Verksamhetsberättelse för

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

DRICKS 2020

Sammanfattning

År 2020 har varit ett speciellt år som präglats av coronapandemin och mycket i samhället har fått ställas om. Inom DRICKS har forskningen alltjämt kunna fortsätta att bedrivas i stort sett oförändrat men med något fall av förseningar i studier, medan DRICKS seminarier, utbildningar och möten styrts om till digitalt format under året.

Forskningen baserat på SVUs finansiering inom DRICKS är till stor del uppdelad i fyra arbetspaket inom vilka olika projekt och fallstudier äger rum:

- 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

Forskningen leds av de tre medlemsuniversiteten Chalmers, SLU och Lunds universitet och sker i nära samarbete med branschen. Under 2020 hade DRICKS tolv medlemsorganisationer i form av kommunala vattenproducenter.

Många projekt och fallstudier har ägt rum under 2020. Forskningsresultaten från dessa presenteras i kapitel 3. Inom AP 1 har man exempelvis utvecklat verktyget WISER, vilket är ett multikriterieverktyg som ger praktiskt stöd i beslutsprocesser. Verktyget går att ladda ner ifrån DRICKS hemsida. I AP 2 har man under året bland annat gjort studier av elektroniskt tunga, vilket är sensorer som placeras ut i ledningsnätet för att mäta olika substanser och som därmed kan ge varningar ifall man upptäcker anomalier. Inom AP3 har man undersökt förekomst av kemiska ämnen och barriärverkan. Exempelvis har man undersökt avskiljningsförmågan av läkemedel och PFAS. I AP4 ligger fokus på biofilter och mikrobiologiska barriärer och under året har studier bland annat publicerats kring biologiska processer i distributionssystemets biofilm, och vilka mikroorganismer, partiklar, näringsämnen mm som återfinns där?

För att nå ut med forskningsresultat till branschen och andra forskare så anordnar DRICKS olika seminarier, möten och workshops. Under 2020 arrangerade DRICKS en workshop kring kemiska risker, ett seminarium kring biofilmens påverkan på vattenkvalitet och en utbildning i QMRA. DRICKS deltar även i möten och konferenser för att sprida kunskap. Under året har det mesta skett genom digitala presentationer. Forskningsresultaten går även att ta del av i forskningsartiklar och genom olika rapporter. En del forskningsresultat har uppmärksammats i media. Till exempel gjorde Sveriges Radio ett reportage om gifter i Mälaren efter att en forskningsrapport från SLU släppts, och Aftonbladet intervjuade DRICKS föreståndare kring risker för dricksvattenbrist kopplat till pandemin.

Förutom de studier som genomförs av seniora forskare och doktorander, genomförs också värdefulla studier av studenter i form av examensarbeten. Dessa sker ofta i samverkan med DRICKS medlemmar. Under 2020 har 16 examensarbeten genomförts inom DRICKS.

De tre medlemsuniversiteten ger många kurser med koppling till vattenfrågor och målsättningen är att DRICKS ska bidra till att fler studenter får upp ögonen för VA branschen. DRICKS är även med och driver Vattenforskareskolan, vars kurser är öppna för både doktorander och yrkesverksamma.

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 ... 6
3. Forskningsresultat ... 7
3.1 Beslutsstöd för framtida utmaningar (AP1) ... 7
3.2 Hållbar drift av distributionsnät för säker vattenkvalitet (AP2) ... 12
3.3 Förekomst av kemiska ämnen och barriärverkan (AP3) ... 15
3.4 Biofilter och mikrobiologiska barriärer (AP4) ... 22
4. Kommunikation och publicering (AP5) ... 34
4.1 DRICKS seminarier & arrangemang ... 34
4.2 Vetenskaplig publicering, konferenser och doktorsavhandlingar ... 37
4.3 Populärvetenskaplig kommunikation ... 37
5. Undervisning kopplad till DRICKS ... 40
5.1 VA-kurser och kursutveckling ... 40
5.2 Examensarbeten ... 44
6. Referenser ... 46
6.1 Vetenskapliga publikationer ... 46
6.2 Konferensartiklar och andra konferensbidrag ... 47
6.3 Doktors- och licentiatavhandlingar ... 48
6.4 Rapporter ... 49
6.5 Examensarbeten ... 49

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.

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 där denna typ av arbete genomförts med finansiering från exempelvis EU, forskningsråd, myndigheter och vattenproducenter.

Dricksvattenbranschen i Sverige står inför en rad olika utmaningar idag och i framtiden. Hanteringen av åldrande system, effekter av klimatförändringarna, delvis nya kemiska 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 kring såväl drift av befintliga system, hur dessa kan optimeras och övervakas, samt ökad kunskap om hur möjliga riskreducerande åtgärder kan analyseras och prioriteras.

2. Projektprogrammet DRICKS

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

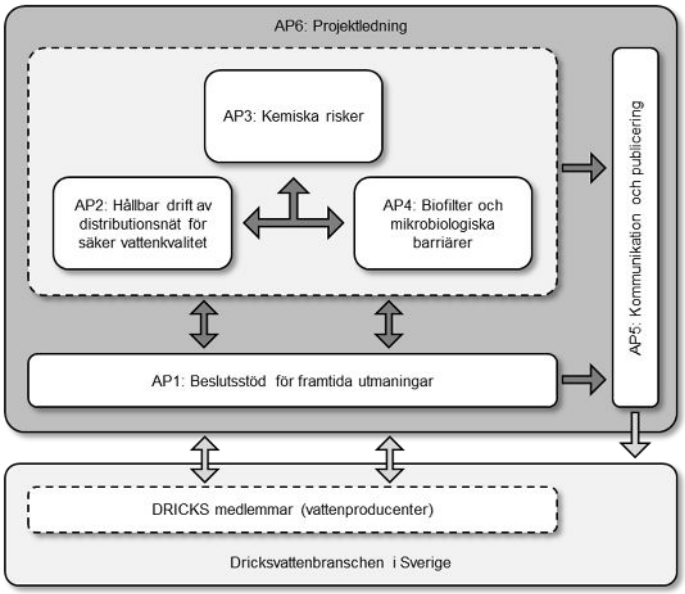
2.1 DRICKS integrerade projektbeskrivning

År 2020 markerar slutåret för SVU:s finansiering av programperioden 2018 – 2020. Ansökningsprocessen för denna programperiod genomfördes (under 2017) genom ett stort förankringsarbete tillsammans med dricksvattenbranschen. Arbetet inleddes med att DRICKS beredningsgrupp arbetade fram en lista över de viktigaste utmaningarna som dricksvattenbranschen ansågs står inför, och där listan även förankrades med DRICKS styrgrupp. I samband med det årliga DRICKS-internatet, där samtliga forskare och medlemsorganisationer deltar, gjordes ytterligare prioriteringar vilket ledde fram till att flera konkreta projektförslag presenterades. DRICKS ledningsgrupp bearbetade förslagen och arbetade fram ett programförslag med fyra större forskningsprojekt (se ***Figur 1***). DRICKS beslut att detta interna förarbete skulle utgöra grunden för programperioden, vilket även förankrades i en process med Svenskt Vattens fackkommittéer.

De fyra arbetspaket som utgjort kärnan i DRICKS forskningsarbete (finansierat av Svenskt Vatten) under programperioden 2018 – 2020 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 har ytterligare två arbetspaket ingått: Kommunikation och publicering (AP5) och Projektledning (AP6), vilka utgjort stommen för projektledning, administration och kommunikation av DRICKS verksamhet och aktiviteter. Utöver detta har DRICKS arbetat inom andra projekt, med andra finansiärer, som adresserar ytterligare viktiga frågeställningar inom DRICKS verksamhetsområde, med som inte har en tydlig koppling till ett specifikt arbetspaket.



Figur 1. Schematisk skiss på hur arbetspaketen, som utgör kärnan i DRICKS verksamhet, kopplar till varandra.

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.

2.2 Forskningsledare och forskarstuderande

Under innevarande programperiod har flera forskare och externa personer varit aktiva inom DRICKS, se *Tabell 1. Forskare och externa medverkande personer inom DRICKS delområden under 2020.*. 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. I tabellen redovisas inte samarbetet med DRICKS medlemsorganisationer, detta beskrivs istället i exempelvis avsnitt 3 och 2.3.

Föreståndare för DRICKS är Thomas Pettersson och vice föreståndare är Andreas Lindhe. DRICKS koordinator Maria Svane slutade vid årsskiftet 2020/2021 och ersattes av Moa Persson.

Tabell 1. Forskare och externa medverkande personer inom DRICKS delområden under 2020.

Delområde	Forskare och forskarstuderande	Externa medverkande
Riskbedömning	Lars Rosén, Andreas Lindhe, Karin Sjöstrand, Nadine Gärtner, Viktor Bergion, Lena Blom, Olof Bergstedt	Tore Söderqvist m.fl. (Anthesis)
Kemiska hälsorisker	Karin Wiberg, Lutz Ahrens, Stephan Köhler, Oksana Golovko, Malin Ullberg, Vera Franke, Rikard Tröger	Johan Lundqvist, Anders Glynn (SLU), Helen Ejhed (Norrvatten), Philip McCleaf (Uppsala Vatten)
Vattenresurser - Ytvatten	Ekaterina Sokolova, Viktor Bergion, Lena Blom, Andreas Lindhe, Nadine Gärtner, Karin Sjöstrand, Thomas Pettersson	Johan Åström (Tyréns) Åsa Sjöling (Karolinska)
Vattenresurser - Grundvatten	Lars-Ove Lång, Andreas Lindhe, Lars Rosén, Nadine Gärtner, Karin Sjöstrand	Per-Olof Johansson (Artesia)
NOM-karakterisering	Stephan Köhler, Kathleen Murphy, Claudia Cascone, Malin Ullberg	Marcus Korvela
Beredningsteknik	Mia Bondelind, Kate Murphy, Nashita Moona, Mohanna Heibati, Olof Bergstedt, Stephan Köhler, Peter Rådström, Catherine J. Paul, Kristjan Pullerits, Mikael Danielsson, Tage Rosenqvist	Kristina Nyström (Göteborgs universitet)
Mikrobiella ekosystemtjänster	Catherine J. Paul, Peter Rådström, Kristjan Pullerits, Tage Rosensvist, Mikael Danielsson	Niklas Gador (Högskola Kristianstad)
Distribution	Thomas Pettersson, Viktor Vinas, Peter Rådström, Catherine J. Paul, Kristjan Pullerits, Mikael Danielsson	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 produktivt samarbete med dricksvatten-branschen. Under 2020 har DRICKS samarbetat nära med sina 12 kommunala medlemsorganisation. Mycket av projektsamarbeten har under året fokuserats i de fyra arbetspaketen där flera fallstudier påbörjats och ytterligare flera fallstudier planerats.

Här följer några exempel på samverkan mellan DRICKS forskare, medlemmar och branschen i övrigt:

Lunds universitet har i samverkan med Kommunalförbundet Norrvatten, Stockholm Vatten och Avfall (SVOA), Sydvatten AB, Sweden Water Research AB (SWR), VA SYD, Vatten & Miljö i Väst AB (VIVAB) påbörjat tre dricksvattendistributionsprojekt med syfte att öka kunskapen om biofilmens inverkan på vattenkvaliteten hos konsument och i synnerhet hur distributionsstörningar, kvalitetsåtgärder och stagnant vatten påverkar kvaliteten. Distributionssystem i Stockholm, Lund och Varberg studeras med molekylärbiologisk analys (ATP, FCM, PCR och MPS), kemisk analys (NOM-analys med LC-OCD-OND) och traditionell vattenanalys för att systematiskt undersöka biostabilitet och åtgärder mot oönskad bakterietillväxt. Projektet med finansiering från nämnda dricksvattenproducenter och SVU syftar också till att utvärdera olika typer av rationell mikrobiologisk on-line analys.

På Ringsjöverket (Sydvatten) har en långsiktig studie med syfte att förstå biofilmsfunktionen i långsamfilter påbörjats. Det nya doktorandprojektet med finansiering från Formas inkluderar SVOA, Tekniska Verken, Jönköping, Nodra och förhoppningsvis Trollhättan. Projektet kommer att modellera den biologiska reningen i långsamfilter utifrån framtida klimatpåverkan där Högskolan Kristianstad utvecklar maskininlärningsapplikationer för flödescytometrisk mönsteranalys. Projektet leds av Lunds universitet.

Lunds universitet har tillsammans med VIVAB och Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI) i Umeå studerat utfasningen av monokloramin i Varbergs ledningsnät med fördjupad sekvenseringsteknologi. Preliminära resultat visade en markant biofilmsurlakning av bl.a. oönskade nitritbildande bakterier, potentiellt patogena bakterier och järnoxiderande bakterier, dvs. bakterier som har en direkt påverkan på vattnets kvalitet och säkerhet. Frisättningen av nämnda bakterier upphörde efter cirka 2 månader. Framtida studier är inriktade på bakterieidentifiering och karakterisering samt att analysera den sista provtagningskampanjen från vecka 7, 2021.

Industridoktorand Kristjan Pullerits har disputerat på avhandlingen, ”Impact of drinking water treatments and pipe biofilm on bacterial dynamics in the distribution system”. Kristjan har studerat hur UV och långsamfilter i vattenverk förändrar vattnets bakteriesammansättning samt hur biofilmen i distributionssystemet påverkas av ultrafiltrering med fällning. AP4 beskriver en del av de uppnådda resultaten.

Göteborgs universitet har tillsammans med flera DRICKS-medlemmar påbörjat SVU-projektet, ”Virus i dricksvatten - viabilitet och reduktion efter rening”, med fokus på att undersöka reduktionen av infektiöst virus i fullskalig dricksvattenproduktion.

Ett pilotskaleförsök har genomförts på Bäcklösa vattenverk i Uppsala för att studera borttagning av per- och polyfluoralkylerade ämnen (PFAS). I försöket användes membranfilter, anjonbytarfilter och aktivt kolfilter i kombination med varandra.

Norrvatten och SLU har genomfört ett pilotskaleförsök på Görvälnverket där kombinationen av ozonering och GAK studeras i detalj med avseende på DOC, organiska spårämnen (läkemedel m.m.) och flödescytometri.

En stor undersökning av förekomst av läkemedel och andra oönskade organiska spårämnen i de tre stora sjöarna i Sverige (Vänern, Vättern och Mälaren) samt deras tillrinnande vatten har genomförts av SLU i samarbete med ett EU-Life projekt, länsstyrelser, vattenvårdsförbund, m.fl. I studien ingick analyser av ingående/utgående vatten från ett stort antal reningsverk samt dricksvattenverk. Sammantaget har studien gett en bra bild över detektionsfrekvens och halter av ett stort antal oönskade ämnen i dessa nationellt viktiga vattentäkter.

Ett bibliotek av python-baserade skript för automatiserad behandling av signaler från optiska sensorer så som EXO2 eller spectro:lyser har tagits fram och är nu öppet tillgänglig för vattenverken. Skripten kan användas för att utvärdera tidsserier, variationer av halt och karaktär av organiskt kol för rå- och processvatten.

I slutet av år 2020 disputerade Karin Sjöstrand, industridoktorand på Chalmers och anställd vid RISE. Inom Karins projekt har ett flertal fallstudier genomförts med exempelvis kommunerna i Göteborgsregionen och under senare delen av arbetet även Gotland där fokus var på att analysera och utvärdera lösningar för att säkra tillgången på vatten. Arbetet har genomförts i nära samarbete med exempelvis regionen på Gotland, verksamhetsutövare och andra organisationer. Resultaten från fallstudierna har kommit till direkt nytta för Göteborgsregionen och Gotland samt utgör exempel för övriga VA-branschen och visar hur de utvecklade metoderna kan tillämpas och resultaten utnyttjas som beslutsstöd.

Multikriterieanalys och framtagandet av ett praktiskt tillämpbart verktyg är en central del i arbetspaket 1. Som del av arbetet har workshopar, demonstrationer och tillfällen att testa det utvecklade verktyget arrangerats. Under 2020 genomfördes även en fallstudie tillsammans med Norrvatten där multikriterieanalys tillämpades. Syfte med arbetet var att utvärdera processlösningar för ett nytt vattenverk.

Inom projektet *Riskbaserad prioritering av vattenskydd i hållbart samhällsbyggande* (WaterPlan) har under år 2020 potentiella fallstudier identifierats tillsammans med DRICKS medlemmar och andra i branschen. Riskbedömningar har påbörjats och kommer att fortsätta under några år i syfte att analysera vilken risk olika vattenresurser är utsatta för samt vilken effekt möjliga skyddsåtgärder kan ha. Under 2021 kommer även värderingsstudier att genomföras för att kartlägga hur mycket människor är villiga att betala för ett ökat skydd av våra vattentäkter.

Lerums kommun och Göteborg Stads har under många år utrett möjligheterna till konstgjord grundvattenbildning i Gråbodeltat i Lerums kommun. Under 2020 avslutades arbetet med den riskbaserade beslutsstödsmodell som Chalmers tagit fram och tillämpat tillsammans med kommunerna i syfte att analysera möjligheterna till konstgjord grundvattenbildning och ge vägledning för det fortsatta arbetet.

Inom projektet Mistra InfraMaint är DRICKS involverade i bland annat två delprojekt där det sker ett nära samarbete med branschen. Anna Ohlin Saletti är industridoktorand på Chalmers och anställd på Göteborgs Stad som också utgör fallstudie i projektet. I projektet kommer utvecklas beslutsstöd för

att hantera tillskottsvatten, ett problem som bland annat påverkar våra dricksvattentäkter. Viktor Bergion arbetar som postdoc vid Chalmers och samverkar med Skellefteå kommun i ett projekt med fokus på att utveckla riskbaserat beslutsstöd för underhåll och förnyelse av VA-ledningsnätet.

2.4 Användning av Svenskt Vattens medel

Under 2020 har Svenskt Vatten Utveckling (SVU), enligt projektkontraktet för denna programperiod, finansierat DRICKS med 2 000 kkr, fördelat på Chalmers 1300 kkr (varav 50 kkr till Linköpings univ.), SLU 350 kkr och Lunds universitet 350 kkr.

De kostnader som DRICKS haft under 2020 har uppgått till 2154 kkr (Chalmers 1191 kkr, SLU 377 kkr, Lunds universitet 509 kkr, Linköpings universitet 77 kkr). Andra tydligt 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 2020 uppgår totalt till minst 14,5 Mkr, vilket ger en betydande uppväxling av DRICKS kostnader under året. En mer detaljerad ekonomisk redovisning av kostnaderna under 2020 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 2020 och hur det fortsatta arbetet ser ut, ur ett branschperspektiv. Resultaten från doktorandprojekt och kortare projekt redovisas under respektive delområde i detta kapitel.

3.1 Beslutsstöd för framtida utmaningar (AP1)

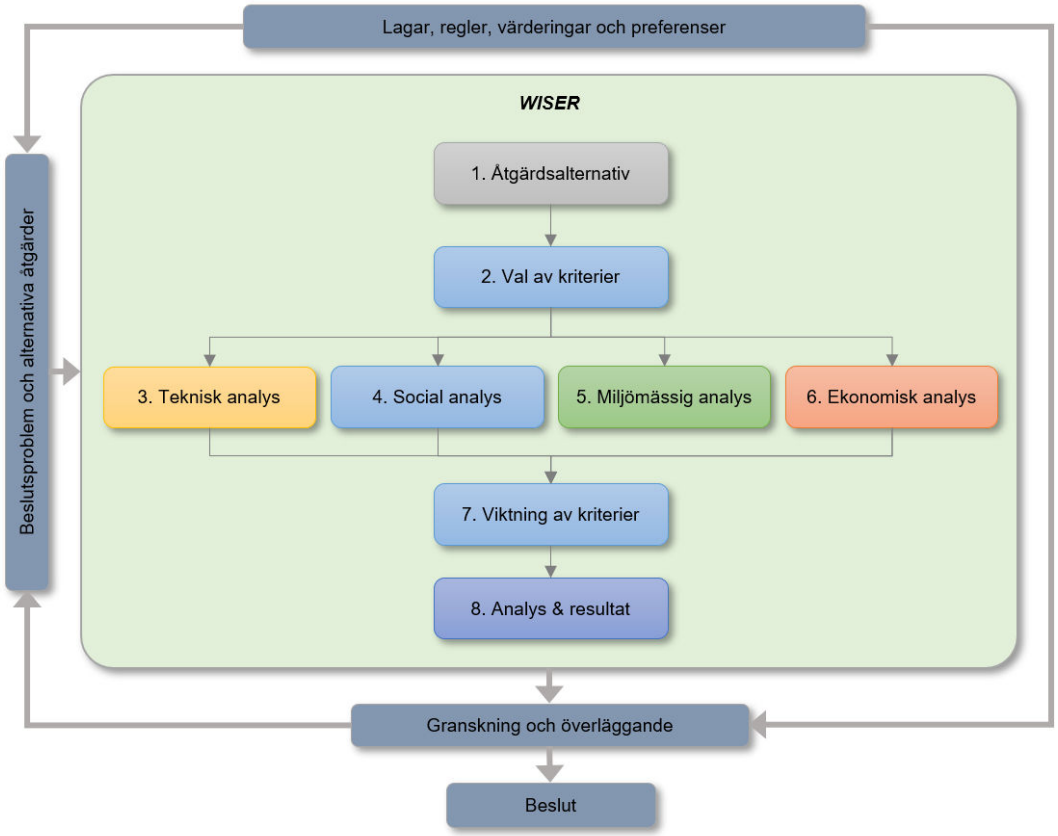
Arbetspaket 1 innefattar fyra huvudkomponenter med fokus på att beskriva beslutsproblem (1.1), anpassa en beslutsstödsmetod till dricksvattentillämpningar (1.2), ta fram underlag till den beslutsstödsmetod som utvecklas (1.3) samt att beskriva ett ramverk för beslutsstöd (1.4). Syftet med arbetet som helhet har varit att utveckla ett praktiskt användbart verktyg för beslutsstöd som är tillgängligt för dricksvattenbranschen. Det utvecklade verktyget beskrivs nedan och sammanfattar arbetet inom de fyra huvudkomponenterna. Det bedrivs även flera andra projekt med fokus på riskbaserat beslutsstöd och de viktigaste aktiviteterna och resultaten från arbetet under 2020 presenteras nedan även för dessa projekt.

