Mälaren, Sweden*. SETAC Asia Pacific, Daegu, Korea, September 16-20, 2018. Oral presentation.

Köhler, S, J, Golovko, O, et al. *Occurrence of selected organic micropollutants in Swedish surface waters and their removal for drinking water productions*. Invited speaker.

Keucken, A. Heinicke, G. Persson, K. M. Köhler, S. J. (2018) *Processus combiné de coagulation et d'ultrafiltration pour combattre l'augmentation de la NOM dans l'eau de surface brune*. JIE poitiers (Oral presentation, in French) 9.11.oktober, Poitiers, Frankrike

Köhler S, J. *Smartare dricksvattenproduktion – om sensorer och digitalisering*. VA Mässa Jönköping föredrag 26 oktober för friskt dricksvatten Arrangör: Svenskt Vatten.

Köhler, S. J, et al. (2018) *Vad gör Sveriges längsta underjordiska vattenverk för oss Uppsalabor nu och i framtiden?* Stephan Köhler - professor i miljögeokemi vid Institutionen för vatten och miljö på Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). Föredrag Uppsala åsen hos Landshövdingen 18 april.
<https://mp.uu.se/web/nyheter/-/forskarna-pa-slottet-en-ny-arena-for-mote-mellan-samhalle-och-akademi>

Köhler, S. J, Lindbjaer et al. *An investigation of natural organic matter (NOM) removal associated with 50 years of artificial infiltration in the Uppsala esker.* Nordiwa Oslo 11-13. Juni
(<https://nordiwa.no/programme/>)

Cascone, C et al. (2018) *Function analysis of the Uppsala esker: removal of natural organic matter (NOM) by managed aquifer recharge of groundwater vs chemical flocculation,* Nordiwa, the 11th Nordic Drinking Water Conference, 18-06-11 – 18-06-13, Oslo, Norway: oral and poster presentation (10 min presentation) by Claudia Cascone and Olov Stenberg, SLU.

Hoffmeister, S, (poster) Nordiwa, the 11th Nordic Drinking Water Conference, 18-06-11 – 18-06-13, Oslo, Norway: oral and poster presentation

Hoffmeister, S et al. *Application of Optical Sensors To Study Turbidity and DOC Dynamics of the Fyrisån Catchment,* Uppsala, Sweden EGU general assembly Vienna 2018
<https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2018/EGU2018-15542.pdf> (oral presentation)

Cascone, C et al. *Optiska sensorer för online bestämning av organiskt kol. A new key to characterize natural organic matter (NOM) and optimize the DWT processes,* Svenskt vatten, Forskning- och innovationskonferens för hållbara vattentjänster, and Swedish Water Research, 18-11-29 – 18-11-30, Malmö, Sweden: oral presentation (15 min presentation) by Claudia Cascone, SLU

Cascone, C et al. IWA Specialist Conference on Natural Organic Matter in Water, 19-10-07 – 19-10-10, Tokyo, Japan: abstract submitted as oral presenter, "Use of in-situ optical sensors data as natural organic matter (NOM) fingerprint and as an early warning system in the drinking water treatment: what are we still missing?"

Köhler, S. J. et al. Almedalen 3- 4 April. Svenskt Vatten. Uthållig vattenförsörjning i samarbete med Gästrik vatten. Nyttjar vi mark- och vattenresurserna på ett hållbart sätt? Dricksvattenförsörjning kontra tillväxt. Tillgången till ett hållbart dricksvatten är en förutsättning för att våra städer ska kunna finnas och utvecklas. Vilka avvägningar måste göras för att säkra en hållbar vattenförsörjning i såväl små som stora kommuner även under kraftig tillväxt?

Paul, C.J., Chan, S., Pullerits, K., Keucken A., Persson, K.M., Rådström, P. *Livet i ett dricksvattensystem – nya avancerade analysmetoder ger nya insikter om vad som händer mellan vattentäkt och konsument.* Svenskt Vatten (Swedish Water and Waste Water Association), Research and Innovation for Safe Drinking Water, Malmö, Sweden, 2018.

