

Syntes av examensarbeten  
DRICKS programperiod 2015-2017



## Innehållslista

Introduktion .....	3
DRICKS indelning i delområden .....	3
Syntes av examensarbeten .....	5
Riskbedömning.....	5
Vattenresurser .....	6
Vattenresurser – ytvatten.....	6
Vattenresurser - Grundvatten .....	7
Beredningsteknik .....	7
NOM-Karakterisering .....	8
Distribution .....	9
Mikrobiella Ekosystemtjänster .....	10
Utdrag från examensarbeten.....	11
Referenslista .....	26

### Kontaktuppgifter DRICKS:

Thomas Pettersson, Docent, Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, Vatten Miljö Teknik. Föreståndare.  
thomas.pettersson@chalmers.se. Tel: 031-7722127.

Andreas Lindhe, Forskare, Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, Geologi och geoteknik. Vice föreståndare.  
andreas.lindhe@chalmers.se. 031-7722060.

Maria Svane, koordinator, svane@chalmers.se. 031-7724973.

## Introduktion

**DRICKS vision är att utveckla och sprida tillämpad kunskap kring dricksvatten i hela värdekedjan – från råvatten till tappkran. Därför arbetar DRICKS i nära samverkan med dricksvattenbranschen för att lösa aktuella och långsiktiga utmaningar genom forskning och utbildning. Samverkan sker via ständig dialog med dricksvattenbranschen i form av fallstudier och projekt för att skapa kontinuitet samt generera ny kunskap och nya verktyg för branschen, men även genom examensarbeten som ofta genomförs i nära samarbete med dricksvattenproducenter som är medlemmar i DRICKS.**

DRICKS är en centrumbildning för dricksvattenforskning vid Chalmers, SLU och Lunds universitet, med målet att tillsammans med andra bidra till en säkrare dricksvattenförsörjning. För att klara både dagens och framtida utmaningar måste forskare, branschen, myndigheter och övriga aktörer samverka kring forskningsfrågor och globala hållbarhetsmål.

Under programperioden 2015 – 2017 har examensarbeten genomförts på alla tre universitet inom DRICKS, där ibland parallella examensarbeten genomförs så att studenter och handledare kan dra nytta av varandras kompetensområden och får ytterligare anledning till samarbete. Forskare har under projektperioden handlett examensarbeten i en inspirerande miljö som präglas av hög vetenskaplighet och i nära kontakt med våra medlemsorganisationer, som huvudsakligen består av vattenproducenter och kommuner.

## DRICKS indelning i delområden

Verksamheten inom DRICKS olika delområden innefattar forskning och verksamhet kopplat till hela dricksvattensystemet – från råvatten till tappkran. Under projektperioden har en ökad integrering av forskning och samverkan med branschen utvecklats.

Delområdet **Riskbedömning** arbetar med metod- och modellutveckling för att kunna prioritera riskreducerande åtgärder och genomför många projekt i nära samarbete med delområdet **Vattenresurser - ytvatten** både inom riskanalys och hantering av vattenresurser. Forskning kring **Kemiska hälsorisker** är en växande del som sker i synergi med många projekt på SLU och bland annat syftar till att ta fram en integrerad metodik för tidig detektion av hälsofarliga ämnen. Ett delområde, **NOM-karakterisering**, har genomfört membranförsök i lab-skala med cyanotoxiner och forskar också kring funktion och effektivitet hos aktiva kolfilter. Området **Mikrobiella ekosystemtjänster** har genererat ny kunskap om långsamfilter och biofilmers funktion samt utvecklat ny analysteknik. Exempel på forskning inom **Vattenresurser - grundvatten** handlar om utveckling av modeller för mikrobiell riskanalys av grundvattentäkter, medan området **Beredningsteknik** täcker in flera forskningsområden och metoder, t. ex. effekter av traditionell och molekylärbiologisk analys följt av UV i dricksvattenproduktionen, samt utveckling av alternativa och enkla analysmetoder. Projekt inom **Distribution** har bland annat utvecklat och testat ny teknik för statusbedömning av vatten- och fjärrvärmeledningar. Konsumenternas tillit och förtroende studeras inom ramen för **Konsumentperspektiv**.