Verktyg för multikriterieanalys

I arbetet med att säkra och trygga den framtida dricksvattenförsörjningen fattas många beslut om allt från strategiska investeringar för att trygga den framtida råvattentillgång till mindre förändringar i beredning och distribution. Det finns olika beslutsstödsmetoder som kan användas för att strukturera arbetet och ge vägledning. Inom ramen för DRICKS och ett antal relaterade projekt har ett verktyg baserat på multikriterieanalys utvecklats och tillhandahålls nu till dricksvattenbranschen. Verktyget har döpts till WISER (*Water Investments for Sustainability Enhancement and Reliability*) och tillhandahålls för nedladdning från DRICKS hemsida (www.dricks.chalmers.se) där även tillhörande vägledning finns. En beskrivning av verktyget och beslutsprocessen generellt finns också beskrivet i en SVU-rapport (Rosén et al., 2021). Syftet med verktyget är att möjliggöra en strukturerad utvärdering av åtgärders tekniska, sociala, miljömässiga och ekonomiska effekter. Verktyget syftar till att kunna identifiera de mest ändamålsenliga, resurseffektiva och hållbara lösningarna.

I ***Figur 2*** illustreras de ingående stegen i WISER och hur det kopplar till det slutgiltiga beslut som fattas samt krav, mål och andra förutsättningar som kan vara baserade på lagstiftning men även definierade av VA-organisationen själv. WISER används för att utvärdera möjliga åtgärdsalternativ när dessa har identifierats. När alternativen definierats (steg 1) väljs de kriterier som ska används för att utvärdera och jämföra alternativen (steg 2). I WISER finns en lista med förslag på tekniska, sociala, miljömässiga och ekonomiska kriterier som användaren kan välja mellan (***Tabell 2***). Det är också möjligt för användaren att definiera egna kriterier. I steg 3–6 utvärderas hur väl alternativen presterar med avseende på de valda kriterierna. Detta görs genom en poängsättning mellan -10 till +10, där 0 innebär att åtgärden inte innebär någon förändring jämfört med nuläget eller ett annat referensalternativ som man valt. Positiva poäng innebär en förbättring och negativa en försämring. Det finns vägledande matriser för att stötta i poängsättningen. I den ekonomiska analysen (steg 6) anges de faktiska kostnaderna i kronor.

Bedömningen kan göras med eller utan hänsyn till osäkerheter. Görs bedömningarna med hänsyn till osäkerheter anges ett mest troligt värde men också ett min- och maxvärde. Om osäkerheterna beaktas presenteras även resultaten med osäkerheter, vilket ger ytterligare information till beslutsfattaren.



Figur 2. Schematisk beskrivning av beslutsprocessen med åtgärdsanalys enligt WISER.

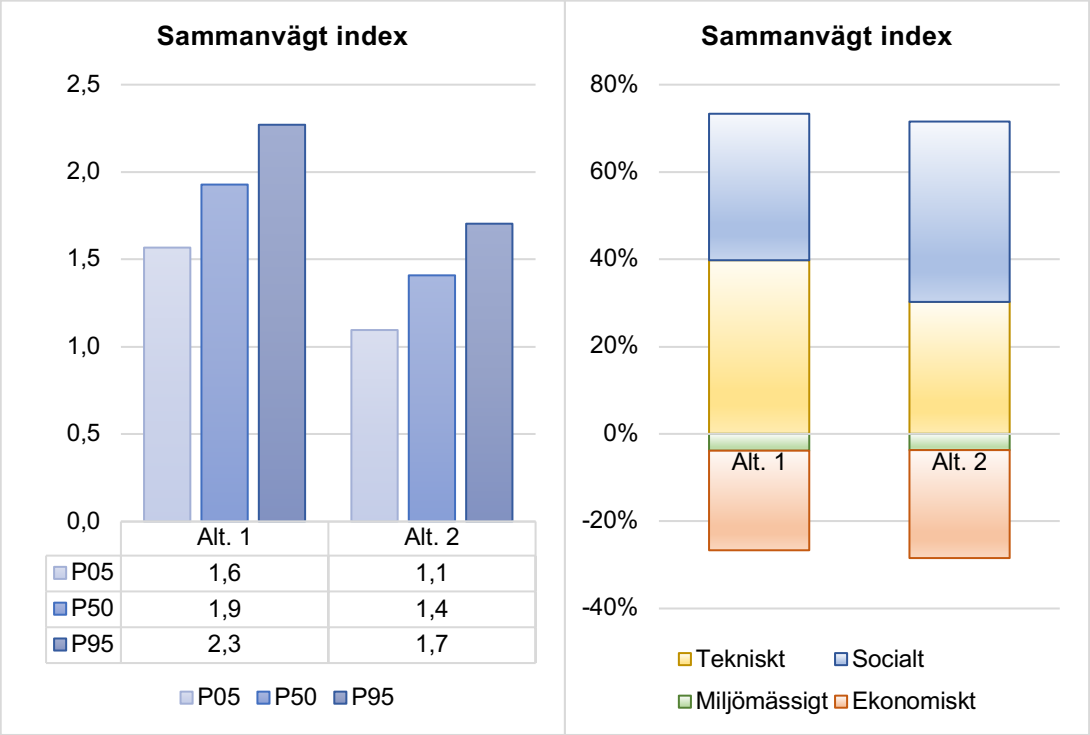
När åtgärderna utvärderats sker en viktning för att visa hur viktiga de olika kriterierna bedöms vara för det slutgiltiga beslutet (steg 7). Viktningen görs inom de övergripande dimensionerna (teknisk, social, miljömässig och ekonomisk) samt mellan dessa. Resultaten (steg 8) presenteras som en viktat index (mellan -10 och +10) för både de olika dimensionerna och sammanvägt för alla dimensioner. I ***Figur 3. Exempel på resultat från WISER: (vänster) sammanvägt index för två analyserade alternativen, (höger) illustration av hur de ingående dimensionerna bidrar till det sammanväga indexet (medelvärdet) för respektive alternativ.*** visas exempel på resultat från en utvärdering av två alternativ. Om bedömningarna gjorts med osäkerheter kan man även beräkna sannolikheten för att respektive alternativ får högst index samt analysera vilka bedömningar som bidrar mest till osäkerheterna i resultatet.

Tabell 2. Mål och kriterier för utvärdering av dricksvattenåtgärder, indelade i teknisk, social, miljömässig respektive ekonomisk hållbarhetsdimension (Rosén et al., 2021).

Dimension	Mål	Kriterier	Kort beskrivning
Teknisk	Hög tillförlitlighet	Leveranssäkerhet	Systemets förmåga att leverera vatten vid störningar i en eller flera delar av systemet (råvatten, beredning, distribution).
		Sabotage	Systemets motståndskraft mot sabotagerisk
	Flexibilitet	Anpassningsförmåga	Förmåga att prestera tillfredsställande under omvärldsförändringar

	God genomförbarhet	Tillstånd	Möjligheten att få nödvändiga tillstånd såsom vattendom
		Rådighet	Rådighet och påverkansmöjlighet kring systemet
		Tid till idrifttagande	Tidplanen för genomförandet i relation till när åtgärden behöver vara i drift
Social	Högt förtroende	Upplevd trygghet	Effekter på allmänhetens och konsumenternas tillit och förtroende för vattenproducenter och leverantörer
	God dricksvattenrelaterad hälsa	Skydd mot mikrobiologiska hälsorisker	Barriärverkan med hänsyn till råvattenkvaliteten
		Skydd mot kemiska hälsorisker	Barriärverkan med hänsyn till både bakgrundsbelastningen av kemiska ämnen och akuta utsläpp
		Andra dricksvattenparametrar	Lukt, smak och andra kvalitetsaspekter
	God icke-dricksvattenrelaterad hälsa	Icke-dricksvattenrelaterade hälsoeffekter	Icke-dricksvattenrelaterade effekter på människors hälsa, från t.ex. luftföroreningar och buller
		Arbetsmiljö	Förutsättningarna för en god arbetsmiljö baserat på systemlösningen som helhet
	Lokal utveckling	Tillväxtpotential	Utvecklingspotential för näringsliv, bostäder och offentlig sektor
		Rekreationsvärden	Effekter på områden av värde för det rörliga friluftslivet
	Rättvisa	Fördelningseffekter	Effekter med hänsyn till om vissa delar av samhället missgynnas av åtgärden
Miljömässig	Skydd av akvatiska ekosystem	Vattenresursers kvalitet	Effekter på berörda vattenresursers kvalitet (råvattentäkter såväl som andra grund-och ytvattenresurser)
		Vattenresursers kvantitet	Balans mellan tillgång och uttag i yt- och grundvattenresurser, samt andra faktorer som kan påverka berörda vattenresursers kvantitet
	Skydd av terrestra ekosystem	Terrestra ekosystems livsduglighet	Effekter på flora, fauna, livsmiljöer och biologisk mångfald
	Effektiv resursanvändning och begränsad klimatpåverkan i	Energianvändning och växthusgasutsläpp	Effekter på energianvändning och växthusgasutsläpp
		Vattenanvändning	Effekter på vattenbehov och vattenanvändning
		Markanvändning	Arealen mark som tas i anspråk

	anläggnings- och/eller driftfas	Materialanvändning	Användning av icke förnybara material
		Kemikalieanvändning	Kemikalieanvändning vid produktion
		Icke-återvinningsbart avfall	Produktion av icke-återvinningsbart avfall
Ekonomisk	Rimlig finansiell situation	Investeringskostnader	Investeringskostnader till följd av åtgärdsimplementering
		Drift- och underhållskostnader	Löpande kostnader till följd av drift och underhåll



Figur 3. Exempel på resultat från WISER: (vänster) sammanvägt index för två analyserade alternativen, (höger) illustration av hur de ingående dimensionerna bidrar till det sammanväga indexet (medelvärdet) för respektive alternativ.

WISER och den tillhörande vägledningen är nu tillgängligt för dricksvattenbranschen via DRICKS hemsida. Under 2021 kommer, som del av DRICKS arbete och i samverkan med andra projekt, ytterligare funktioner i WISER att utvecklas och mer vägledande material kommer att sammanställas. Mycket av underlaget och fallstudierna som ligger till grund för WISER har tagits fram och genomförts inom ramen för Karin Sjöstrands doktorandprojekt. Karin disputerade i slutet av året och har varit industridoktorand på Chalmers och anställd vid RISE. I avhandlingen (Sjöstrand, 2020[1]) beskrivs inte bara hur multikriterieanalys kan användas för att utvärdera och jämföra åtgärder inom dricksvattenförsörjningen. Genom fallstudier visas också hur ekonomiska effekter av exempelvis avbrott i dricksvattenförsörjningen kan uppskattas och hur kostnads-nyttoanalys kan användas och kombineras med multikriterieanalys för att analysera möjliga åtgärder ur ett hållbarhetsperspektiv.

[1] https://research.chalmers.se/publication/519491

Flera av de genomförda studierna handlar om vattenbrist och hur åtgärder för att öka vattentillgången och minska förbrukningen kan jämföras på ett strukturerat sätt. I detta arbete ingår också hur olika riskhändelser kan kombineras i en scenariobaserad metod för att beskriva den totala risken och användas för att se vilken eller vilka åtgärder som på bästa sätt reducerar den totala risken. Syftet med detta är att undvika suboptimering där problem åtgärdas utan att se till helheten.

Utveckling och tillämpning av riskbaserat beslutsstöd i andra projekt

När beslut ska fattas om till exempel ny vattentäkt eller ny produktionsanläggning finns det ofta osäkerheter som måste hanteras. Det kan handla om osäkerheter kring framtida vattenbehov eller krav på rening, men också om naturgivna förutsättningar och vilken kapacitet samt reningseffektivitet som kan uppnås. Lerums kommun och Göteborgs Stad har under lång tid undersökt och utvärderat möjligheterna till konstgjord grundvattenbildning genom bassänginfiltration i Gråbodeltat i Lerums kommun. Trots det befintliga underlaget gör de delvis komplexa förhållandena i området att det finns betydande osäkerheter kring hur en anläggning kan utformas och vilken kapacitet och reningseffekt som kan uppnås. För att bättre förstå det befintliga underlaget och ge vägledning kring behovet av ytterligare undersökningar har Chalmers tillsammans med kommunerna och Sveriges geologiska undersökning (SGU) genomfört en beslutsstödsanalys som avslutades under 2020. Syftet med arbetet var att ta fram ett strukturerat sätt att jämföra förutsättningarna för bassänginfiltration i Gråbodeltat med uppsatta krav och mål samt beakta de osäkerheterna som finns. Arbetet genomfördes genom att bland annat identifiera krav och mål för anläggningen, sätta upp modeller och överslagsberäkningar samt baserat på befintligt underlag uppskatta nödvändiga parametrar och de osäkerheter de är förknippade med. Resultaten från analysen presenteras som sannolikheten för att de uppskatta kraven och målen kan uppnås. Resultaten visar också vilka parametrar i de modeller och överslagsberäkningar som använts som bidrar mest till osäkerheten. Detta gör det möjligt att till exempel visa vad som är begränsande för en framtida anläggning, var osäkerheterna är som störts och därmed också behovet av ytterligare undersökningar som störts. Slutsatserna för Gråbodeltat är att det finnas förutsättningar för en anläggning med konstgjord grundvattenbildning genom bassänginfiltration, men analysen visar att det finns osäkerheter och begränsningar kopplade till framförallt uttagskapaciteten och avskiljningen av organiskt material.

Projektet WaterPlan (*Riskbaserad prioritering av vattenskydd i hållbart samhällsbyggande*) är fokuserat på hur skyddet av våra vattenresurser kan analyseras och utvärderas med hänsyn till såväl risk som samhällsekonomiska effekter. Under sammanställdes en lista över det som inom projektet valt att kallas för vattensystemtjänster (på engelska *water system services*). Detta är en anpassning av begreppet ekosystemtjänster men fokuserar på de tjänster som våra vattenresurser tillhandahåller och som vi människor utnyttjar. Syftet är att man med hjälp av listan ska kunna identifiera hur vi i samhället utnyttjar och dra nytta av våra vattenresurser. Utöver råvatten för dricksvattenproduktion använder vi yt- och grundvattenresurser för exempelvis bevattning, energiproduktion (vattenkraft och bergvärme), som kylmedium eller material i industriella processer samt för rekreation. Vattensystemtjänsterna inkluderar biologiska processer såsom rening av vatten men även aspekter såsom sjöar som farleder och möjligheten till energiutvinning. Detta är aspekter som inte nödvändigtvis beaktas då man pratar om ekosystemtjänster. Syftet med vattensystemtjänsterna är att bättre förstå och kunna analysera samt kommunicera, hur olika verksamheter och föroreningskällor kan påverka de olika tjänsterna, hur utnyttjandet av vissa tjänster kan utgöra en risk föra andra samt hur möjliga skyddsåtgärder påverkar (positivt och

negativt) de olika tjänsterna. Detta är ett viktigt steg i projektet och kommer att kombineras med olika riskbedömningar och längre fram även ekonomiska värderingar av skyddsåtgärder för att kunna prioritera skyddsåtgärder baserat på dess samhällsekonomiska lönsamhet.

DRICKS arbete med beslutsstödsmetoder har under 2020 även involverat arbete inom Mistra InfraMaint, där Chalmers medverkar i två delprojekt med fokus på beslutsstöd för VA-ledningsnät. Viktor Bergion startade under året upp ett projekt där Skellefteå kommun utgör fallstudie och där syftet är att utveckla och tillämpa en metod för att jämföra och prioritera åtgärder kopplade till underhåll och förnyelse av bl.a. dricksvattenledningar. Anna Ohlin Saletti, industridoktorand vid Chalmers och anställd på Göteborgs Stad, har inom sitt pågående projekt bl.a. genomfört en litteraturstudie med fokus på tillskottsvatten och arbetat med hur kostnads-nyttoanalyser kan genomföras av åtgärder för att hantera tillskottsvatten. Båda projekten kommer genom fallstudier att visa hur de metoder som utvecklas kan tillämpas och ge vägledningen när åtgärdsalternativ prioriteras.

3.2 Hållbar drift av distributionsnät för säker vattenkvalitet (AP2)

I arbetspaket 2 pågår fortsatt studier i tre av de fem komponenterna (arbetet i komponenter 2.1 och 2.2 är redan genomförda och avslutade). Här följer en kort sammanställning av resultaten under 2020 för dessa tre komponenter.

Komponent 2.3 – Elektronisk tunga för praktisk drift i ledningssystem

I komponent 2.3 har aktiviteten 2.3.2 ”Fallstudie där den elektroniska tungan testas och utvärderas i ett befintligt distributionsnät”, som inleddes 2019, fortsatt under 2020. Under våren utvecklades och tillverkades de fem sensorsystem (Figur 4a) som används i projektet. Under sommar och tidig höst testades dessa på labb för att under hösten succesivt placeras ut i de fem mätpunkterna. Tekniska verken i Linköping byggde upp testpaneler och drog fram vatten till dessa i samtliga mätpunkter. Utplaceringen av sensorsystemen utfördes tillsammans av Linköpings universitet (LiU) och Tekniska verken i Linköping och de fem mätpunkterna illustreras i Figur 4b. I slutet av 2020 var alla fem sensorsystem igång och mäter sedan dess kontinuerligt.

Under våren och sommaren 2020 satt en tidigare version av sensorsystemet på plats i mätpunkten i Nykvarn. Här matas sensorn med brutet vatten vilket möjliggör testning av sensorresponsen vid spikning med olika kända ämnen och halter. Sammanlagt har LiU och Tekniska verken under 2019 och 2020 gjorts ca. 50 doseringar med totalt 8 olika substanser (avloppsvatten, natriumhypoklorit, natriumklorid, m.fl.) samt några nollprover med rent vatten. Utvärdering av dessa data pågår, dels med traditionella metoder på LiU och dels med artificiella intelligensmetoder i samarbete med forskare vid KTH och FOI. Under 2020 har vissa störningar (temperatur, missfärgning) noterats på det dricksvatten som leds till testriggen där mätningarna sker. Därför kommer en omkonstruktion att ske i början av 2021 för att åtgärda dessa problem och ytterligare tester kommer därefter att göras under året.

Vid de övriga fyra mätpunkterna görs mätningar under mer tillämpningslika förhållanden. Här kommer sensorerna under 2021 att utsättas för större variationer i dricksvattenparametrar som temperatur, klorhalt, tryck och flöde (testningen sker dock i ett sidoflöde) än vad som sker under de mer ideala förhållandena i Nykvarn. Dessa mätningar ger viktiga data för att utveckla larmalgoritmer som inte ger falsklarm för de naturliga variationerna hos dricksvattnet.

a)

b)

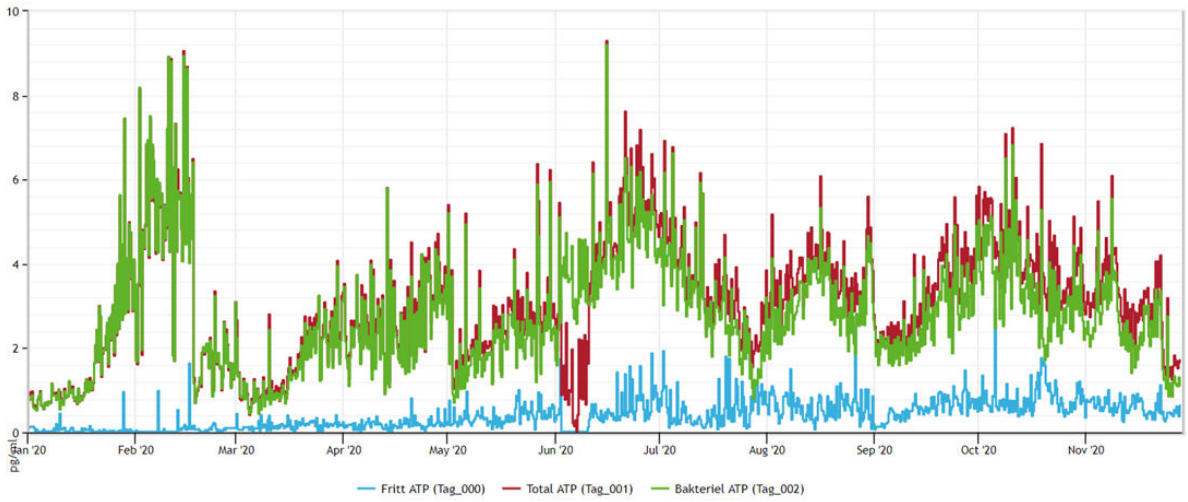
Figur 4a) Det sensorsystem som utvecklats och tillverkats under projektets gång. I förgrunden syns den metalliska sensorproben som ska klara av att mäta även direkt i ett trycksatt distributionsrör. I projektet görs mätningarna huvudsakligen i ett sidoflöde, men trycktestning har gjorts på LiU och planeras även att utföras i samarbete med Tekniska verken. 4b) Kartan visar huvudvattenledningarna i Linköpings kommun och de fem röda prickarna visar placeringen av de fem sensorsystemen. De två till höger befinner sig vid Nykvarns reningsverk (övre punkten) respektive Vattentornet (nedre punkten). De tre punkterna till vänster befinner sig succesivt allt längre ut på distributionsnätet vid tre olika tryckstegringsstationer.