Chan S, Pullerits K, Keucken, A., Persson KM, Rådström P, Paul CJ. 2018. *Assessment of the mobile biofilm microbiome in distributed drinking water following installation of a hybrid ultrafiltration process, in Varberg, Sweden.* Nordic Drinking Water Conference, Oslo, Norway.

Chan S, Pullerits K, Salomonsson EN, Hägglund M, Ahlinder J, Forsman M, Persson KM, Rådström P, and C.J. Paul. 2018. *The establishment of bacterial communities in full-scale slow sand filters.* Nordic Drinking Water Conference, Oslo, Norway (poster).

Pullerits K, Holmer L, Näslund Salomonsson E, Öhrman C, Ahlinder J, Forsman M, Dryselius R, Jacobsson K, Paul CJ and P Rådström. 2018. *The impact of UV irradiation on the bacterial community in drinking water at full scale*. Nordic Drinking Water Conference, Oslo, Norway (poster).

Chan S. Pullerits, K., Riechelmann, J., Persson, K.M., Rådström, P., Paul, C.J. 2018. *Bacterial communities in slow sand filters*. IWA Sweden Biofilms in Drinking Water Systems, Lund.

Pullerits K, Chan S, Keucken, A., Persson KM, Rådström P, Paul CJ. 2018. *Impact of ultrafiltration on the distribution system biofilm*. IWA Sweden Biofilms in Drinking Water Systems, Lund.

Paul CJ. 2018. *Where does the biofilm begin?* IWA Sweden Biofilms in Drinking Water Systems, Lund.

Martin T. and Paul CJ., 2018. *Induced Polarization lab measurements on E. coli-sand mixtures*, 5th International Workshop on Induced Polarization Rutgers University, Newark, USA. (poster)

Pullerits K. 2018 *Impact of ultrafiltration on the distribution system biofilm*. Workshop on Smart Water Networks – RISE Research Institute of Sweden & TZW German Water Centre, Lund.

Pullerits K. 2018 *Vad har UV för effekt på bakterierna i vårt dricksvatten?*. Sweden Water Research dagen, Malmö.

Chan S. 2018. En doktor presenterar - Processes governing the drinking water microbiome. Sweden Water Research dagen, Malmö.

Rådström P. 2018. Vattenanalys med flödescytometri. Snabbare och effektivare analysmetoder för ökad livsmedelssäkerhet, 30 maj 2018, Göteborg.

Rådström P. 2018. Goda och onda bakterier i vårt viktigaste livsmedel – dricksvatten. Lunds senioruniversitet 9 oktober 2018, Lund.

Rådström P. 2018. Drinking water analysis (DNA-based flow cytometry and amplicon NGS). NOVA, Molecular methods for detection of food- and waterborne pathogens, March 5-8, 2018, Helsinki.

Rådström P. 2018. Pre-PCR processing. ESCMID Principles of Molecular Microbiological Diagnostics, 17 January 2018 - 19 January 2018, Maastricht, Netherlands

6.3 Doktors- och licentiatavhandlingar

Chan S. (2018). *Processes governing the drinking water microbiome*. Doctoral Thesis. Applied Microbiology, Lund University, Lund.

Sjöström, K (2018). Decision Support Model for a Sustainable Regional Water Supply. Licentiatavhandling, Chalmers tekniska högskola.

https://research.chalmers.se/publication/502933/file/502933_Fulltext.pdf

Vinas Cos V. (2018). Assessing the health consequences of deficiencies in water distribution networks: a basis for future network management. Licentiatavhandling, Chalmers tekniska högskola.

https://research.chalmers.se/publication/506524/file/506524_Fulltext.pdf

6.4 Rapporter

Bergion V (2018). Beslutsmodell för mikrobiella dricksvattenrisker – Verktyg för åtgärdsprioritering. SVU-rapport 2018-12, <http://vav.griffel.net/filer/svu-rapport-2018-12.pdf>.