<b>DRICKS delområden samt viktiga moment</b>	<b>Titel på examensarbeten inom respektive delområde</b>
<b>Riskbedömning</b> - riskhanteringsprocess, beslutstödsmetoder - framtagande av underlag / riktlinjer för riskhantering Tydliggöra användning av riskbedömningar vid inrättande av vattenskyddsområden och vattentäkter - kostnads / nyttoanalyser	<sup>1</sup> Riskbedömning i svenska och lettiska dricksvattensystem: En översikt inom ramen för "Water Safety Plans". <sup>2</sup> Kemisk riskanalys av återvinningssystemet för dricksvatten i Beaufort West, Sydafrika - Utvalda föroreningar med påverkan på människors hälsa. <sup>3</sup> Riskbaserad samhällsekonomisk analys av åtgärder inom dricksvattenförsörjningen – en fallstudie vid Kvarnagårdens vattenverk. <sup>4</sup> Riskbaserad kostnads-nyttoanalys av tillförlitliga dricksvattenkällor – En fallstudie av Kärnsjön.
<b>Vattenresurser – grundvatten</b> - Metodutveckling (MRA) för vattentäkter - ekonomisk värderingsmetod som prioriteringsunderlag -ekosystemtjänster och värderingsfrågor	<sup>5</sup> Föroreningsspridning i Mälaren – modellering av föroreningars påverkan på ett vattenverks råvattenkvalitet. <sup>6</sup> Dagvattenhantering på broar. En beslutsmodell för val av åtgärd. <sup>7</sup> Hydrologisk och mikrobiologisk modellering med verktyget "Soil and Water Assessment Tool" - Vombs och uMgenis avrinningsområden. <sup>8</sup> Interkalibrering av optiska sensorer och konsekvenser för övervakning av vattenkvaliteten.
<b>Vattenresurser – ytvatten</b> - modellering av patogentransport - hydrodynamisk modellering - spridningsstudier av mikrobiologiska och kemiska föroreningar	<sup>9</sup> Perfluorerade ämnen, dess källor och risker för dricksvattenkvalitet inom Göta älv och Mölndalsåns avrinningsområde.
<b>Beredningsteknik</b> - undersökning av hydrauliska mått för att förutsäga desinfektions-effektiviteten - alternativa metoder för borttagning av perfluorerade ämnen - verifiering av barriärverkan i olika beredningsprocesser, främst desinfektion - riskvärdering / riskreduktion av kända och nya miljöföroreningar, såsom PFOS	<sup>10</sup> Utmaningar för svensk dricksvattenberedning idag och i framtiden. <sup>11</sup> Nanofiltermembranexperiment på Ålands Vatten Ab:s vatten. <sup>12</sup> Utvärdering av nano- och ultrafilter för avskiljning av cyanotoxiner i dricksvatten. Effekter av membrantyp och råvattenkvalitet. <sup>13</sup> Utvärdering av småskalig rening från läkemedelsrester i källsorterad urin. <sup>14</sup> Modellering av perfluoralkylämnens adsorption till en jonbytare med hjälp av PHREEQC. <sup>15</sup> Design och användning av halvautomatiserad ultrafiltreringsprocess för online koagulering.
<b>NOM-karakterisering</b> - humuskarakterisering, beredning av humusrika vatten, studier av NOM - påverkan på resultat av olika beredningssteg; effekt på lukt och smak - avskiljningsmöjligheter av olika typer av löst organiskt kol och organiska mikroföreningar	<sup>16</sup> Utvärdering av processen vid Hofors vattenverk med avseende på avskiljning av NOM. Fällning och membranfilterteknik. <sup>17</sup> Prestationsanalys av granulerat aktivt kol (GAC) – en jämförelse mellan två etablerade GAC-typer. <sup>18</sup> Funktionsstudie av granulerat aktivt kol (GAC) i pilotskala.
<b>Distribution</b> - Kunskap om funktionell biofilm: minska risk för sjukdomsutbrott, förbättra vattenkvalitet, förhindra nedbrytning av ledningsrör - Förbättrad typning av indikatorbakterier för att spåra och åtgärda föroreningspåverkan	<sup>19</sup> Test av egenskaper hos polyetenrör för kvalitetscertifiering i dricksvattens-ledningsnät.
<b>Mikrobiella ekosystemtjänster</b> - biofilmens sammansättning och funktion - metoder / styrmedel som inkluderar vattenbiologin - förbättra mikrobiell analys - studier av betydelsen av funktionsdugliga mikroorganismer i ledningsnätet - påverkan på biofilm av förändrad klorering	<sup>20</sup> Undersökning av flödescytometri som metod för snabb upptäckt av förändringar i mikrobiella samhällen i dricksvatten efter tvättning av långsamma sandfilter. <sup>21</sup> Flödescytometri för utvärdering av biofilmer i dricksvatten-infrastruktur. <sup>22</sup> En undersökning av bakteriella samhällen i dricksvattens distributionsnät, med hjälp av flödescytometri (FCM).
<b>Konsumentperspektiv</b> - Konsumenters tillit och förtroende	