Komponent 2.4 – Prognostisering av avvikelser och energioptimering i dricksvattenförsörjningen
Lund universitet studerar i samverkan med Norrvatten, SVOA, VIVAB, SWR, Sydvatten och VA SYD tre distributionssystem i SVU-projektet 19-102, med titeln ”Rationell mikrobiell analys för biostabilt dricksvatten”. Projektet som består av tre delprojekt belyser (i) utfasningen av monokloramin i Varbergs distributionssystem (VIVAB), (ii) Oxbergsreservoaren, ett problematiskt vattentorn i Stockholm med förhöjda heterotrofvärden (Norrvatten, SVOA) samt (iii) förändringen av vattenkvalitén på en 54 km lång matarledning från Ringsjöverket via Lund till Flyinge (SWR, Sydvatten, VA SYD). AP4 rapporterar delprojekt 1 (desinfektion) och 3 (biostabilitet).

Sedan sommaren 2020 analyseras Oxbergsreservoaren i Stockholm med en BactoSense online-flödescytometer, en online ATP analysator (AppliTek EZ-ATP), och en online partikelsensorer från Uponor. Mätningarna som för vissa instrument sker varje timme har genererat en detaljerad bild av vattenkvalitén i reservoaren samt hur man kan utvärdera olika driftåtgärder för att med marginal inte riskera att överskrida gränsvärdena för odlingsbara mikroorganismer (100 per ml) och långsamväxande bakterier (5000 per ml). Figur 5 visar data från AppliTek EZ-ATP Online Analyzer som levererar data för fritt och totalt ATP i utgående dricksvatten från Oxbergsreservoaren. Instrumentet beräknar också bakteriellt ATP, vilket är skillnaden mellan totalt och fria molekyler.

Preliminära resultat visar att de flödescytometriska HNA-mätningarna har den potential som krävs för att påvisa odlingsbara heterotrofer, där relativt höga HNA-värden associeras med höga heterotrofvärden. Arbetshypotesen är att problematiken med odlingsbara heterotrofer har sin grund i reservoarens biofilm och reservoarvattnets omsättningstid, dvs. vattnets kontakttid med biofilmen. Enligt tidigare studier i vattentornet finns även en korrelation med temperatur och klorhalt. Vid de mer eller mindre fullständiga tömningarna (driftåtgärderna) av vattentornet återställs dricksvattenkvalitén och HNA-mätningarna överensstämde med ingående reservoarvatten, dvs. det

finns en potential att nyttja FCM som ett early-warning system för problematiska reservoarer. De framtida studierna i Stockholm kommer att fokusera på att korrelera data från online-instrument med traditionella biologiska och kemiska analysparametrar och sekvenseringsdata. Planen är att undersöka vattentornets ingående och utgående vatten samt biofilmen i reservoaren i syfte att förstå problematiken med Oxbergsreservoaren. Ett antal strategiska biofilmsprover kommer att tas och jämföras med motsvarande biofilmsprover i Tunbergets vattentorn som är ett oproblematiskt vattentorn i Stockholm. En preliminär utvärdering av online-instrumenten utförd av VIVAB visar att FCM-mätningarna på ledningsnätet är värdefulla för att snabbt kunna påvisa baslinjeavvikelser samt för att följa upp störningar och åtgärder på distributionssystemet. Det finns även en moderat korrelation mellan FCM (intakta cellkoncentrationer) och ATP (korrelationskoefficient = 0,545), vilket indikerar att även on-line ATP-mätningar har potentialen att övervaka den mikrobiella dricksvattenkvalitén.



Figur 5. ATP-data från Oxbergsreservoaren. Y-axeln visar pg ATP per ml.

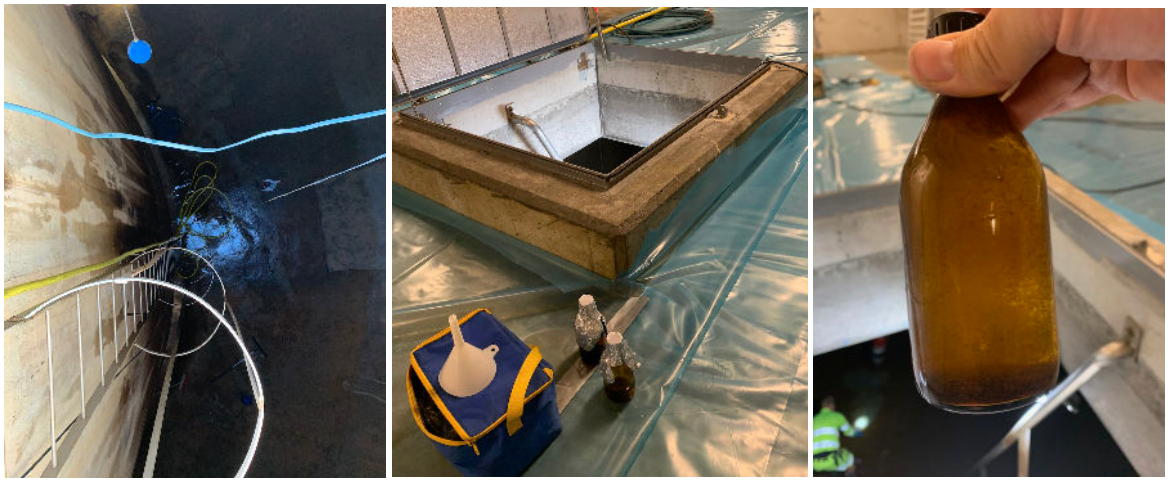
Komponent 2.5 – Ramverk för riskbedömningar på ledningsnätet

Arbetet med att kartlägga förekomsten av fekala föroreningar runt vattenledningar i kommunala distributionsnät har fortsatt under 2020. Vattenprovtagningar av markvatten i ledningsgravar, där reparationer och grävarbete utförts av kommunen, har genomförts i ett flertal kommuner inom Göteborgsregionen för att uppskatta vilka nivåer av mikrobiell kontaminering som kan förekomma.

Mätningar av indikatororganismer har också genomförts i fyra reservoarer på distributionsnätet i flera kommuner, där sediment som ackumulerats i reservoarens väggar och botten samlats upp vid rengöring och analyserats för förekomst av fekala indikatororganismer såsom Koliforma bakterier och *E.coli.* De första preliminära resultat visar att förekomsten av indikatororganismer är som förväntat obefintlig, med ett undantag där höga halter indikatororganismer påvisades. Det genomförs nu en utredning om det skett en kontaminering vid provtagningen, om det är ett mätfel eller om det är korrekt analysresultat. Resultaten från denna studie kommer rapporteras under 2021.

Ett arbete med en fallstudie kring dricksvattenburna sjukdomsutbrott kopplade till korskopplingar i distributionsnätet har påbörjats under 2020, där syftet är att utveckla ett angreppssätt för att bedöma hälsoriskerna för drickvattenkonsumenterna vid korskopplingshändelser. Arbetet baseras på att vidareutveckla det befintliga QMRA-verktyget till att även kunna tillämpas på ledningsnätet.

En hydraulisk modellering för en korskopplingshändelse, som orsakade ett vattenburet utbrott i en sydsvensk kommun, har påbörjats och kommer slutföras under 2021. QMRA-beräkningar har genomförts för händelsen vilket kommer att jämföras med resultaten från den epidemiologiska undersökningen som gjordes i samband med utbrottet för att validera modelleringarna. Arbetet kommer att publiceras under 2021.



Figur 6. Provtagningstillfälle i en dricksvattenreservoar där en sedimentslurry samlats upp i provflaska.

3.3 Förekomst av kemiska ämnen och barriärverkan (AP3)

Inom AP3 har arbetet framförallt bedrivits inom ramen för följande dem forskningsprojekt:

- *Dante*
- *SafeDrink*
- *Genomljusning*
- *Innovativa behandlingstekniker för PFAS*
- *Prestandajämförelse av granulerat aktiverad kol*

Inom dessa projekt genomfördes ett stort antal pilotförsök och provtagningar som presenteras nedan.

DANTE: I detta forskningsprojekt, som stöds av Formas (2019 – 2022; 12 milj. kr), använder vi effekt-driven analys (EDA) för att identifiera vilka av alla tiotusentals kemikalier som sprids i miljön som faktiskt orsakar toxiska effekter i miljön. Vi studerar även vilka cocktail-effekter (effekter som uppstår av en blandning av olika ämnen) som kan uppstå då en organism exponeras för ett stort antal kemikalier samtidigt. Denna effektdrivna analys genomförs genom att kombinera biologiska testsystem (cellbaserade så kallade bioassays) för att upptäcka toxiska ämnen i vattenmiljön. Fördelen med dessa metoder är att de mäter den totala toxiska effekten i ett prov, oavsett om effekten orsakas av en känd eller okänd substans. Med hjälp av fraktionering och avancerad kemisk analys kan man sedan identifiera vilket eller vilka ämnen det är som orsakar den toxiska effekten. Under 2020 har vi genomfört en fältstudie i Barcelona, och skriver nu vetenskapliga artiklar om den. Vi har även ägnat oss åt att få igång EDA-instrumenteringen som är placerad på institutionen för vatten och miljö. På grund av pandemin, har detta arbete blivit kraftigt försenat. Projektet leds av Johan Lundqvist, SLU.

SAFEDRINK: Detta Formas-projekt (2013 – 2018) fokuserade på hälsofarliga kemikalier i dricksvatten och har slutrapporterats till Formas, men en doktorand (Rikard Tröger) har fortsatt haft verksamhet inom projektet under 2020. Projektet har utvecklat integrerad kemisk-biologisk metodik för förbättrad detektion av hälsofarliga kemikalier i dricksvatten. Vi skapade också ett mjukvaruverktyg som prioriterar vilka potentiellt hälsofarliga ämnen som bör analyseras i dricksvatten (SusTool). I den sista studien, genomförd under 2020, undersökte vi rå och dricksvattenkvalitet för 13 olika vattenverk verksamma i 11 olika europeiska och asiatiska länder. Reningseffektiviteten undersöktes, både för kända oönskade kemiska ämnen (PFAS, läkemedel, pesticider, industrikemikalier, etc.) och för så kallade 'suspects' som är kemiska ämnen i dricksvattnet, vars molekylstruktur är preliminär (ej bekräftad).

Sammantaget visar SafeDrinks resultat att:

- halterna av oönskade kemiska ämnen i råvatten varierar mycket från verk till verk, särskilt i ett internationellt perspektiv
- konventionella tekniker för dricksvattenrening är i allmänhet inte effektiva för avlägsnande av oönskade vattenlösliga kemiska ämnen
- reningseffektivitet beror ämnenas egenskaper och på reningsteknik – verk med konstgjord infiltration, granulerat aktivt kol (GAK), ozonering och ultrafiltrering renar i genomsnitt bättre än andra verk
- GAK är en vanlig kemisk barriär, men genombrott sker, där DOC generellt bryter igenom först, därefter PFAS och sedan andra organiska miljöföroreningar
- operativ ålder på GAK-filter är helt avgörande för dess reningseffektivitet
- halterna av oönskade kemiska ämnen i utgående dricksvatten är i allmänhet (nationellt och internationellt) låga, vilket innebär att vattenverken är medvetna om de oönskade kemiska ämnena och har anpassat reningsteknikerna efter råvattnets kvalitet
- reningseffektivitet för kända ämnen korrelerar bra med reningseffektivitet för s.k. 'suspects'
- koncentrerade vattenprover uppvisar emellanåt toxisk aktivitet, som inte beror på de analyserade kemiska ämnena i dricksvatten, utan är orsakade av okända ämnen
- biotester i kombination med kemisk analys är en mycket användbar ny metodik för detektion av kemiska hot i dricksvatten från källa till kran
- dricksvatten kan ge en betydande exponering för PFAS även vid relativt låga halter
- människors förståelse av dricksvattenrisker bl.a. är grundad 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.

SafeDrink har bidragit till ny kunskap inom en rad olika delområden men har mest studerat kända miljöföroreningar. Bättre övervakningsstrategier och fördjupade studier kring oönskade kemiska ämnen behövs för säker produktion av dricksvatten. I EU:s nya dricksvattendirektiv föreslås en riskbaserad bedömning där bioanalys kombineras med kemisk analys (effektdriven analys) för att identifiera hälsofarliga kemiska ämnen. SafeDrink har även lett till flera nya ansökningar och uppföljande projekt samt en hemställan till regeringen om inrättandet av ett kompetenscentrum (på

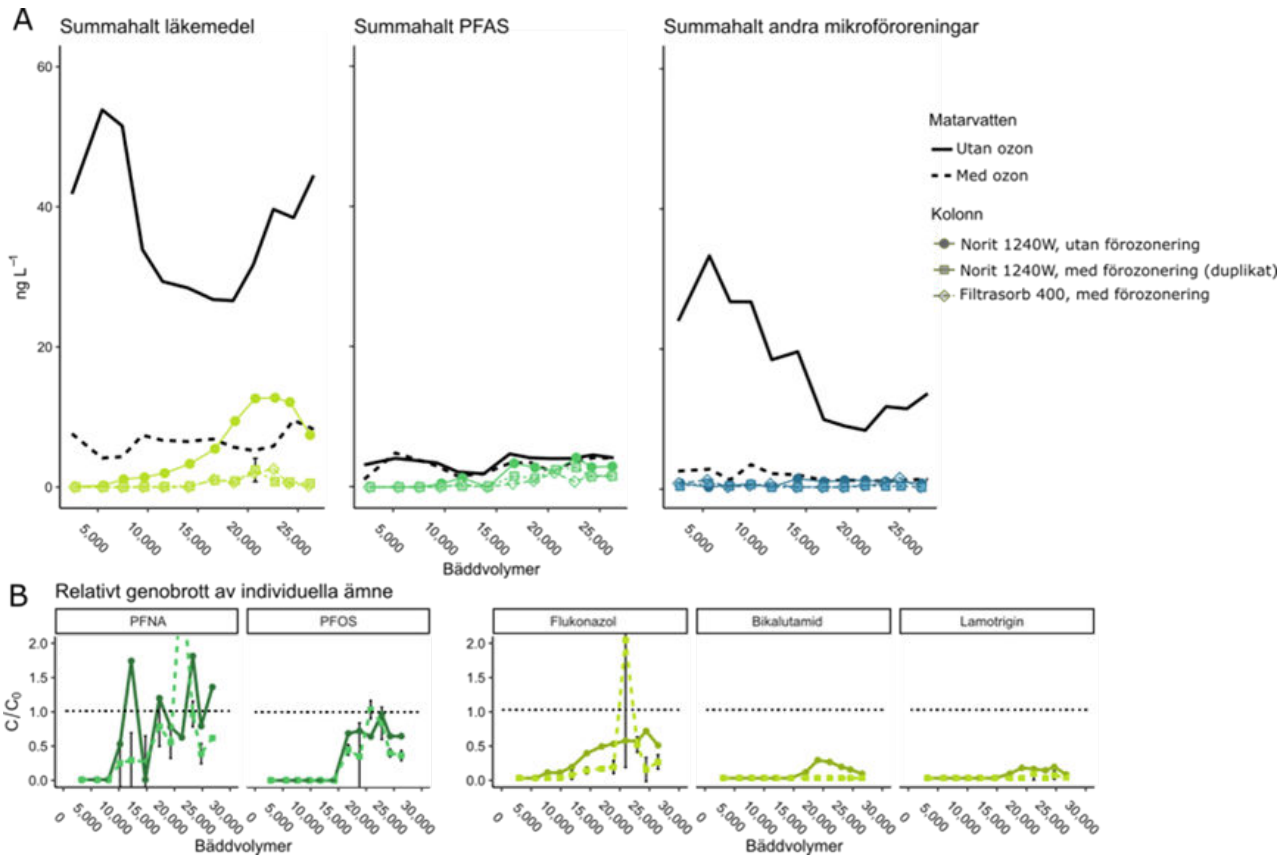
SLU) för kemiska risker i dricksvatten initierat av landshövdingen i Uppsala län och signerat av ytterligare 10 regionala aktörer (vattenproducenter, myndigheter, m.fl.). Riksdagens miljö- och jordbruksutskott har visat intresse för kemiska ämnen i dricksvatten och bjudit in projektledaren för SafeDrink till ett tema-möte (april 2021).

PILOTFÖRSÖK OCH PROVTAGNINGAR:

Kolpilot Görväln (drivs av Norrvatten inom projektet *Prestandajämförelse*):
Norrvatten bedriver ett pilotförsök med ozon och filtrering över GAK sedan maj 2018, där två olika typer av kol (Filtrasorb och Norit) och olika kontakttider (EBCT = empty bed contact time) studeras. Efter ett års analysverksamhet utvärderades borttagning av oönskade kemiska ämnen över ozoneringssteget och över GAK-kolonner, med och utan ozonerat vatten. Arbetet har nu även resulterat i ett vetenskapligt arbete där den kombinerade behandlingen via ozon-GAK-filter har utvärderats (Ullberg et al, 2020).

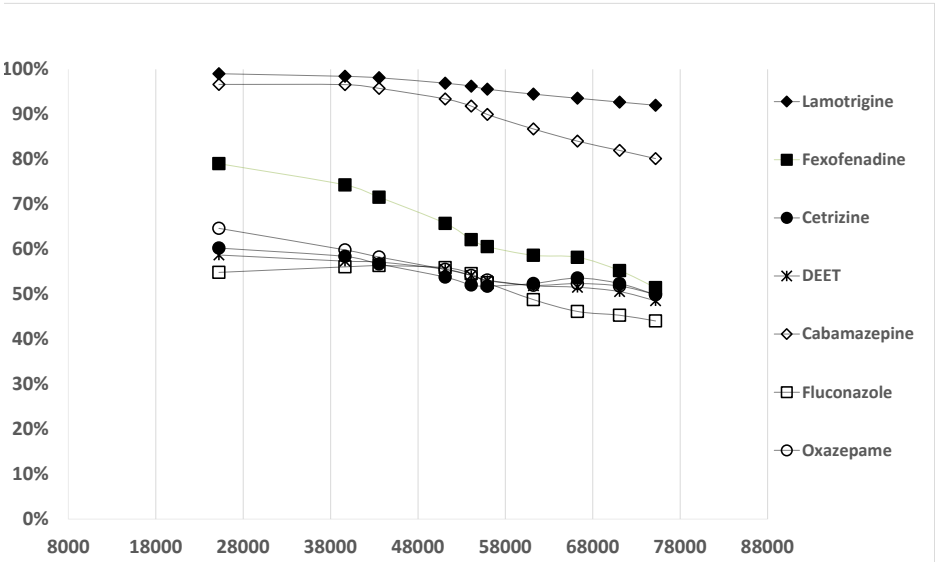
Sammanfattande resultat för oönskade kemiska ämnen i kolpiloten på Görväln (Ullberg et al, 2020):

- Filtrasorb 400 avskilde mer DOC under hela testperioden jämfört med Norit 1240 W utan att dess förmåga att avskilja organiska miljöföroreningar försämrades.
- Ozonering i kombination med GAC (20 min EBCT) är en mycket effektiv kemisk barriär med undantag för PFAS-ämnen (Figur 7, övre panelen). 72% av de detekterade ämnena (*n*=29) reducerades till <30% av halterna i råvattnet. Det ska dock noteras att eventuell bildning av transformationsprodukter inte ingick i mätningarna.
- GAK filter (20 min EBCT) är nästan lika effektivt och tog bort ca 75% av summahalterna av organiska miljöföroreningar under hela försökstiden. Genombrott konstaterades dock (Figur 7, undre panelen) för alla ämnesgrupper, först för DOC, sedan PFAS och därefter andra miljöföroreningar.
- Biofilterfunktion: Efter att filtermaterialet mättats med DOC under experimentets första månader planade borttagningskurvan ut innan den nådde 100% genombrott.
- Ozonering innebar försenat genombrott.
- Kortare EBCT (6 min) gav ett tidigare genombrott (< 90% borttagning) för alla ämnen (efter ca 3 månader för PFAS och 6-8 månader för läkemedel och övriga organiska miljöföroreningar.
- Summahalterna av organiska miljöföroreningar som uppmättes mot slutet av experimentet var ungefär en faktor tre högre för den kortare uppehållstiden (6 min) jämfört med den längre (20 min).
- De fraktioner som avskildes sedan filtret hade nått steady-state kan antas bero på mikrobiologisk nedbrytning av DOC i den bildade biofilmen. Denna effekt var större med ozonerat matarvatten (5% utan, respektive 12% med ozonering), vilket troligen kan förklaras med att ozoneringen slår sönder de stora DOC-molekylerna till biotillgängliga, mindre molekyler.
- Ympning av använt kol gav ingen mätbar effekt på DOC nedbrytning eller biofilterfunktion för organiska miljöföroreningar.