Delrapport GV2060_PILOT – FÖRSÖK 1A: O3 + GAC [Ozonpiloten] (Internrapport Norrvatten) (ta kontakt med Elin.lavonen@norrvatten.se för eventuell insyn)

Delrapport GV2060_PILOT – FÖRSÖK 1B: O3 + GAC [Ozonpiloten] (Internrapport Norrvatten) (ta kontakt med Elin.lavonen@norrvatten.se för eventuell insyn)

Per Jonsson, David Lindgren, Malin Asplund, Helena Stavklint, Malin Magounakis, Saeed Mokhlesi, Thomas Pettersson, Mats Eriksson, Fredrik Winqvist, Christian Jonasson, Dag Ilver, Niklas Strömbeck (2018). Elektronisk tunga och andra onlinesensorer för detektion av föroreningar i dricksvattennätet – en utvärdering. SVU-rapport 2018-15.

Köhler, S, Claudia Cascone, C, och Karin Wallman, K, (2018). Halvtidsrapport SVU Genomljusning. Rapport är än så länge bara tillgänglig till deltagande vattenverk (Uppsala vatten, Vivab, Gästrik vatten, Norrvatten, Kretslopp och vatten, Teknisk verken, Sydvatten och Borås)

Sjöstrand, K., Lindhe, A., Söderqvist, T. & Rosén, L. (2018). Input data report for economic assessments of water supply interventions in the Göteborg region. Chalmers University of Technology. https://research.chalmers.se/publication/501182/file/501182_Fulltext.pdf

6.5 Examensarbeten

Bolander, Petter & Martinsson, Erik (2018). Risk-Based Cost-Benefit Analysis of Reliable Drinking Water Supply – A case study of Lake Kärnsjön, Munkedal. Master's Thesis ACEX30-17-2, Chalmers University of Technology. <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/254963/254963.pdf>

Danielsson M. (2018). Mapping of bacteria with flow cytometry – before, during and after treatment of drinking water. Master Thesis, Lund University.

Ekman S. (2018). Exploration of how UV disinfection affects the microbial community in drinking water. Master Thesis, Lund University.

Islam Sami Mashreki. (2018). Effective placement of sensors for efficient early warning system in water distribution network. Master's Thesis ACEX60-18-4, Chalmers University of Technology. <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/256357/256357.pdf>

Nassazzi, Winnie (2018). *Removal of poly- and perfluoroalkyl substances from water using the BDD electrode*. (Supervisors: Vera Franke, Lutz Ahrens) tillgänglig via <https://stud.epsilon.slu.se/13894/>

Niarchos, Georgios (2018). *Electrodialytic Remediation of PFAS Contaminated Soil*. (Supervisors: Mattias Sörengård, Lutz Ahrens) tillgänglig via <http://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1267892&dsid=-7154>

Oskarsson, Lina, Frihammar, Esmeralda, Wallin, Mathias, Gobl, Madeleine, Kjellgren, Ylva, Lampinen, Alexi och Jonsson, Jennifer (2018). Projektarbete *Sensorbaserad kvalitetskontroll av råvatten* Kandidatarbete Uppsala universitet. Uppsala University, Disciplinary Domain of Science and Technology, Earth Sciences, Department of Earth Sciences. <http://uu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1211687>

Rerhl, Anna-Lena (2018) Masters arbete *Occurrence and fate of organic micropollutants (OMPs) in Lake Mälaren* <https://stud.epsilon.slu.se/14185/> (open after 25 january 2020)

Rudrappa, Shashirekha, Zharkalli, Aleksandra (2018). Microbial risk assessment of potential pathogen intrusion during planned maintenance work of drinking water distribution system in Gothenburg, Sweden. Master's Thesis ACEX60-18-110, Chalmers University of Technology. <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/256375/256375.pdf>

Sköld, Nils-Petter (2018). Risk Based Economic Evaluation of Water Supply Safety Measures. A Case Study at Kvarnagården Drinking Water Treatment Plant. Master's Thesis ACEX60-18-2, Chalmers University of Technology. <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/255799/255799.pdf>

Sternberg, Olov. (2018). *Fördjupad funktionsanalys av Uppsalaåsen: Avskiljning av organiskt material (NOM) vid konstjord infiltration och kemisk fällning*. Mastersarbete Uppsala universitet. <http://uu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1238454> (open after 31 december 2019)