Figur 7. Resultat från kolpiloten på Görvälnverket. Övre panelen: Summahalter av läkemedel, PFAS och andra organiska miljöföroreningar som funktion av antal bäddvolymer för beredning, med och utan ozon, samt för två olika kolsorter. Undre panelen: Relativt genombrott av PFNA och PFOS och tre utvalda läkemedel (flukonazol, bikalutamid och lamotrigin) som funktion av antal bäddvolymer. (Modifierad bild från Ullberg et al, 2020)

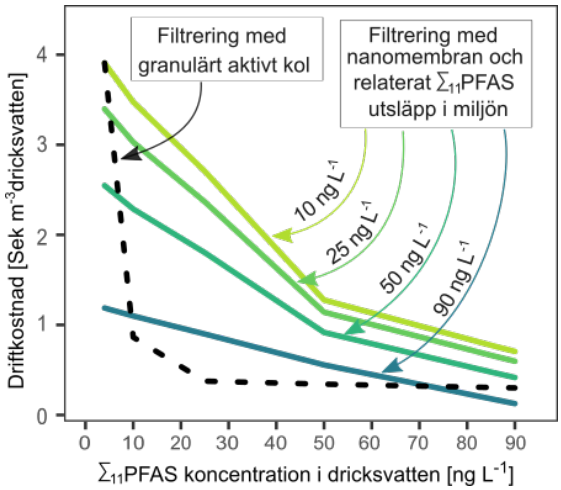
I anslutning till provtagningen i maj 2019 genomfördes ett antal sorptionsexperiment med ett antal prover från några av GAK-kolonnerna. Syftet med detta försök var att testa om sorptionskinetik kan ge information om upptagshastigheten av läkemedel över tid. Även detta arbete har mynnat ut i ett vetenskapligt arbete (Golovko et al 2020a). Utvärderingen av sorptions-experimenten av metylenblått visade att de bara beskriver kolets förmåga att ta upp naturligt humus, och färgämnet gav alltså inte ytterligare information om kolets förmåga att binda upp läkemedel. Studien identifierade ett antal läkemedel som kan användas som tidiga markörer för genombrott: karbamazepin, lamotrigin och fexofenadin. Om halterna är tillräckligt höga (> 10 ng/l) så kan proverna analyseras med on-line SPE (fastfasextraktion), där proverna koncentreras upp ett par gånger. Analysresultat är tillgängliga dagen därpå och denna metodik kan vara ett bra verktyg för vattenverk framöver. Utöver massbalanser för fastläggning av DOC så studerades genombrott av olika läkemedel. Nedan redovisas resultat för borttagningsfraktion (%) av ett antal ämnen som funktion av antal bäddvolymer för en Filtrasorb-kolonn med en uppehållstid av 6 min som matades med sandfiltervatten (DOC = 4 mg/l) från Görvälnverket. Hela studien och all data kan laddas ner här: https://www.mdpi.com/2073-4441/12/7/2053/htm



Figur 8. Borttagning (%) av ett antal läkemedel som funktion av antal bäddvolymer i en Filtrasorb-kolonn med sex minuters uppehållstid och som matats med sandfiltervatten från Görvälnverket (DOC = mg/l). (Modifierad bild från Golovko et al, 2020a)

<u>Pilot Bäcklösa</u> (Uppsala Vatten inom projekten *Innovative treatment techniques for PFAS substances* och *Genomljusning*)

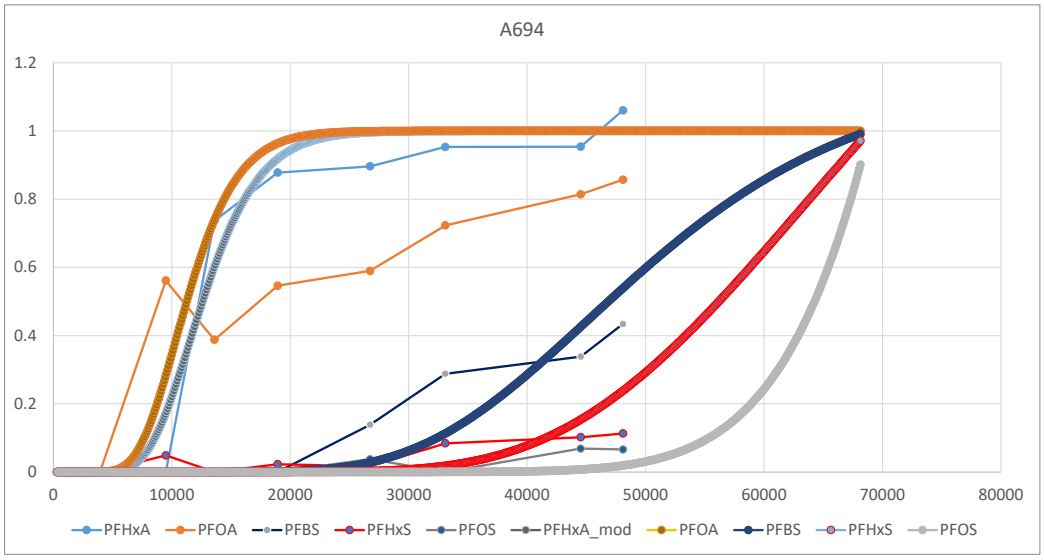
Inom projektet visades att filtrering av vatten genom nanofiltermembran (NF) kan avlägsna PFAS från råvatten till > 98% i Bäcklösa vattenverk. Organiska ämnen ansamlas i ett retentat, som uppvisar ungefär 5 gånger högre koncentrationer av organisk kol, PFAS och andra ämnen jämfört med halterna i råvattnet. För att undvika höga utsläpp av PFAS är det viktigt att efterbehandla retentatet innan det släpps ut i miljön. För att jämföra olika adsorptions-materials förmåga att avlägsna PFAS från retentatet och för att får en inblick i driftkostnader av behandlingståget kombinerades därför ett NF-steg med efterbehandling via antingen GAK (Filtrasorb och Norit) eller jonbytes-filter (AIX; Purolite A600 och A694) i pilotskala. Försöksuppsättningen på Bäcklösa vattenverk var igång mellan mars 2019 och september 2019.



Figur 9. Beräknad driftkostnad för två typer av PFAS rening (enbart kolfilter ---) eller kombinerad nanofilter + jonbytesfilter som funktion av krav av PFAS 11 i utgående dricksvatten. (Bild: Vera Franke, SLU)

Att kombinera NF med jonbytes-filter visade sig vara mer effektivt än att kombinera NF med GAK (Figur 9). Under arbetet utvärderades hur krav på utgående PFAS koncentration ($\sum_{11}$PFAS) påverkar driftkostnader [SEK m^{-3} dricksvatten] vid nanofiltermembran i kombination med efterföljande kolfilter eller enbart kolfilter. Beräkningen tyder på att NF i kombination med AIX-behandling resulterar i liknande kostnader som för användning av GAK när dricksvattenmålet är 4 ng L^{-1} $\sum_{11}$PFAS. Detta behandlingsmål nås om retentatet har halten 10 ng L^{-1} eller lägre. Vid ett mål på 10-75 ng L^{-1} gav GAK en mer kostnadseffektiv dricksvattenbehandling, inklusive PFAS-destruktion. Kostnaderna för NF kombinerat med AIX-behandlingen av NF-retentatet var jämförbara eller lägre än för GAK-behandling om dricksvattenkvalitetsmålet är högre än 75 ng L^{-1} $\sum_{11}$PFAS och utsläppsmålen är högre än 85 ng L^{-1} $\sum_{11}$PFAS.

Under arbetets gång togs även en beräkningsmodell fram som tillåter att modellera genombrott av PFAS ämnen i jonbyteskolonner. Jämförelse med uppmätt relativ genombrott för en av jonbyteskolonnerna visas i Figur 10.

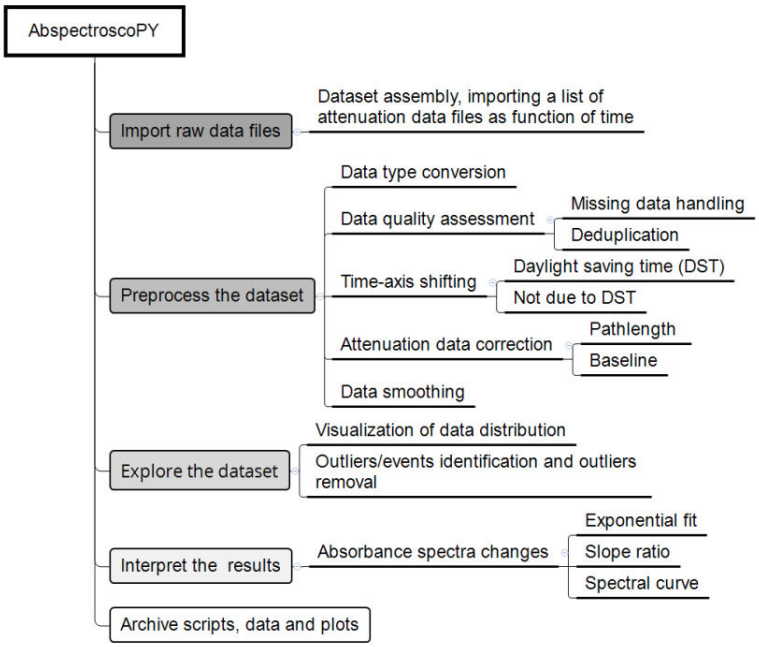


Figur 10. Uppmätt och modellerat genombrott (1= genombrott) som funktion av antal bäddvolymer för ett antal PFAS-ämnen där linjer med punkter ange mätvärden medan genomgående kurvor visar den beräknade genombrottskurvorna. (Bild: Vera Franke, SLU)

Hela studien samt tillhörande data kan laddas ner här:
https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsestwater.0c00141

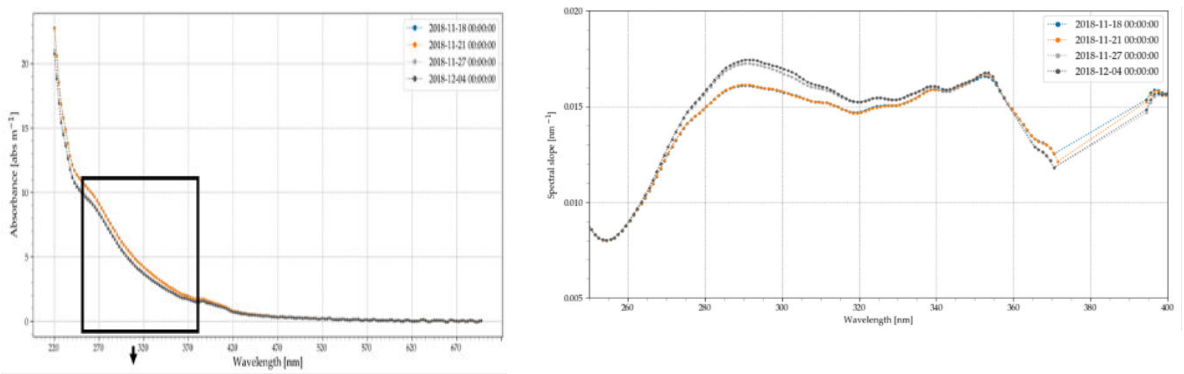
Sensorer i vattenverk: (utförs av SLU inom projektet *Genomljusning*)
Under 2020 fortsatte arbetet med utvärderingen av användningen av optiska sensorer i dricksvattenverk. Utöver själva utvärderingen togs det fram ett antal python-skript i form av ett bibliotek (AbspectroscoPY) som kan användas för att behandla den stora mängd av data som produceras av optiska sensorer till exempel spectro::lyser som används i ett stort antal vattenverk i Sverige. Skripten är fritt tillgängliga via Github: https://github.com/ClaCasc/AbspectroscoPY

En mer utförlig beskrivning av skriptet kommer att publiceras både i slutrapporten till SVU (projektet genomljusning) under2021 samt i ett vetenskapligt arbete som är under arbete. Nedan visas en översikt av de olika funktioner som har utvecklats hittills.



Figur 11. Översikt av pythonskript som togs fram inom projektet genomljusning.

Ett exempel av en tillämpning av ett av skripten visas nedan. Det är en automatiserad beräkning av lutningen i absorbanskurvan som ger en indikation på fällbarheten av organiskt kol och som kan användas som ett fingeravtryck för analyser av avvikelse eller årsberoende egenskaper hos det organiska materialet.

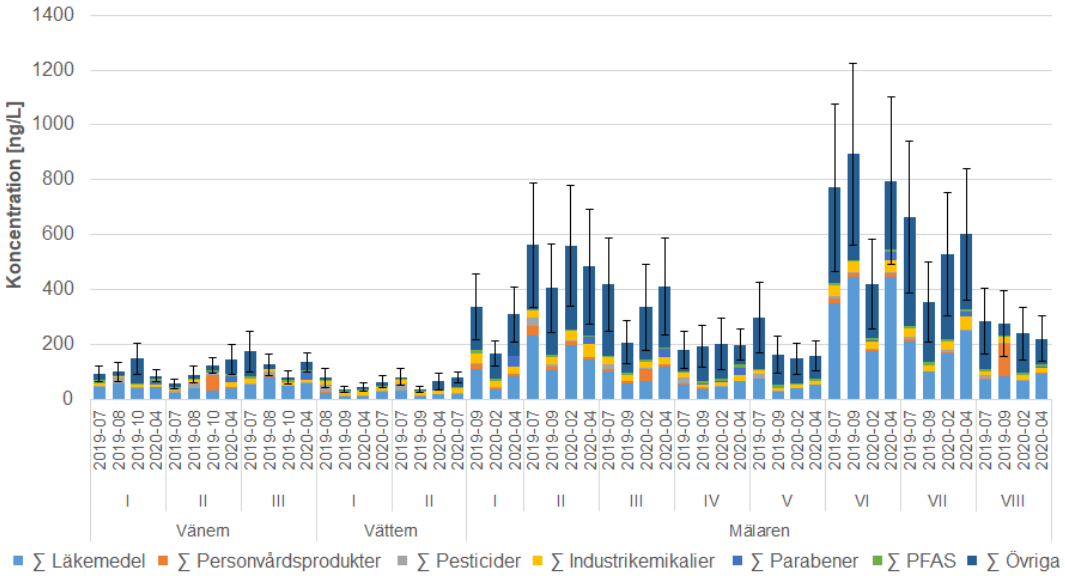


Figur 12. Exempel av absorbansspektra från fyra olika tidpunkter (till vänster) samt beräknad lutning vid olika delar av spektrat. Signalnoggrannheten avtar med ökande våglängd varför beräkningar inte kan genomföras för våglängder högre än ca 400 nm.

Ett stort antal andra intressanta resultat kommer med i SVU slutrapporten som beräknas vara klar före sommaren 2021.

Screening av Sveriges tre viktigaste ytvattentäkter: Vänern, Vättern och Mälaren
Under 2019 påbörjades den hittills mest omfattande mätningen av läkemedel i tillrinningsområden av Vänern, Vättern och Mälaren hittills (Figur 13). Syftet med studien är att studera källfördelning av läkemedel, bakgrundshalter, borttagning i avlopps- och dricksvattenverk samt vilka naturliga reningsprocesser som förekommer. Analyser har utförts för >110 organiska miljöföroreningar (läkemedel, hygienprodukter, hormoner, flamskyddsmedel, PFAS och andra industrikemikalier).

Hela studien samt tillhörande data kan laddas ner här: https://pub.epsilon.slu.se/22203/
Kontaktpersoner: Lutz Ahrens, Oksana Golovko.



Figur 13. Halter av sju olika typer av organiska spårämnen i de tre stora sjöar under fyra olika säsonger och för olika provplatser (3 för Vänern I-III, 2 för Vättern I-II samt åtta I-VIII för Mälaren) (Bild: Daniel Malnes, SLU)

3.4 Biofilter och mikrobiologiska barriärer (AP4)

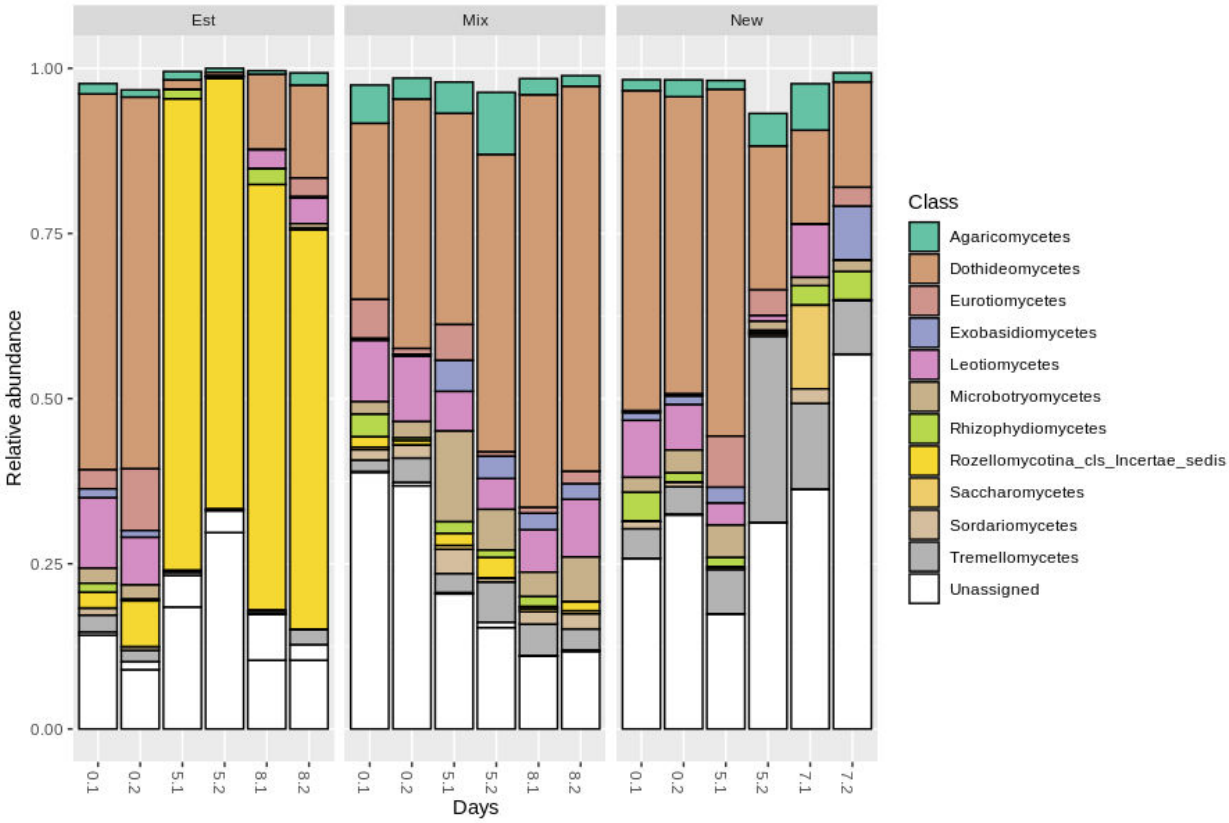
Arbetet som bedrivits inom AP4 under 2020 beskrivs nedan för de ingående komponenterna. Arbetet har framförallt varit kopplat till följande fyra forskningsprojekt:

- Att skapa en hållbart framtiden för beredning av dricksvatten från långsamfilter (Formas)
- En bild betyder mer än tusen baciller: att skapa datorverktyg som använder bildanalys för att stödja hållbar dricksvattenberedning och distribution (Formas)
- Virus i dricksvatten – Viabilitet och reduktion efter rening (SVU)
- Rationell mikrobiell analys för biostabilt dricksvatten (SVU)

Komponent 4.1 – Bestämma den operativa biofilmen i biofilter
Genom provtagning och sekvensering av två nya och ett gammalt långsamfilter från Ringsjöverket har etableringen av biofilmen i långsamfilter studerats. Den gemensamma bakteriella sammansättningen som fanns i ingående vatten, utgående vatten och sandproverna från det väletablerade långsamfiltret har studerats tidigare, och under 2020 adderades nya sekvenseringar av

samma prover för att påvisa svampsammansättningen. Svampar är intressanta av många anledningar, bland annat eftersom de har potentialen att bryta ner komplexa kolföreningar, som till exempelvis läkemedelsrester, och har ofta en viktiga ekologisk funktion i diverse mikrobiom.

Stora skillnader kunde ses i de olika långsamfiltrens sandprover (Figur 14). Sekvenser tillhörande svampar av klassen *Rozellomycotina* var signifikant vanligare i det etablerade filtret (Est) än i de båda nya filtren (Mix, New) ($p < 10^{-7}$ respektive $p < 10^{-38}$). I filtret som tillverkats av enbart ny sand (New) fanns i stort sett inga sekvenser som tillhörde klassen. Att *Rozellomycotina* finns representerad i filtret som till viss del tillverkats av sand från ett äldre långsamfilter (Mix) skulle kunna tyda på att denna tillförda sand var källan till klassens närvaro. Sekvenser tillhörande *Rozellomycotina* var också signifikant ($p < 0{,}0003$) vanligare efter skumning av långsamfiltren än innan, vilket tyder på att de till största del finns under långsamfiltrets ”schmutzdecke”.

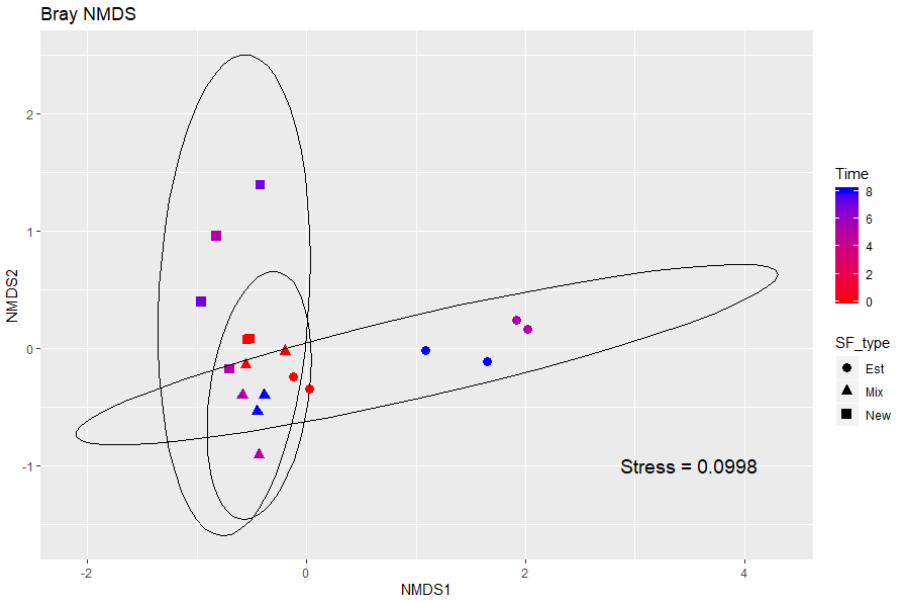


Figur 14. Relativa andelar av olika svampklasser i långsamfiltren. Est avser ett etablerat filter. Mix avser ett nytt filter där en del av sanden togs från etablerade långsamfilter. New avser ett nytt filter där all sand var ny. Tiden anges i dagar, där siffran efter punkt indikerar vilket replikat som avses. Skumning av långsamfiltren utfördes dag 1 för alla filter.

Rozellomycotina tillhör divisionen *Rozellomycota* som är en nyupptäckt och relativt outforskad del av svampriket. Dess medlemmar är till hög grad intracellulära parasiter av bland annat protozoer, vilka likt *Rozellomycotina* har visats vara flest i antal under långsamfilters yta. Då protozoer observerats vara en huvudsaklig källa till långsamfilters förmåga att rena vatten från *Escherichia coli* är det möjligt att skillnaden i antalet *Rozellomycotina*-sekvenser motsvarar skillnader i filtrens protozopopulation, och därav deras förmåga att eliminera indikatororganismer. Detta stärks av det faktum att ett flertal

genombrott av *E. coli* observerades i New, där *Rozellomycotina* saknas, medan genombrotten var mer begränsade i Mix och obefintliga i Est.

Svampsamhällena visade i sin helhet en annorlunda organisation än bakteriesamhällena som tidigare studerats i dessa långsamfilter, vilket kan ses i en NMDS-graf där provens olikheter visualiseras som avstånd mellan punkter (Figur 15). Innan skumning var svampsamhällena relativt lika, vilket kan ses då de röda punkterna ligger nära varandra. Efter skumning (blå och lila punkter) blir Est (cirklar) och New (kvadrater) mer olika varandra, medan Mix (trianglar) till stor del förblir oförändrad. Detta står i kontrast till vad som sågs i bakteriesamhällena, där Est och Mix var mycket lika och inte förändrades av skumning. Förändringarna i Est härrör till största del från ökningen av *Rozellomycotina*, medan de i New innefattar en större mängd olika organismer. Detta skulle kunna tyda på existensen av ett övre lager svamporganismer som kommer från det ingående vattnet, samt ett undre lager som utvecklas under en längre tid. Att de övre och undre skikten i Mix är relativt lika skulle kunna förklaras av det faktum att filtret till stor del tillverkats av toppskikt som skummats från äldre långsamfilter, och att det därmed bibehållit dessas svampsamhällen även längre ner i filtret.



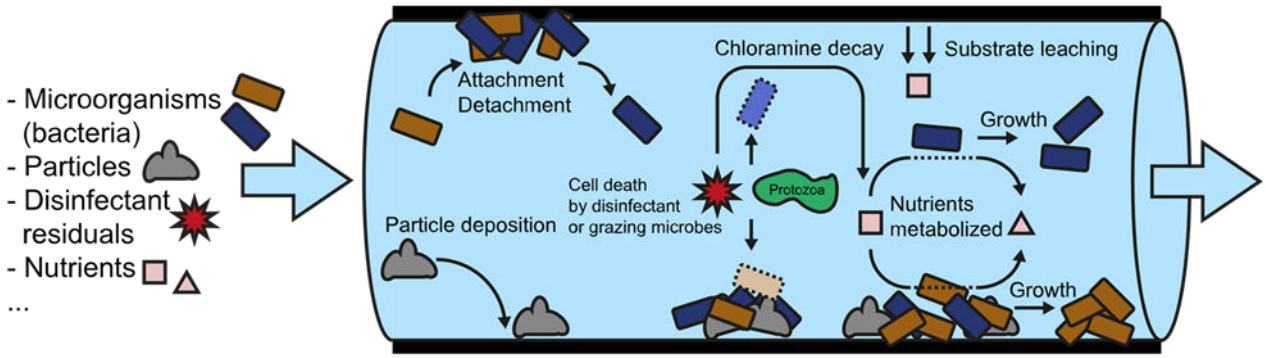
Figur 15. Non-metric multidimensional scaling (NMDS) graf för proven. Skillnader i svampsamhällen visualiseras här som avstånden mellan punkter, där en punkt är ett prov. Prov med olika svampsamhällen placeras långt ifrån varandra. Färgen visar tiden i dagar, där de tidigast tagna proven är röda medan de sist tagna är blå. Punkternas form visar vilket långsamfilter proven tillhör: Est är runda, Mix är trekantiga och New är kvadratiska. Ellipserna utgör 95% konfidensintervall för punkternas positioner i de olika filtren. "Stress" avser hur väl provens olikheter kan visas i en tvådimensionell graf, där ett värde under 0.1 i regel innebär att olikheterna är väl representerade.

Komponent 4.2 – Granska biostabilitet

Lunds universitet studerar i samverkan med SWR, Sydvatten och VA SYD vattnets mikrobiella förändring i ett hypotetiskt "vattenpaket" under dess resa (bussresa) från Ringsjöverket via Lund och ett antal reservoarer innan det slutligen når Flyinge cirka två dygn senare med hjälp av en hydraulisk approach. Med tanke på att beredningsprocesserna i Ringsjöverket förändrar (fällning och långsamfilter) och avdödar (UV och hypoklorit) stora delar av den mikrobiologiska floran används

FCM bl.a. för att studera totalantalet intakta bakterier (ICC) och fraktionen ”low nucleic acid” (LNA)-bakterier. Halten ICC i utgående vatten ligger relativt konstant på 12 000 till 35 000 bakterier per milliliter beroende på årstid, vilket motsvarar i snitt cirka 13 % av totalhalten uppmätta bakterier (TCC), dvs. mer än 85 % av TCC som lämnar Ringsjöverket är ej levande bakterier. För att öka värdet på FCM-analysen har man i Skånestudien definierat nya ”nucleic acid”-fraktioner som med ökad precision följer florans förändring. LNA har delats in i två grupper, en grupp med lägre DNA-mängd (L-LNA) och en grupp med högre DNA mängd (H-LNA). New-HNA är en ny och alternativ flödescytometrisk gruppering (gate) som är mer anpassad till lundavattnets sammansättning. L-LNA analysen visar en tydlig årstidsvariation från 21 % L-LNA till 46 % L-LNA på utgående vattenverksvatten som troligen beror på faktorer som kan kopplas till råvattenkvalitén, långsamfilterfunktionen och desinfektioneffekten. Om vattenverksprocesserna kraftigt förändrar den mikrobiella floran så sker dessutom en mycket stor mikrobiell förändring i den 31 km långa huvudledningen från Ringsjöverket till södra Lund (Källby VV). Enligt de flödescytometriska fingeravtrycksanalyserna minskade andelen L-LNA till cirka 9,4 %, och new-HNA ökade till ett snitt på cirka 80 %. Detta beror troligtvis på en kombination av fördröjd desinfektionseffekt (UV och klor), dvs. avdödning i bulkfloran som lämnar vattenverket samt tillskott av frisatta biofilmsbakterier i ledningen. Därefter är de relativa förändringarna från Källby VV till Flyinge mindre, med en svag ökning av de två LNA-grupperna och en minskning av new-HNA. Antalet långsamväxande mikroorganismer (3 och 7 dygn) ökar från Källby VV till Norra verket och dess lågreservoarer. ICC-mätningarna visade att antalet intakta bakterier ökade mer eller mindre linjärt från lägst 12 000 per ml på utgående vattenverksvatten till högst 100 000 per ml i Flyinge, vilket innebär att majoriteten av mikroorganismerna i Lunds distributionssystem härstammar från ledningsrörens biofilm.

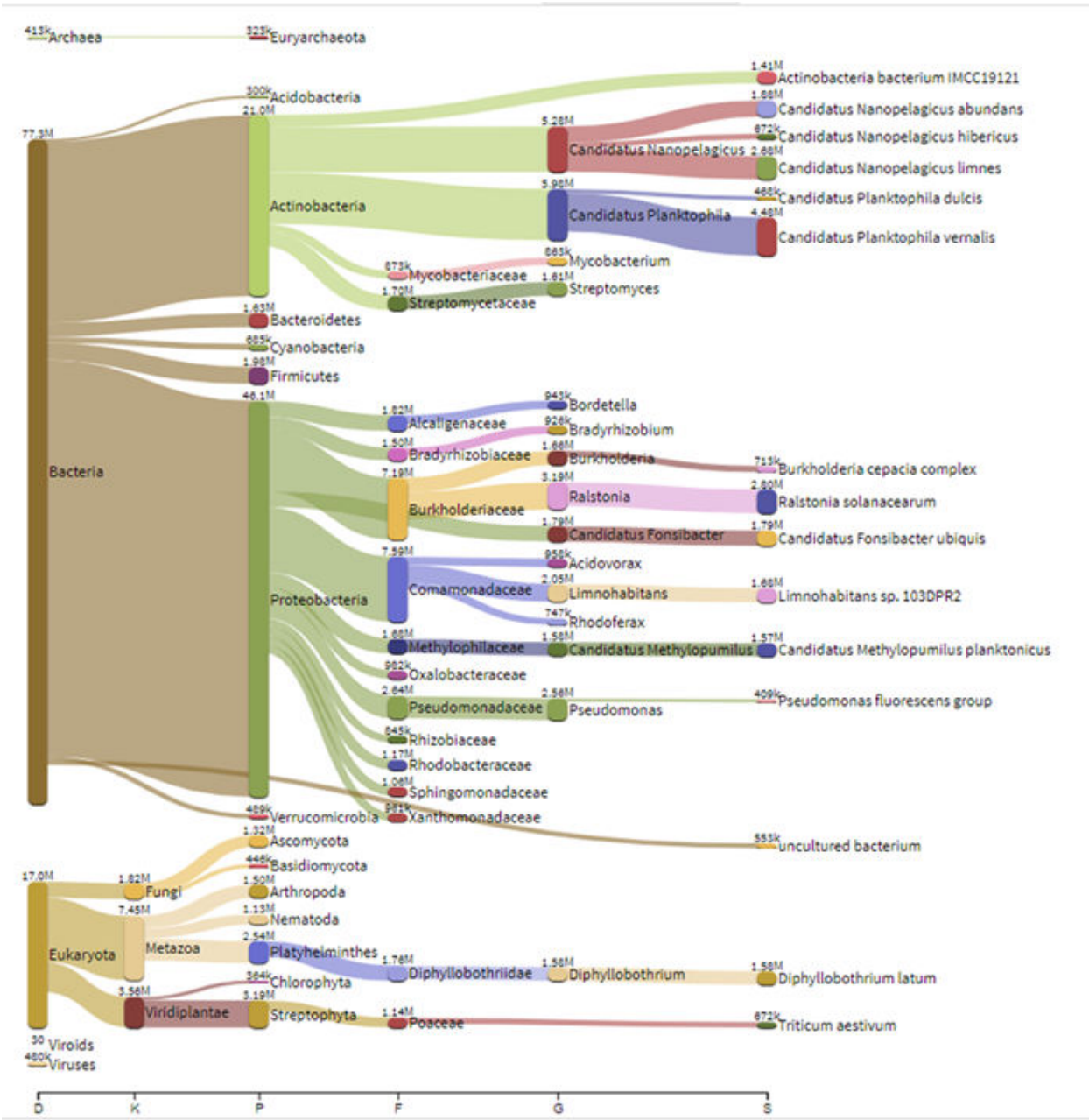
Studierna i Varbergs ledningsnät före och efter installationen av ultrafiltrering med fällning (UF) visar att den mikrobiologiska aktiviteten är kopplad till biofilmen (Figur 16) och inte vattenverkets utgående dricksvattenflora vilket har rapporterats i SVU-rapporten 2020-2, ”Biofilmens funktion och korrelation med dricksvattnets kvalitet”. Pullerits et al. (2020) har också identifierat ledningsrörets biofilm på fyra provpunkter över en tidsperiod på tre år för att fastställa hur lång tid det tar att förändra distributionssystemets biofilm efter UF samt vilka bakteriergrupper som förändras. Studien visar att den lokala rörbiofilmen som består av cirka 40-50 bakterietyper förändrades distinkt i varje provtagningspunkt under en tid på cirka 1,5 år innan biofilmssammansättningen stabiliserades. Resultaten visade också att UF med fällning inte påverkade biofilmens övergripande taxonomiska sammansättning eller biofilmsaktivitet med avseende på den bakteriella kväveomsättningen i ledningsnätet. Dock förändrades de specifika bakterietyperna i varje taxa. Sammanfattningsvis, konceptet ”biostabilitet” som bygger på att ingen återväxt skall kunna påvisas i distributionssystemet behöver nyanseras för att inkludera distributionssystemets dynamiska biofilmsförändringar över året.



Figur 16. Biologiska processer i distributionssystemets biofilm (Pullerits, 2020).

Komponent 4.3 – Fastställa kemisk och biologisk barriärverkan

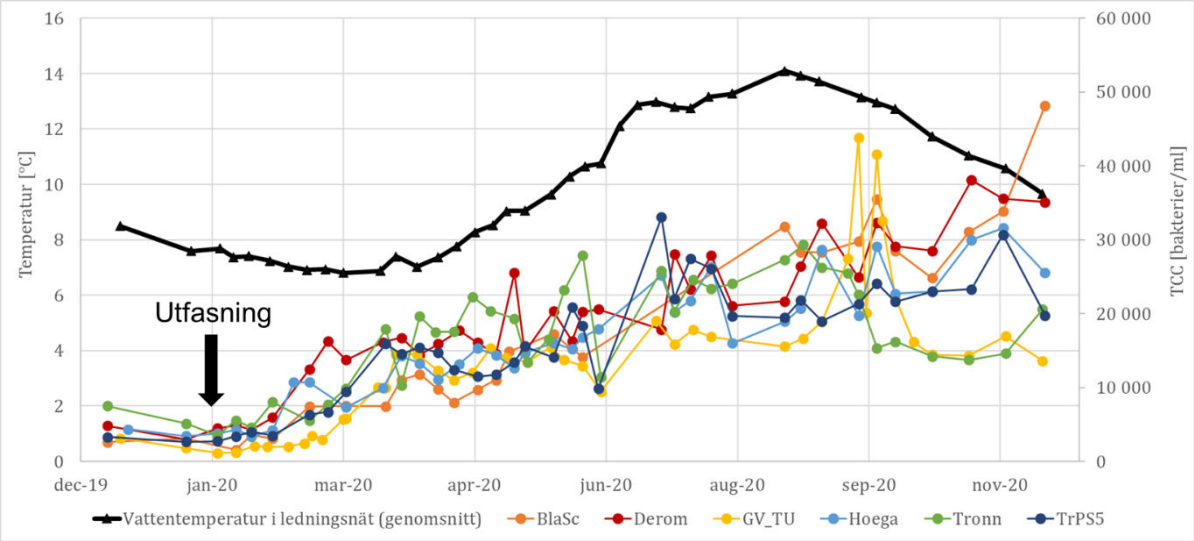
I ett samverkansprojekt med Norrvatten, Livsmedelsverket, Sweden Water Research och Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI) i Umeå har vi genomfört en fullskalig UV-studie på Görvälnverket som har publicerats i npj Clean Water 3, 11 (2020). Projektet som är fundamentalt visar hur naturligt förekommande bakterier i Görvälnverket avdödas vid tre olika UV-doser (250 J/m^2, 400 J/m^2 och 600 J/m^2) samt hur sammansättningen av de UV-resistenta bakterierna efter 6 dagars lagring vid 7° C påverkas. Studien som bygger på att med hjälp av PCR-teknologin och sekvensering påvisa DNA-skador, s.k. tymindimerer, visar att Gram-negativa bakterier som innehåller mer av kvävebasen tymin i sitt DNA är UV-känsliga, emedan tyminrika Gram-positiva bakterier är UV-resistenta. En systematisk analys av sekvenserade PCR-fragment (16S-sekvensering) visade att de UV-resistenta bakterierna hade ett större genomsnittligt innehåll av kävebaserna guanin och cytosin (55% ± 1,7) än UV-känsliga bakterier (49% ± 2,5). Resultaten visar ett tydligt taxonomiskt utfall där exempelvis Gram-negativa patogener såsom *E. coli* är UV-känsliga emedan Gram-positiva patogener såsom *Mycobacterium* är UV-resistenta. Vi har också analyserat samtliga UV-prover med en annan sekvenseringsteknologi som inte bygger på PCR-teknologin. Den s.k. shotgun-sekvenseringen analyserar allt DNA i provet istället för specifika bakteriella 16S-fragment. Figur 17 visar ett s.k. Sankey-diagram över sekvenserade DNA-fragment där merparten av analyserat DNA är bakteriellt (cirka 90%), emedan övriga DNA-fragment härstammar från återstående mikroorganismer (arkéer, alger, svampar, protozoer och virus) samt fisk-DNA. De preliminära resultaten från shotgun-sekvenseringen visar också samma mönster avseende UV-känsliga och UV-resistenta bakterier. En djupare bioinformatikanalys av sekvenserade fragment visar ingen förekomst av virulens- och antibiotikaresistensgener, vilket är positivt. Dock skall det påpekas att riktad PCR-baserad sekvensering är känsligare än shotgun-sekvensering, dvs. mer lämplig att påvisa specifika arter eller förekomst av specifika virulens- och antibiotikaresistensgener. Sammanfattningsvis, UV-studien på Görvälns vattenverk, visar att; 1. UV reducerar antalet odlingsbara organismer, 2. PCR-baserade metoder kan användas för att övervaka UV, 3. biostabiliteten påverkas av UV och 4. släktskap påverkar bakteriers UV resistens.



Figur 17. Sankey-diagram över olika taxonomiska nivåer på x-axeln ifrån; D = domän, K = rike, P = stam, F = familj, G = släkte och S = art. För varje nivå visas de största taxonomiska grupperna. Proverna är tagna på Görvälns vattenverk och representerar floran innan UV-bestrålning.

I samverkan med VIVAB och FOI Umeå studerar Lunds universitet utfasningen av monokloramin i Varbergs distributionssystem. Även om monokloramin inte kan betraktas som en mikrobiologisk barriär på vattenverket är det ett desinfektionsmedel som dämpar och förhindrar tillväxt av bakterier på distributionssystemet, dvs. kloreffekten på biofilmsbakterier kan studeras. Dessutom produceras sedan den 28 november 2016 ett mer eller mindre cellfritt vattenverksvatten vilket möjliggör en renodlad biofilmsstudie. Preliminära resultat visar att utfasningen av monokloramin den 20 januari 2020 ledde till en ökad frisättning av biofilmsbakterier i de centrala distributionsområdena under våren och sommaren, men ej i ytterområdena på ledningsnätet. Det skall noteras att kloraminmängderna som har använts i Varberg (0,13 – 0,21 mg/L) var för låga för att kunna uppmätas i ytterområdena på distributionssystemet.

Den första noteringen av ökade bakteriehalter enligt FCM-mätningarna var den 18 februari 2020, dvs. en månad efter borttagandet av monokloramin. Ökningen observerades i utgående vattenverksvatten samt i det centrala och norrgående ledningsnätet. Frånvaron av kloramin påverkade troligtvis starkt biofilmsfloran i de centrala områdena inklusive vattenverkets två lågreservoarer eftersom nitrifikationsbakterier inte kan växa utan energigivande ammoniumjoner. I frånvaron av klor förstärktes också förmodligen tillväxten av klorundertryckta biofilmsbakterier. Responsen på allt detta var en ökad frisättning av biofilmsbakterier. Den totala bakteriekoncentrationen (TCC) ökade från cirka 600 bakterier per ml i utgående vatten till 1200 bakterier per ml för att därefter ytterligare successivt öka under sommaren som en effekt av allt högre vattentemperaturer, se nedanstående figur 18.



Figur 18. Utveckling av totalantalet bakterier (TCC) per ml i ledningsnätet vid punkter som hade mätbara klorhalter innan utfasningen av kloramin.

Den ökade frisättningen av biofilmsbakterier gav också ett tydligt utslag på odlingsbara mikroorganismer perioden april-juni. Tack vare de systematiska FCM-mätningarna sedan våren 2018 på 16 provtagningspunkter på distributionssystemet var det möjligt att urskilja effekten från utsättningen av kloramin från temperaturhöjningen. Provtagningspunkterna närmast vattenverket uppvisade upp till fem gånger högre TCC-värden jämfört med tidigare år, t.ex. TrPS5 med 25 000 bakterier per ml (Figur 18) istället för cirka 5 000 bakterier per ml. Det är idag osäkert om de högre TCC-värdena i de tidigare kloraminutsatta regionerna kommer att återgå till ursprungsnivåerna eller om de kommer att stabiliseras på nya, generellt högre, nivåer.

Preliminära sekvenseringsresultat från 6 strategiska provtagningspunkter i Varberg visar att utfasningen av monokloramin har förändrat den mikrobiella kvalitén och troligtvis ökat den mikrobiella säkerheten i ledningsnätet. Utan selektionstryck (ammonium och klor) sågs en ökad frisättning av biofilmsbakterier associerade med nitrit- och nitratbildning (*Nitrosomonas* och *Nitrospira*), vilket var väntat med tanke på att nitrifikationsfloran inte kan växa utan energigivande ammoniumjoner utan kommer att lämna biofilmsfloran. Tre månader efter utfasningen av kloramin uppvisade aprilproverna liten eller ingen förekomst av dessa bakteriegrupper samt ej mätbara halter av ammonium och nitrit. Gränsvärdet för nitrit är 0,5 mg/l (otjänligt dricksvatten).

Även förekomsten av potentiella patogener såsom *Legionella*, *Mycobacterium* och *Pseudomonas*, avtog markant efter utfasningen av monkloramin men liten eller igen förekomst i aprilproverna. Resultaten är uppseendeväckande, men inte helt oväntade med tanke på att dessa bakterier är relativt klorresistenta. Ogynnsam klorselektion av patogener har påpekats i litteraturen. Förekomsten av järnoxiderande *Ferribacterium* påvisades i två distributionsområden där rörmaterialet antigen är segjärn eller gjutjärn. Tre månader efter utfasningen av kloramin uppvisade aprilproverna i dessa områden liten eller ingen förekomst av *Ferribacterium* vilket är mer oväntat. Studien som pågår med en slutlig provtagningskampanj i februari 2021, dvs. ett år efter utfasningen, fokuserar på att artidentifiera och beskriva ovanstående bakterier samt att fastställa den slutliga förändringen av den mikrobiella vattenkvalitén och säkerheten.

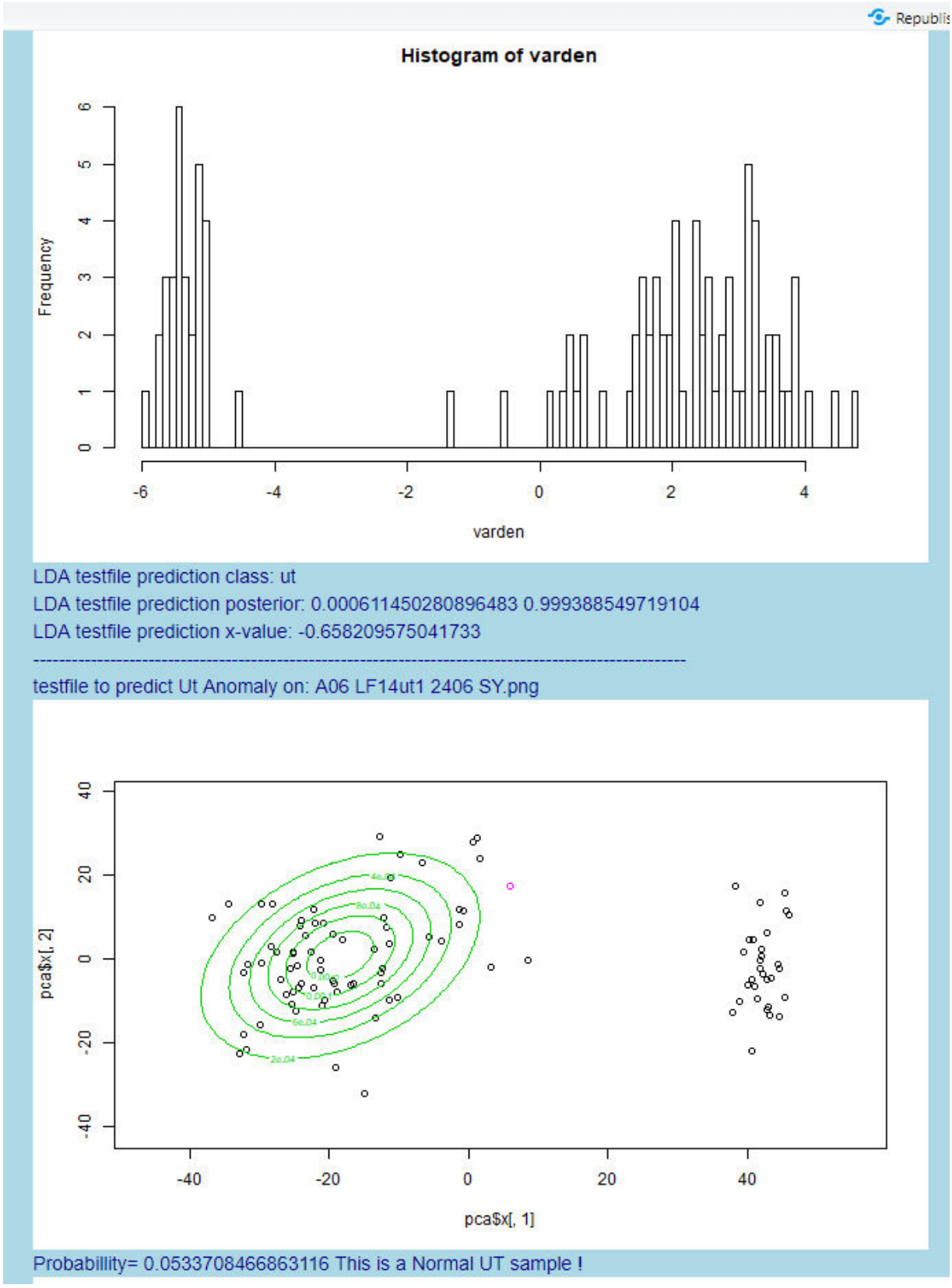
I början av 2020 beviljades projektet ”Virus i dricksvatten - viabilitet och reduktion efter rening” SVU-stöd för att undersöka reduktionen av infektiöst virus i fullskalig dricksvattenproduktion. Projektstarten försenades cirka ett halvår pga. pandemin och att projektledaren Kristina Nyström med kollegor från Göteborgs universitet var engagerade i Corona-relaterade uppdrag såsom att undersöka förekomsten av covid-19 i avloppsvatten. Under hösten har ett pilotprojekt med ett labb-anpassat UV-aggregat från Lunds universitet startats upp i Göteborg. Fullskaleprovtagningarna på vattenverken var på plats i början av 2021. Norrvatten kommer att bidra med vattenprover från råvatten, sandfiltrat, kolfiltrat (före UV) och utgående dricksvatten vid sex olika tidpunkter 2021. Kretslopp och vatten, Göteborgs stad, ansvarar för desinfektionsförsök med klor och klordioxid. Stockholm Vatten och Avlopp ansvarar för 6 provtagningskampanjer 2021 samt för att ett pilotförsök med nanofilter genomförs. Även Sydvatten, VIVAB och Norrköping Vatten och Avfall kommer att bidra med diverse vattenprover från sex olika tidpunkter 2021. Filtersatser har skickats till vattenverken för att testa provtagningsproceduren som skall koncentrera virus från 10 000 liter vatten. Desinfektionsstudierna vid Kretslopp och vatten i Göteborg har påbörjats.

Biofilterprestanda och effekten av kontakttid (CT) studerades vid Kungälvs nya WTP inom ett doktorandprojekt på Chalmers. Ett experiment genomfördes hösten 2019 och data analyserades under 2019-2020. Experimentet studerade fyra parallella biofilter som innehåller icke-adsorberande filtralit. Inledningsvis hade varje filter CT = 80 min, sedan sattes filtren individuellt till CT = 15, 30, 60 eller 81 min. Vattenkvalitetsmätningar inkluderade DOC, fluorescens och absorbans. Resultaten visade att avlägsnandet av NOM ökade när kontakttiderna ökade från 15 minuter till 80 minuter, varvid det största avlägsnandet inträffade när CT var 50-80 min. Fluorescens (proteinliknande och försämrad humusliknande) var den mest känsliga vattenkvalitetsmätningen för att upptäcka förändringar i vattenkvaliteten kopplad till kontakttiden. Två av fem fluorescenskomponenter reducerades av filtren medan tre passerade rakt igenom. En artikel som beskriver resultaten av studien har lämnats in för publicering.

En möjlig sensormetod för att mäta biologiskt syrebehov i dricksvatten undersöktes i ett Masters-projekt under januari 2020 till jan 2021. Projektet genomfördes i samarbete med Trollhättan Energi och Kungälvs Kommun. Syreförbrukningen av det naturliga biologiska samfundet mättes vid olika steg i reningsanläggningarna och jämfördes med standardkurvor för samma organismer när de växte på acetat. Preliminära data visade lovande resultat samt praktiska och teoretiska hinder som skulle behöva övervinnas innan metoden skulle komma till praktisk användning.

Komponent 4.4 – Identifiera analytiska biofilmsmarkörer

Det finns ett stort behov av att ta fram snabba och effektiva mikrobiologiska analysverktyg som kan användas av Sveriges dricksvattenproducenter. Vi har expanderat användningen av flödescytometri (FCM) för effektivare övervakning av beredningsprocesser och distributionssystem. Under året har vi utvecklat verktyg för att bearbeta komplexa FCM-dataset med hjälp av maskininlärningsapplikationer i samarbete med Högskola Kristianstad. Programvara har utvecklats för att identifiera naturliga analysdataförändringar samt att kunna påvisa avvikande data. Resultaten som baseras på antalet bakterier och deras DNA-mängder i en specifik vattenvolym avspeglar den bakteriologiska sammansättningen eller mönsterprofilen i vattenprovet. Utvecklad maskininlärningsmetodik kommer att underlätta implementeringen av mer avancerad mönsteranalys med FCM eftersom basnivåer och larmnivåer kan beräknas automatiskt samt att larmnivåer kompletteras med statistiska sannolikhetsberäkningar, dvs. resultatvärderas. Metodiken, som har utvecklats med hjälp av befintliga FCM-data och Cytometric Histrogram Image Comparison (CHIC) resultat från enskilda långsamfilter i Ringsjöverket, har förbättrat såväl analysprecision som analystider avsevärt med hjälp av PCA (Prinicipal Component Analysis) och LDA (Linear Discriminant Analysis) metodik. Figur x visar en LDA-tillämpning på ingående och utgående långsamfiltervatten där LDA tilldelar vilken grupp ett okänt prov tillhör med ett statistiskt sannolikhetsvärde. Medan LDA tilldelar vilken grupp ett okänt prov tillhör, kan 2D Gaussian Anomaly Detection användas för att identifiera oväntade analysmönster.



Figur 19. Skärmbilder från maskininlärningstillämpningar som utvecklats för FCM-analys. Den övre panelen visar LDA-analysen, där proverna delas in i två grupper utifrån ingående och utgående långsamfiltervatten. Den undre panelen visar hur väl ett okänt vattenprov (rosa punkt) tillhör sin förväntade klass, i detta fall utgående vatten. Ett sannolikhetsvärde beräknas genom en tränad 2-dimensionell Gaussisk fördelning på PCA data, och klassificeringen tas mot ett tränat gränsvärde.

Medan flödescytometri kan ge en översiktlig bild av ett mikrobiellt samhälle, genom vilken stora förändringar i en biofilms status (vid övervakning av exempelvis ett långsamfilter) kan observeras, kan även specifika biologiska markörer vara användbara. FCM-baserade markörer används generellt för enbart vattenprover, eftersom det är svårt (men inte omöjligt) att applicera denna metod på bakterier som fäst sig vid sand i form av en biofilm. Markörer som omedelbart meddelar om ett långsamfilters biofilm mognar på ett korrekt sätt skulle ge användare en chans att avgöra om etableringen av ett nytt långsamfilter ska fortsätta eller avbrytas, med begränsningen att utvecklingen skulle behöva övervakas med DNA-baserade metoder såsom qPCR. Med detta i åtanke kombinerade vi information gällande bakterie- och svampsamhällen i två nya och ett etablerat långsamfilter. Medan de mikroorganismer som finns i störst antal givetvis är intressanta att studera, undersöktes även mer sällsynta mikroorganismer för att utvärdera potentiella mikrobiella nyckelarter. En nyckelart är en organism som trots att den bara är närvarande i litet antal har en stor inverkan på ett ekosystem, exempelvis därför att den har unika förmågor att bryta ner vissa näringsämnen. Welchs två provs t-test visade att svampar generellt verkar vara viktigare än bakterier för långsamfilters ekosystem. Svamporganismer hade högre ”hub centrality”, då en svamporganism i snitt interagerade med 43,2 andra mikroorganismer, jämfört med 29,2 för bakterier ($p < 2{,}2e\text{-}16$), och var i högre grad sammanlänkande för stora delar av ekosystemet, en egenskap som kallas ”betweenness centrality” (1840 för svampar jämfört med 872 för bakterier, $p < 2{,}2e\text{-}16$). Detta kan tyda på att svamporganismer skulle kunna utgöra indikativa biomarkörer för ett effektivt långsamfilter.

Specifika svamp- och bakterietaxa som identifierades kan ses i Tabell 3. Dessa är potentiella biomarkörer för en välfungerande LF-biofilm.

Tabell 3. De tio mest inflytelserika bakterie- och svampsekvenserna i långsamfiltrens biofilm. ”ASV #” refererar till den specifika DNA-sekvensen. ”Hub centrality” och ”betweenness centrality” är indikatorer för hur sammankopplade dessa organismer är i nätverksanalysen. Rike, samt mer detaljerad taxonomisk information gällande mikroorganismen som DNA-sekvensen (ASV) representerar är också inkluderat.

ASV #	Hub centrality	Betweenness centrality	Rike	Lägsta tillgängliga taxonomiska nivå	
B2790	86	6589	Bacteria	Släkte; Art	Sphingomonas; astaxanthinifaciens
F142	83	5975	Fungi	Ordning; Familj	Agaricales; Strophariaceae
F57	82	6234	Fungi	Släkte; Art	Leptosphaeria; urticae
F79	81	5344	Fungi	Släkte; Art	Thelebolus; globosus
B1242	80	5523	Bacteria	Familj; Släkte	Solibacteraceae; KBS-96
B6412	79	6248	Bacteria	Släkte; Art	Silvanigrella; aquatica

F117	79	5377	Fungi	Släkte; Art	Nigrograna; cangshanensis
F247	78	5478	Fungi	-	-
B3891	77	5317	Bacteria	Släkte; Art	Conexibacter; woesei
F263	75	5531	Fungi	-	-

4. Kommunikation och publicering (AP5)

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 & arrangemang

Under 2020 arrangerades ett DRICKS internat, två workshops/seminarium och ett antal DRICKS möten. Dessutom var medlemmar från DRICKS medarrangörer eller inbjudna talare i ett antal seminarier och workshops. Utbrottet av corona har satt sin prägel på 2020 och inte lika många seminarier och andra arrangemang kunde äga rum som vanligt, men ett antal events hanns med på våren innan corona fick spridning och under hösten styrdes många events om och blev digitala.

DRICKS internat 2020

Den 16 - 17 januari samlades DRICKS forskare och medlemmar för att delta i det årligen återkommande DRICKS-internatet, som 2020 hölls i Stockholm. Vid internatet deltog DRICKS beredning- och styrgrupper samt representanter från samtliga medlemskommuner och forskningsmiljöer. Pågående forskning inom DRICKS olika arbetspaket presenterades och sedan genomfördes ett flertal workshops. Den första handlade om att forskare och vattenproducenter genomensamt skulle identifiera problem och utmaningar som kunde utgöra grunden för förlängningen av DRICKS program under 2021. Den andra kopplade till DRICKS vision, mission och långsiktiga mål. Den tredje hade temat ”brännande frågor” där bland annat leveranssäkerhetsmål, krav på kvalitet, hälsorisker och vattentaxa diskuterades.

Under internatet gavs även två presentationer. Den första handlades om SDG Impact assessment tool - ett verktyg kopplat till de globala hållbarhetsmålen. Verktyget kan användas som underlag inför strategisk diskussion kring hur verksamhetsmål kan bidra till synergier mellan hållbarhetsmål, eller strategier för att minimera målkonflikter. Den andra presentationen gavs av Petra Wallberg, handläggare på Formas, som delade med sig av Formas strategi för att lyfta in mer fokus på vatten i framtida utlysningar.

Figur 20. Deltagare vid DRICKS årliga internat i Loviken, Stockholm 2020.

DRICKS workshop/seminarium

<u>Workshop kemiska risker</u>

Den 5 mars genomfördes en heldagsworkshop i Uppsala med fokus på kemiska risker och kolfilter. Fem olika experiment med GAC filter presenterades. Sedan följde diskussioner i smågrupper kring olika teman, t ex. GAC kolsorter, GAC uppehållstider, GAC belastning, DOC effekt, förbehandling, NF och MIEX, Ozon, genombrott, GAC drift, GAC regenerering, analysmetoder, modeller,

pilotanläggningar, drift piloter, sensorer, och rapportering av data. Under workshopen diskuterades även planering av GAC toppningsexperiment/passivprovtagare inom DRICKS. Cirka 15 personer deltog i workshopen.

Biofilmens påverkan på vattenkvalitet

Den 28 maj hölls ett seminarium om biofilmens påverkan på vattenkvalitet digitalt via Zoom. Syftet med seminariet var att lyfta frågeställningar om biofilmer i ledningsnät och långsamfilter och se på biofilmens inverkan på vattenkvalitén hos konsument, och i synnerhet hur distributionsstörningar, kvalitetsåtgärder och stagnant vatten påverkar kvaliteten. Peter Rådström för Lunds universitet stod värd för seminariet och under seminariet presenterades tre ledningsnätsprojekt: Catherine J Paul från Lunds universitet beskrev hur ultrafiltrering har förändrat biofilmen och dricksvattenkvaliteten i Varberg. Mikael Danielsson från Norrvatten/Lunds universitet berättade om Oxbergsreservoaren, ett nytt projekt om ett vattentorn i Stockholm. Sandy Chan från Sydvatten presenterade nya rön om långsamfilter och deras funktion. Cirka 30 personer deltog i seminariet.

QMRA utbildning

En QMRA-utbildning, som är en delleverans i SVU-projektet "Framtagande av utbildningsmaterial till QMRA-verktyget", var planerad till våren 2020, men blev framflyttad och genomfördes digitals under hösten (2020-11-06). Utbildningen arrangerades för att testa det utbildningsmaterial som tagits fram inom ett SVU-finansierat projekt. DRICKS medlemmar bjöds in för att delta i utbildningen och en genomgång gjordes av såväl nödvändig teori samt verktygets olika delar och hur man praktiskt använder det. Utbildningsmaterialet, som skall användas vid introduktionsutbildningar som skall ges i Svenskt Vattens regi.

DRICKS möten

DRICKS arrangerar regelbundet möten mellan forskarna. Ibland görs presentationer av pågående forskning och då bjuds även DRICKS medlemmar in till dessa möten.

DRICKS möte (2020-04-15)

Doktoranderna Anna Ohlsson och Nadine Gärtner presenterar sina projekt:

- Anna Ohlsson, industridoktorand på Chalmers i samverkan med Göteborgs Kretslopp och Vatten, presenterar sitt doktorandprojekt: *Beslutsstöd för hållbar hantering av tillskottsvatten.* Ett huvudsyfte med projektet är att utveckla en riskbaserad beslutsstödsmodell för att nå en hållbar nivå av tillskottsvatten.

- Nadine Gärtner, doktorand på Chalmers, presenterar sitt doktorandprojekt: *Risk-based prioritization of water protection in sustainable spatial planning (WaterPlan).* Nadines del i projektet avser att ta fram underlag för att kunna göra en välinformerad analys och prioritering av åtgärder i syfte att skydda dricksvattenkällor som en del av den framtida stadsutvecklingen.

DRICKS möte (2020-11-25)

Kristjan Pullerits och Daniel Malnes presenterar sin forskning:

- Kristjan Pullerits, doktorand vid Lunds universitet presenterar resultat från studie som tittat på effekter av introduktion av membranfiltrering i ett fullskaligt ledningssystem (Vivab) – hur påverkas vattenkvaliteten och biofilmen i ledningsnätet?

- Daniel Malnes, SLU, presenterade preliminära resultat från en av de största undersökningarna av organiska mikroföroreningar i de tre stora svenska sjöarna: Mälaren, Vättern och Vänern som utgör dricksvatten för cirka 3 miljoner människor. Det provtogs från 13 provplatser i sjöarna samt från 23 provplatser vid in och utlopp vid vattendrag och nu finns ett stort dataunderlag för vidare analys. Ämnesgrupper som undersöktes var läkemedel och personvårdsprodukter, PFAS, hormoner, industrikemikalier samt övriga. Preliminära resultat indikerar effekter på avloppsreningsverk, hot spots, mm.

DRICKS session under Svenskt Vattens FoI-dagar
DRICKS arrangerade en session under Svenskt Vattens FOI dagar den 8 - 9 december 2020. DRICKS bidrag bestod av följande presentationer:

- Introduktion och presentation av DRICKS *Thomas Pettersson, Chalmers*

- Removal of PFASs in drinking water using advanced treatment processes. *Lutz Ahrens, SLU*

- Resultat från pågående projekt kring användning av AI för att prediktera vattenkvalitet vid intaget i Göta älv. *Ekaterina Sokolova, Chalmers*

- Verktyg och underlag för beslutsstöd: vattensystemtjänster, ekonomiska effekter vid vattenavbrott och multikriterienalys. *Andreas Lindhe, Chalmers, Karin Sjöstrand, RISE, Lars Rosén, Chalmers*

- En saga om två riken: svampar och bakterier i långsamfilter. *Catherine J Paul, Lunds universitet*

- Bedömning av hälsorisker i ledningsnät, med QMRA-analyser kopplade till hydrodynamisk modellering, och Future City Water-projektet. *Thomas Pettersson, Chalmers, Victor Vinas, Chalmers, Ekaterina Sokolova, Chalmers*

- Vattenforskarskolan 2.0 - ett nytt kapitel tillsammans med Svenskt Vatten *Catherine J Paul, Lunds universitet*

DRICKS Examensarbetsförslag och studentträffar
På Chalmers genomförde DRICKS en studentträff i början av november 2020 med intresserade studenter där tillgängliga examensarbetsförslag för läsåret 2020/2021 presenterades. DRICKS deltog även på Chalmers arbetsmarknadsmässa för samhällsbyggnadsområdet, VARM, i november. År 2020:s upplaga av mässan var helt digital, och DRICKS deltog med en digital monter.

Vattenforskarskolan årliga möte
Vattenforskarskolan, där cirka 55 doktorander ingår, brukar arrangera ett årligt möte. År 2020 var det planerat att äga rum den 11 - 12 juni i Göteborg men på grund av corona blev det istället ett digitalt möte. Föreläsare under mötet var Pär Dalhielm, VD/CEO Svenskt Vatten; Anna Norström Svenskt Vatten Utveckling; Helene Norder, Professor, University of Gothenburg; Salar Haghighatafshar, alumni och Erik Winnfors, Editor in Chief, Cirkulation Magazine. DRICKS är en av partnerna i

Vattenforskarskolan.

4.2 Vetenskaplig publicering, konferenser och doktorsavhandlingar

Under 2020 har forskningsresultat inom DRICKS publicerats i vetenskapliga artiklar i välrenommerade referee-granskade tidskrifter samt i ett antal tekniska rapporter. Forskarna verksamma inom DRICKS har också aktivt deltagit i flera konferenser, med konferensartiklar eller som inbjudna talare. På grund av corona har tyvärr några konferenser där DRICKS skulle varit med blivit inställda eller uppskjutna. T ex kan nämnas IWA WW Congress som var planerad till Köpenhamn den 18-23 oktober 2020. En del konferenser har dock ställts om och DRICKS forskare har deltagit online.

Under året har fyra doktorsavhandlingar publicerats inom DRICKS på följande teman:

- Sjöstrand, K. (2020), *Decision support for sustainable water security*.
- Franke, V. (2020), *Treatment methods for the removal of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) from drinking water: optimizing existing and exploring novel treatment techniques*
- Pullerits, K. (2020), *Impact of Drinking Water Treatment and Pipe Biofilms on Bacterial Dynamics in the Distribution System*
- Hägg, K. (2020), *Modern Artificial Recharge Plants*

Dessutom har en docent har blivit utnämnd:

Foon Yin Lai vid institutionen för vatten och miljö har blivit utnämnd till docent i miljöanalys med inriktning mot miljökemi med föreläsningen *Environmental assessment of emerging contaminants towards safer wastewater reuse.*

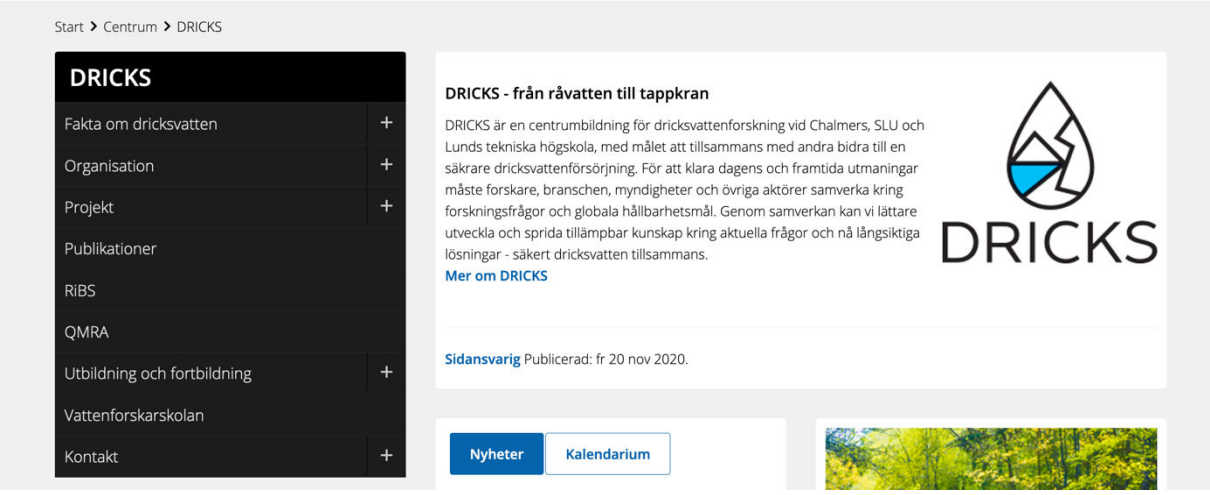
I kapitel 6 redovisas alla de publiceringar som genomförts inom DRICKS.

4.3 Populärvetenskaplig kommunikation

DRICKS främsta kanaler för information om verksamheten samt populärvetenskaplig kommunikationen utgörs av hemsidan dricks.chalmers.se (se Figur 21) och vårt nyhetsbrev. En naturlig följd av att tre olika lärosäten och många organisationer samlas under DRICKS-namnet är att en stor del av kommunikationen om själva verksamheten dock har en hemvist i respektive lärosätes och medlemsorganisations kanaler.

Hemsida

DRICKS-webben på dricks.chalmers.se är vår plattform för information om organisationen och verksamheten, och landningsplats för nyheter om forskning och utbildning samt information om kommande aktiviteter i vår regi. Hemsidan syftar till att beskriva DRICKS genom att presentera en översiktlig bild av verksamheten och utgör vårt kontinuerliga skyltfönster mot våra intressenter samtidigt som den binder samman de tre lärosätena. Innehåller på hemsidan är av mer statisk karaktär, undantaget nyhets- och kalenderfunktionen. Här beskrivs avslutade och pågående forskningsprojekt, forskarutbildning och undervisning och info om utförda och kommande exjobb.



Figur 21. DRICKS hemsida

Även hur vi skapar samhällsnytta, hur organisationen är uppbyggd och vilka forskare och experter som är knutna till DRICKS.

Arbetet med hemsidan och dess innehåll är ett pågående arbete, både ifråga om utveckling av strukturen och om publicering av innehåll. Hemsidan är hemvist för en del av innehållet som sedan puffas ut i nyhetsbrevet. Målet med hemsidan är att våra identifierade målgrupper relativt enkelt ska kunna finna den informationen och/eller inspirationen de söker. Tonalitet och tilltal är anpassad efter de olika målgrupperna och skiljer sig i viss mån åt på respektive undersida.

Under senare delen av 2020 har arbete pågått för att bygga upp en ny underwebbplats på DRICKS hemsida för beslutsstödsverktyget WISER, ett arbete som kommer att färdigställas för att komma användare från dricksvattenbranschen till nytta under våren 2021.

Nyhetsbrev

Nyhetsbrevet är vår kanal för att föra ut forskningsresultat och information av nyare karaktär och utgör en direktkanal till medlemmar och intressenter. Ambitionen är att få till en relativt jämn fördelning av innehåll från Chalmers, Lund och SLU, med utblickar mot verksamheten i medlemsorganisationerna där det passar. Nyhetsbrevet syftar till att presentera både resultat och nya projekt, bjuda in till aktiviteter, skapa intresse för verksamheten och visa på samverkansmöjligheter såväl som att lyfta ny metodik och arbetssätt.

DRICKS nyhetsbrev har en maklig men stadig ökning i antalet prenumeranter inom dricksvattenproduktion, vilket ökar värdet och relevansen som kanal för att föra ut resultat samt information om nya tekniker och modeller till de som driftar och utvecklar vår svenska dricksvattenproduktion.

Facebook

Under 2020 utökades DRICKS kanaler med Facebook-sidan DRICKS-W, som främst modereras av forskare från SLU. Facebook-sidan syftar till att utgöra kontaktyta och plattform för nätverksbyggande mellan följarna som utgörs av studenter, forskare/lärosäten och medlemmar som representerar branschen. Målet med DRICKS-W är att skapa ömsesidigt värde för studenter och

verksamheter: att bidra till ansökningar som leder till rekryteringar inom exjobbs-förslag, praktikplatser, jobb och doktorandtjänster. Kommunikationsmålen är att följarna ska uppleva innehållet som relevant och intressant, samt att driva trafik till sidan för möjliga exjobb på dricks.chalmers.se.

Övrigt

Andra exempel på populärvetenskaplig kommunikation inom DRICKS omfattar medverkan i intervjuer i media, deltagande i paneler och framträdanden vid olika typer av forum och populärvetenskapliga arrangemang och medverkan i projekt för att skapa populärvetenskapligt material om dricksvatten. Under 2020 kan nämnas:

- Årligen bjuder Mälarens vattenvårdsförbund tillsammans med Institutionen för vatten och miljö på SLU in till Mälarseminarium. År 2020 hölls det den 11 november och Daniel Melnes, forskare inom DRICKS, presenterade på temat: *Läkemedelsrester i ytvatten och tillrinnande vattendrag till Mälaren, Vänern och Vättern.* Mötet hölls digitalt via Zoom. https://www.slu.se/ew-kalender/2020/11/valkommen-till-malarseminariet-2020/

- Thomas Pettersson, Chalmers, som intervjuades i Aftonbladet med anledning av MSB:s uttalande om risk för dricksvattenbrist. Läs texten i Aftonbladet: https://www.aftonbladet.se/nyheter/a/K3m2W7/kritik-mot-msbs-vattenvarning-spader-bara-pa-folks-oro

- Karin Wiberg och Lutz Ahrens medverkan i det EU-finansierade initiativet WATER JPI igenom vilket det tagits fram så kallade infographics om kemiska risker: http://www.waterjpi.eu/implementation/thematic-activities/water-jpi-knowledge-hub-1/waterjpi-khcec-infographic_society_27-01-20.pdf

- Rapporten om analyser i Mälaren blev mycket uppmärksammad i media:
  I radio:
  https://sverigesradio.se/artikel/forskare-hittade-manga-gifter-i-vanern
  https://sverigesradio.se/artikel/mest-miljogifter-i-malaren-av-de-stora-sjoarna

  I läkartidningen:
  https://lakartidningen.se/opinion/debatt/2021/02/lakemedel-fororenar-vara-vatten-lakare-bor-agera/

  Via andras hemsidor:
  https://www.richwaters.se/omfattande-undersokning-av-lakemedelsrester-i-malarens-vatten-2/

- Karin Sjöstrand och Andreas Lindhe medverkar i framtagande av film om vattenbrist: https://www.youtube.com/watch?v=FAEjdjZASSc

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 Vattenforskarskola 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.

Kurser vid Chalmers:

Vid Chalmers ges kurser som kopplar till dricksvatten och va-teknik samt riskbedömning och beslutsstöd. Kurserna ingår framförallt i Masterprogrammet *Infrastructure and Environmental Engineering*, men även några grundkurser med tydliga inslag av va-teknik redovisas nedan.

Dricksvattenteknik (BOM075)

Dricksvattenteknik i hela systemet behandlas i denna kurs, vilket delas in i tre delmoment; råvatten, beredning och distribution. Studenterna utbildas i att använda det svenska QMRA-verktyget, samt MBA-modellen, 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.

Riskbedömning och beslutsstöd (BOM125)

Denna kurs är fokuserad på hur riskbedömningar och specifika beslutsanalyser såsom kostnads-nyttoanalys 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 40-50 studenter läser kursen varje år (svenska och internationella). Kursen har fått mycket goda omdömen.

Hydrogeologi (ACE080)

Kursen ger studenterna en detaljerad förståelse för hydrogeologi vid nyttjande och skydd av grundvattenresurser inom grundvattenförsörjning och infrastruktur. Fokus är på metoder och analysverktyg för grundvattenhydraulik (akviferanalys), utformning av anläggningar för grundvattenuttag och infiltration samt skydd av grundvattenresurser.

Vattensystem och modellering (ACE085)

Syftet med kursen är att ge studenterna en förståelse för problemlösning och modellering inom området vattenhantering. Kursen är inriktad på vattenkvalitetsmodellering. En central del i kursen utgörs av ett projektarbete där studenterna får öva sina färdigheter på att lösa en öppen problemställning. I storleksordningen 20 studenter läser kursen varje år.

Hydrologi och dagvatten (ACE185)
Kursens övergripande syfte är att studenten ska förvärva fördjupad förståelse om den hydrologiska cykeln i natur-och stadsmiljö och hur denna påverkas av ett förändrat klimat. Studenten ska kunna tillämpa sina förvärvade kunskaper för att beräkna och modellera vattenflöden samt relatera förändringar i hydrologiska processer, t.ex. nederbörd och vattenflöden, till effekter på miljö och samhälle. I storleksordningen 50 studenter läser kursen varje år

From research to policy for sustainable development (doktorandkurs)
Kursen har utvecklats i samverkan med forskare och policyexperter vid Göteborgs centrum för hållbar utveckling, GMV, och utgör en del av kursutbudet i den klustergemensamma vattenforskarskolan. Kursen kombinerar teorier och faktorer som påverkar upptagandet av forskningsresultat i policy processer med praktiska övningar.

Water, Sustainable Development and LCA (doktorandkurs, gavs jan-mars 2020)
Studenterna lär sig att beskriva begreppen hållbar utveckling och LCA på både nationell och global nivå. Exemplifiera interaktionen och eventuella konflikter mellan olika hållbarhetsaspekter (ekologiska, ekonomiska och sociala), med särskilt fokus på vatten och va-tekniska system, och logiken för livscykelbedömning och bedöma konsekvenser Beskriva aspekter av livscykelbedömningsmetoder som är särskilt tillämpbara för utvärderingen av vattentjänster.

Kurser som är på grundutbildningsnivå men som hr ett tydligt inslag av va-teknik listas kort här:
- Teknisk samhällsplanering (BOM575), ca 120 studenter.
- Vattenresurser och hydraulik (BOM270), ca 120 studenter
- Vattenteknik och miljö (BOM345), ca 40 studenter

Kurser vid SLU:
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 årets projektarbete diskuterades vilka för- och nackdelar det finns med avseende på barriärverkan och miljöeffekter baserad på nio olika realistiska förslag för Görvälns möjlig framtida vattenverk.

Under året togs även fram länkar och beskrivningar för uppdragsarbeten från vattenverk för studenter som läser civilingenjörsprogrammen miljö- och vattenteknik samt energisystem. Uppdrag till studentarbeten kan nu lämnas in via hemsidan studentkraft.uu: *Låt studenter genomföra uppdrag i din verksamhet*

Länk:
https://studentkraft.uu.se/uppdrag/?tax_status%5B%5D=aktuell&search_query=&wpas_id=kurssok_form&wpas_submit=1

Mest relevanta är möjligen arbeten inom miljö- och vattenteknik:

Examensarbete: https://studentkraft.uu.se/kurser/examensarbete-i-miljo-och-vattenteknik/

Kandidatarbete: https://studentkraft.uu.se/kurser/sjalvstandigt-arbete-i-miljo-och-vattenteknik-kandidatarbete/

Kurser vid Lunds universitet:

Kusthydraulik (VVRN30)
Introducerar och ger en grundläggande förståelse för tekniska problem och processer som förekommer i kustzonen och ger inblick i integrerad förvaltning av kustområden där kustproblem och lösningar ses som en integrerad del av samhället

Hydrologi & Akvatisk Ekologi (VVRA01)
Syftar till att ge en helhetssyn på vattenmiljön utifrån såväl fysiska och som biologiska synpunkter. Hydrologi beskriver vattencirkulationen i naturen och under människans påverkan. Akvatisk ekologi beskriver förhållandet mellan de olika komponenterna i den lokala och globala miljön.

Strömningslära (VVRF10)
Ger grundläggande strömningstekniska kunskaper som erfordras för analys och problemlösning inom några viktigare områden med vattenanknytning som en ekosystemtekniker kan komma i kontakt med.

Vatten (VVRA05)
Ger grundläggande kunskaper som erfordras för analys och problemlösning inom några viktigare områden med vattenanknytning som en väg- och vattenbyggare kan komma i kontakt med. Vidare skall studenten i viss utsträckning kunna tillämpa kunskaperna på problem inom vattenbyggnad, stadsbyggnad och vattenförsörjning.

Hydromekanik (VVRN35)
Ger en fysikalisk förståelse för fenomen och begrepp inom komplicerade vattenflöden och introducerar beräkningsmetoder för att analysera en rad viktiga hydrauliska problem. Kursen behandlar huvudsakligen strömning med fri vattenyta med betoning på kanalströmning.

Strömning i naturliga vatten (VVRN40)
Förmedlar en grundläggande förståelse för de fenomen och processer som styr strömning i naturliga ytvatten, med syfte att ge möjlighet att analysera förutsättningar och konsekvenser vad gäller mänskliga aktiviteter i naturen. I begreppet 'aktiviteter' innefattas huvudsakligen utsläpp av föroreningar men samverkan mellan olika typer av konstruktioner och vattenströmning behandlas också liksom grundläggande sedimenttransport

Integrerad Vattenresursplanering (VVRF01)
Syftar till att förbereda studenterna att arbeta med frågor rörande integrerad

vattenresursförvaltning i ett internationellt perspektiv. Kursen har fokus på och genomförs med hjälp av praktiska exempel och projekt. Den behandlar tekniska och icke-tekniska frågor, inklusive de vanligaste vattenmiljöproblemen i både utvecklade länder och i utvecklingsländer

Avrinningsmodellering (VVRN10)
Behandlar den del av avrinningsområdet som ligger utanför urbaniserat område med fokus på modellering av avrinningsprocesser.

Sommarforskarskola i Kina (VVRF05)
En gemensam sommarkurs vid Xiamen University, Xiamen, Kina. Kursen ges från april-september, där 4 veckor är förlagda i Kina (juni – juli). Genom ett projektarbete tillsammans med kinesiska studenter får du erfarenhet av interkulturellt samarbete i en internationell miljö. I april inleds studierna med två seminarier, där projekten och litteratur presenteras. Kursen avslutas i september med ett slutseminarium. Självstudier innan avresa ingår. Exakta datum bestäms inför kursstart.

Hållbar Utveckling & Hushållning med Naturresurser (MIDA24)
Denna kurs är ett samarbete med Mastersprogrammet LUMID. Studerar nyttjande och planering av naturresurser i utvecklingsländer från ett socio-ekologiskt perspektiv. Huvudfokus ligger på mark-, vatten- och biologiska resurser med hänsyn till klimatförändringar och –variabilitet.

Vatten, Samhälle & Klimatförändringar (VVRN20)
Tillhandahåller metoder och verktyg för anpassning av vattenresurser system med avseende på klimatförändringar och klimatvariationer. Kursen kommer också att ge grundläggande förståelse för de fysikaliska processer som ligger bakom klimatförändringarna och dess effekter på den hydrologiska cykeln.

Vattenrörledningssytem (VVRN25)
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

Samt kurserna:

- Direction and Coordination in Disaster Management, VRSN10
- Foundations for Risk Assessment and Management, VRSN05
- Introduction to Societal Resilience, VBRN30
- Preparedness and Planning, VBRN40
- Risk Analysis Methods, VBR180
- Risk Assessment, VBRN01
- Risk Based Land Use Planning, VBR110
- Risk Management Process, VBR171
- Applied Ecotoxicology, BIOR52
- Aquatic Ecology, BIOR82
- Limnology, BIOR17
- Marine Ecology, BIOR65
- Water Management, BIOR66
- Water and Wastewater Technology VVAF01
- Avancerad avloppsvattenhantering VVAN20

- Grundvattenmodellering och föroreningstransport VTGN05
- Grundvattenteknik VTGN10
- Finita elementmetoden – flödesberäkningar VSMN25
- Environment and sustainable development in the Middle East CMEN21
- GEON04 Global and Regional Marine Geology
- GEOA82 Berg, jord och vatten i ett miljöperspektiv
- Geologi i samhället GEOB25
- GEOP06 Hydrogeologi

Vattenforskarskolan

Sedan juni är docent Catherine Paul vid Lunds universitet studierektor för Vattenforskarskolan. I samarbete med Thomas Petterson och en doktorandrepresentant styrs skolan mot viktiga vattenfrågor. Det är ett nytt kapitel för Vattenforskarskolan med stöd från Svenskt Vatten istället för FORMAS där fler kurser även kommer att erbjudas industrin.

Några planerade kurser inom Vattenforskarskolan flyttade till 2021, p.g.a av pandemin och tiden som behövdes att adaptera till online undervisning. Kurser som genomfördes genom Vattenforskareskolan (2020):

- Water, Sustainable development and LCA
- Automation

5.2 Examensarbeten

Under 2020 har 21 studenter genomfört 16 examensarbeten och kandidatarbeten inom DRICKS olika delområden – från råvatten till tappkran. Här följer titlarna och författarna på de olika arbetena. Fullständig listning av examensarbetena återfinns i kapitlet 6.5.

- *Vulnerability assessment of urban flooding in Lerum Municipality and study of effectiveness of blue-green mitigation measures using software.* Adhikari, U. (2020).

- *Evaluation of risk assessments for source water protection areas – Applying and evaluating a new approach for risk assessment suggested by the Swedish Agency for Water and Marine Management.* Alharfouch L., Olofsson E. (2020).

- *Kvalitetsutredning av underhållsmetoden luft och vattenspolning.* Bondeson A. (2020).

- *Hydrodynamic modelling of fate and transport of natural organic matter and per- and polyfluoroalkyl substances in Lake Ekoln.* Ekman F. (2020).

- *Differentierad vattentaxa för att motverka vattenbrist i Sverige - En undersökning av tidigare situationer med vattenbrist och människors inställning till förändrad vattentaxa.* Erlandsson A., Lindblad H., Marklund S., Sundqvist J. (2020).

- *Investigating bacterial communities in marine sediment to assess impact of waste water effluent on surface water.* Frank E. (2020).

- *Technical Possibilities of Wastewater Reclamation for Potable Use in Hurva, Scania: Regarding the Waterbalance and From a Process Technical Point of View.* Frihammar E. (2020).

- *Leakage Localization through modelling - Creating a method for leak localization in plastic pipes.* Grönbäck D. (2020).

- *Fate and Transport of Microplastic Particles in Small Highway-Adjacent Streams.* Hagström S. (2020).

- *Oxygen demand and biostability in drinking water treatment plants.* Olafsdottir S. I. (2020).

- *Evaluating the Use of Flow Cytometry for Routine Monitoring of Surface Water Quality.* Persson M. (2020).

- *Characterizing fungal communities in the schmutzdecke of new and established full scale slow sand filters.* Rosenqvist T. (2020).

- *Modelling Impacts of Climate Change and Socioeconomic Development on Microbial Water Quality of Lake Vomb.* Samuelsson A., Östberg E. (2020).

- *How stagnation affects microbial water quality in conventional and recirculating showers.* Strand F. (2020).

- *Comparison and optimization of removal of natural organic carbon from raw water with ultrafiltration in pilot scale experiments.* Voigtländer T. K. (2020).

- *Ekonomisk värdering av ekosystemstjänster i sjön Bolmen.* Weinås Dyhre A. (2020).

6. Referenser

I detta kapitel redovisas alla publikationer som producerats inom DRICKS under 2020 – från vetenskapliga artiklar, forskningsrapporter och doktorsavhandlingar till populärvetenskapliga artiklar.

6.1 Vetenskapliga publikationer

Belkouteb N., Franke V, McCleaf P., Köhler S.J., Ahrens L. (2020) Removal of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in a full-scale drinking water treatment plant: Long-term performance of granular activated carbon (GAC) and influence of flow-rate. *Water Research* 182:115913. DOI: 10.1016/j.watres.2020.115913

Bergion V., Lindhe A., Sokolova E., Rosén L. (2020). Accounting for Unexpected Risk Events in Drinking Water Systems. *Exposure and Health*, 1-17. https://rdcu.be/b4lf4

Bergion V., Lindhe A., Sokolova E. *et al.*(2020). Economic Valuation for Cost–Benefit Analysis of Health Risk Reduction in Drinking Water Systems. *Expo Health* **12,** 99–110 (2020). https://doi.org/10.1007/s12403-018-00291-8

Bondelind M., Sokolova E., Nguyen A., Karlsson D., Karlsson A., Björklund K. (2020). Hydrodynamic modelling of traffic-related microplastics discharged with stormwater into the Göta River in Sweden. *Environmental Science and Pollution Research* 27(19): 24218-24230.

Chuquimia O.D., Bergion V., Guzman-Otazo J., Sörén K., Rosén L., Pettersson T.J.R., Sokolova E., Sjöling Å. (2020). Molecular Analyses of Fecal Bacteria and Hydrodynamic Modeling for Microbial Risk Assessment of a Drinking Water Source. *Water*, 12(1), 3.

Golovko O., de Brito Anton L., Cascone C., Ahrens L., Lavonen E., Köhler S.J. (2020a). Sorption characteristics and removal efficiency of organic micropollutants in drinking water using granular activated carbon (GAC) in pilot-scale and full-scale tests. *Water* 12(7), 2053.https://doi.org/10.3390/w12072053

Golovko O., Rehrl A.-L., Köhler S., Ahrens L. (2020b). Organic micropollutants in water and sediment from Lake Mälaren, Sweden. *Chemosphere* 258:127293.

Hoffmeister S., Murphy K. R., Cascone C., Ledesma J. L. J., Köhler, S. J. (2020). Evaluating the accuracy of two: In situ optical sensors to estimate DOC concentrations for drinking water production. Environmental Science: Water Research and Technology 2020, 6 (10), 2891-2901.

Hägg K., Persson T., Söderman O., Persson K.M., (2020). Ultrafiltration membranes in managed aquifer recharge systems. Water Supply, 20(4), pp.1534-1545.Lee Y. K., Murphy K. R., Hur, J. (2020). Fluorescence Signatures of Dissolved Organic Matter Leached from Microplastics: Polymers and Additives. Environ Sci Technol 2020, 54 (19), 11905-11914.

Lindhe A., Rosén L., Johansson P.-O., Norberg, T. (2020). Dynamic Water Balance Modelling for Risk Assessment and Decision Support on MAR Potential in Botswana. *Water*, 12(3), 721. https://www.mdpi.com/2073-4441/12/3/721

Menger F., Gago-Ferrero P., Wiberg K., Ahrens L. (2020). Wide-scope screening of polar contaminants of concern in water: A critical review of liquid chromatography-high resolution mass spectrometry-based strategies, *Trends in Environmental Analytical Chemistry,* 28:e00102.

Meland S., Sun Z., Sokolova E., Rauch S., Brittain J.E. (2020). A comparative study of macroinvertebrate biodiversity in highway stormwater ponds and natural ponds. *Science of the Total Environment* 740, 140029.

Pullerits K., Ahlinder J., Holmer L., Salomonsson E., Öhrman C., Jacobsson K., Dryselius R., Forsman M., Paul C.J., Rådström P. (2020). Impact of UV irradiation at full scale on bacterial communities in drinking water. npj Clean Water, 3(1), pp.1-10.

Pullerits K., Chan S., Ahlinder J., Keucken A., Rådström P., Paul C.J., (2020). Impact of coagulation–ultrafiltration on long-term pipe biofilm dynamics in a full-scale chloraminated drinking water distribution system. Environmental Science: Water Research & Technology, 6(11), pp.3044-3056.

Rehrl A.-L., Golovko O., Ahrens L., Köhler S. (2020). Spatial and seasonal trends of organic micropollutants in Sweden's most important drinking water reservoir. *Chemosphere* 249:126168.

Ren H., Tröger R., Ahrens L., Wiberg K., Yin D. (2020). Screening of organic micropollutants in raw and drinking water in the Yangtze River Delta, China. *Environmental Sciences Europe*, 32:67, https://doi.org/10.1186/s12302-020-00342-5

Sjöstrand, K., Lindhe, A., Söderqvist, T., Rosén, L. (2020). Water Supply Delivery Failures – A Scenario-Based Approach to Assess Economic Losses and Risk Reduction Options. *Water*, 12.

Stocker M.D., Jeon D.J., Sokolova E., Baek I., Lee H., Kim M.S., Pachepsky Y.A. (2020). Accounting for the three-dimensional distribution of *E. coli* concentrations in pond water in simulations of microbial quality of water withdrawn for irrigation. *Water (Switzerland)* 12(6), 1708.

Tröger R., Köhler S.J., Franke V., Bergstedt O., Wiberg K. (2020). A case study of organic micropollutants in a major Swedish water source - Removal efficiency in seven drinking water treatment plants and influence of operational age of granulated active carbon filters. *Science of the Total Environment,* 706:135680
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135582

Wünsch, U. J.; Murphy, K., A simple method to isolate fluorescence spectra from small dissolved organic matter datasets. *Wat Res* **2021,** *190*, 116730.

6.2 Konferensartiklar och andra konferensbidrag (muntliga såväl som posterpresentationer)

Ahrens L., Franke V., Sörengård M., Nassazzi W, Niarchos G., Fagerlund F, Berggren Kleja D., McCleaf P., Wiberg K. (2020). Comparison of innovative and conventional treatment techniques of PFASs in water and soil. *Workshop on Characterization and Remediation of PFAS and Other Emerging Contaminants*, UFZ, Leipzig, German, March 23-25, 2020.

Celma A., Geeta M., Menger F., Lai F.Y., Golovko O, Sancho J.V., Hernández F., Ahrens L., Wiberg K., Oskarsson A., Lundqvist J., Bijlsma L. (2020). The combination of bioanalyses with ion mobility-high resolution mass spectrometry for an enhanced environmental screening. *#EnvChem2020: Chemistry of the Whole Environment Research*, 10 July 2020, on-line, U.K

Celma A., Mandava G., Menger F., Lai F.Y., Golovko O., Sancho J.V., Hernández Ahrens L., Wiberg K., Oskarsson A., Lundqvist J., Bijlsma L. (2020). Combining in vitro bioanalyses with ion mobility-high resolution mass spectrometry as a refined screening workflow in environmental analyses. *SETAC Europe 30th Annual Meeting*, Dublin, Ireland, May 3-7, 2020.

Menger F., Boström G., Jonsson O., Ahrens L., Wiberg K., Kreuger J., Gago-Ferrero P. (2020). Pesticide transformation products in surface water: The benefits of combining national monitoring and suspect screening, *16th annual workshop on emerging high-resolution mass spectrometry (HRMS) and LC-MS/MS application in environmental analysis and food safety*, October 15-16, 2020, Barcelona, Spain.

Paul C.J. (2020). Distribution systems. *In workshop*: The Ecology of Biofilms in Water Engineering. IWA Biofilms Virtual Conference: Emerging Trends and Developments (invited speaker).

Paul C.J., Lindberg E. (2020). Urbana bad 2.0. – detektivarbetet bakom dåligt badvatten. Sweden Water Research Day (invited speaker)

Paul C.J. (2020). Long-term dynamics in bacterial biofilm communities living in drinking water pipes: roles in nitrification and shaping the microbiome at the tap. Aquatic Microbiome Research Initiative (AMRI) All Hands meeting (invited speaker).

Postigo C., Andersson A., Harir M., Bastviken D., Gonsior M., Schmitt-Kopplin P., Gago-Ferrero P., Ahrens L., Wiberg K. (2020). Mass spectrometry-based approaches to characterize chemodiversity of chlor(am)inated water. *SETAC Europe 30th Annual Meeting*, Dublin, Ireland, May 3-7, 2020.

Rosenqvist, T., Chan, S. Paul, C.J. (2020). Characterizing fungal communities in new and established full-scale slow sand filters producing drinking water. IWA Biofilms Virtual Conference: Emerging Trends and Developments (oral presentation).

Ullberg M., Köhler S.J., Golovko O., Wiberg K., Lavonen E. (2020). Pilot scale evaluation of contaminants of emerging concern (CEC) removal using ozonation and activated carbon filtration. *SETAC Europe 30th Annual Meeting*, Dublin, Ireland, May 3-7, 2020.

Ullberg M., Köhler S.J., Golovko O., Wiberg K., Lavonen E. (2020). Pilot scale evaluation of organic micropollutant removal using ozonation and activated carbon filtration, *IWA World Water Congress & Exhibition, Copenhagen, Denmark, Oct 18-23,* 2020.

6.3 Doktors- och licentiatavhandlingar

Franke V. (2020). Treatment methods for the removal of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) from drinking water: optimizing existing and exploring novel treatment techniques. Doktorsavhandling, Sveriges lantbruksuniversitet
https://pub.epsilon.slu.se/17535/https://www.slu.se/ew-nyheter/2021/1/ny-avhandling-om-oonskade-kemiska-fororeningar-i-svenskt-dricksvatten/

Hägg K. (2020). Modern Artificial Recharge Plants. Doktorsavhandling, Lunds Tekniska Högskola. https://portal.research.lu.se/portal/sv/publications/modern-artificial-recharge-plants(70d62165-a09c-4d4d-b3e5-fb5a53727678).html

Pullerits K. (2020). Impact of Drinking Water Treatment and Pipe Biofilms on Bacterial Dynamics in the Distribution System. Doktorsavhandling, Lunds Tekniska Högskola. https://lup.lub.lu.se/search/publication/5a201a49-8dcc-4563-ae9b-171861d94ef9

Sjöstrand, K. (2020). Decision support for sustainable water security. Doktorsavhandling, Chalmers tekniska högskola. https://research.chalmers.se/publication/519491

Foon Yin Lai vid institutionen för vatten och miljö har blivit utnämnd till docent i miljöanalys med inriktning mot miljökemi med föreläsningen *Environmental assessment of emerging contaminants towards safer wastewater reuse.* https://internt.slu.se/riktat/interna-fakultetssidor/nj-fak/for-alla-pa-nj-fak/docentforelasningar-sep2020/foon-yin-lai/

6.4 Rapporter

Rosén L., Lindhe A., Bergion V., Sokolova E., Bondelind M., Malm A., Pettersson T., Moona N., Vinas V., Lång L.-O., Sörén K., Sjöling Å., Murphy, K. (2020). Riskbaserat beslutsstöd för säker dricksvattenförsörjning. SVU-rapport 2020-5.

Schleich C., Chan S., Pullerits K., Habagil M., Lindgren J., Paul C.J., Keucken A., Rådström P. (2020). Biofilmens funktion och korrelation med dricksvattnets kvalitet. SVU-rapport 2020-2.

Golovko O., Örn S., Lundqvist J., Ahrens L. (2020) Assessing the cumulative pressure of micropollutants in Swedish wastewater effluents and recipient water systems using integrated toxicological and chemical methods. Kemiska och biologiska analyser i anslutning till reningsverk for att följa upp de beräkningar som gjordes i regeringsuppdraget om avancerad rening. urn:nbn:se:naturvardsverket:diva-8452.

6.5 Examensarbeten

Adhikari, U. (2020) Vulnerability assessment of urban flooding in Lerum Municipality and study of effectiveness of blue-green mitigation measures using software MIKE 21 and SCALGO Live. Chalmers tekniska högskola https://odr.chalmers.se/handle/20.500.12380/301668

Alharfouch L., Olofsson E. (2020). Evaluation of risk assessments for source water protection areas – Applying and evaluating a new approach for risk assessment suggested by the Swedish Agency for Water and Marine Management. Examensarbete, Chalmers tekniska högskola. https://odr.chalmers.se/handle/20.500.12380/301420

Bondeson A. (2020). Kvalitetsutredning av underhållsmetoden luft och vattenspolning. Master's Thesis, 30 HEC, LTH, Lund University https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9022920

Ekman F. (2020). Hydrodynamic modelling of fate and transport of natural organic matter and per- and polyfluoroalkyl substances in Lake Ekoln. Självständigt arbete på avancerad nivå (masterexamen), 20 poäng / 30 hp Studentuppsats (Examensarbete) Uppsala Universitet, Sveriges Lantbruksuniversitet
http://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1524977/FULLTEXT01.pdf

Erlandsson A., Lindblad H., Marklund S., Sundqvist J. (2020). Differentierad vattentaxa för att motverka vattenbrist i Sverige - En undersökning av tidigare situationer med vattenbrist och människors inställning till förändrad vattentaxa. Kandidatarbete, Chalmers tekniska högskola, Inst. för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik. https://odr.chalmers.se/handle/20.500.12380/301365

Frank E. (2020). Investigating bacterial communities in marine sediment to assess impact of waste water effluent on surface water. Master's Thesis, 30 HEC, LTH, Lund University
https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9023191

Frihammar E. (2020). Technical Possibilities of Wastewater Reclamation for Potable Use in Hurva, Scania: Regarding the Waterbalance and From a Process Technical Point of View. Självständigt arbete på avancerad nivå (masterexamen), 20 poäng / 30 hp Studentuppsats (Examensarbete).
http://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1447698/FULLTEXT01.pdf

Grönbäck D. (2020). Leakage Localization through modelling - Creating a method for leak localization in plastic pipes. Master thesis, Chalmers University of Technology, Dept. of Architecture and Civil Engineering. https://odr.chalmers.se/handle/20.500.12380/300786

Hagström S. (2020) Fate and Transport of Microplastic Particles in Small Highway-Adjacent Streams. Chalmers tekniska högskola
https://odr.chalmers.se/handle/20.500.12380/302168

Olafsdottir S. I. (2020) Oxygen demand and biostability in drinking water treatment plants. MSc (Chem.) Thesis, University of Gothenburg, Gothenburg, Sweden.
https://chalmersuniversity.box.com/s/6hhtsx79soxui9ijh3tto779ljwsu9x2

Persson M. (2020). Evaluating the Use of Flow Cytometry for Routine Monitoring of Surface Water Quality. Master's Thesis, 30 HEC, LTH, Lund University https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9032444

Rosenqvist T. (2020). Characterizing fungal communities in the schmutzdecke of new and established full scale slow sand filters. Master's Thesis, 30 HEC, LTH, Lund University
https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9018310

Samuelsson A., Östberg E. (2020) Modelling Impacts of Climate Change and Socioeconomic Development on Microbial Water Quality of Lake Vomb. Chalmers tekniska högskola
https://odr.chalmers.se/handle/20.500.12380/301669

Strand F. (2020). How stagnation affects microbial water quality in conventional and recirculating showers. Master's Thesis, 30 HEC, LTH, Lund University https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9019154

Voigtländer T. K. (2020). Comparison and optimization of removal of natural organic carbon from raw water with ultrafiltration in pilot scale experiments. Second cycle, A2E. Uppsala: SLU, Dept. of Aquatic Sciences and Assessment. https://stud.epsilon.slu.se/16156/

Weinås Dyhre A. (2020). Ekonomisk värdering av ekosystemstjänster i sjön Bolmen. Kandidatarbete, Chalmers tekniska högskola, Inst. för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik. https://odr.chalmers.se/handle/20.500.12380/301275