**Tabell1. Delområden inklusive viktiga moment, samt titlar på genomförda examensarbeten inom DRICKS respektive delområden**

## Syntes av examensarbeten

Examensarbeten har utförts inom flera delområden under programperioden. Tabell 1 ger en överblick där respektive arbete har grupperats in under det delområde där den huvudsakliga handledningen har skett. I tabellen finns även en kort beskrivning av några av de viktigaste momenten inom respektive delområden.

En syntes av resultaten från periodens examensarbeten har genomförts och redovisas i den här rapporten. Vi har valt att gruppera periodens examensarbeten efter deras tematiska tillhörighet och presenterar därför syntes och nyttor för branschen delområdesvis. Rapporten avslutas med ett kort utdrag från respektive examensarbete tillsammans med referensuppgifter. Många arbeten har rapporterats på svenska, men några rapporter skrevs på engelska. I referenslistan hänvisas därför till några engelska titlar.

## Riskbedömning

Inom delområdet riskbedömning har flera examensarbeten genomförts i samverkan med projekt som utvecklar riskbaserade beslutsmetoder. Dessa metoder utvecklas för att hjälpa vattenverk att bedöma och hantera risker i dricksvattensystem som krävs för att kunna leverera rent och säkert dricksvatten och samtidigt leva upp till krav i svensk lagstiftning. Sverige har införlivat ett EU-direktiv i Livsmedelsverkets föreskrifter (SLVFS 2001:30) om dricksvatten, som bland annat innehåller krav på: beredning och distribution, förebyggande arbete, provtagnings- och analysfrekvens, åtgärder vid försämrade dricksvattenkvalitet, information och kvalitetskrav i form av gränsvärden.

I ett examensarbete<sup>1</sup> genomfördes en litteraturgenomgång för att undersöka hur långt man kommit med införande av "Water Safety Plans", som är ett ramverk för integrerad riskhantering och omfattar alla steg i vattenförsörjningen. Dessutom genomfördes intervjuer med såväl myndigheter och dricksvattenleverantörer i Sverige och Lettland. Vid en jämförelse mellan länderna ser man att det finns en positiv inställning till riskbedömning i Sverige där många respondenter genomför olika typer av kvalitativa riskbedömningar. I Lettland finns en uppfattning att integrering av riskanalyser i bedömningssystem innebär kostsamma och onödiga åtgärder. Rekommendationerna från arbetet är att ytterligare kvantitativa analyser är nödvändiga för att förbättra nivån på information om risker i systemen och att kostnads-nyttoanalyser (K/N-analyser) behövs för att genomföra riskbedömningar av vattenförsörjningen.

I en annan studie<sup>2</sup> genomfördes intervjuer och provtagning av vatten för att bedöma sannolikheten för en fara, samt dess konsekvenser. Genom att skapa en riskmatris kunde man undersöka och utvärdera förhöjda risker i samband med att nya tekniker används, för att ge förslag på åtgärder.

I takt med ett ökat antal riskbedömningar genomförs ökar även behovet av beslutstödsmodeller. En fallstudie<sup>3</sup> som genomfördes på Kvarnagårdens VV utvärderade de nyligen installerade ultrafiltrens (UF) förmåga att reducera hälsorisker och den samhällsekonomiska nyttan detta innebär. Studien visar på ett handgripligt sätt hur riskbedömningar och beslutstödsmodeller kan kombineras för att identifiera och monetarisera de kostnader och nyttor som UF-membranen är förknippade med i en samhällsekonomisk kostnads-nyttoanalys.

I en fallstudie<sup>4</sup> gjordes en systematisk jämförelse av fördelar och kostnader med hjälp av riskbedömning i kombination med kostnads-nyttoanalys. K/N-analysen utvecklades genom att identifiera och analysera risker som kan orsaka fullständiga avbrott i kommunernas dricksvattenförsörjning och skadorna i samband med dessa risker. Osäkerheter analyserades med Monte Carlo-simuleringar. Analysen visade att det kan vara lönsamt – ur ett samhällsperspektiv – att ge redundans till närliggande kommuner, förutom att säkra den egna kommunens framtida

efterfrågan. Ytterligare analyser genomfördes för att undersöka osäkerheten i resultaten och känsligheten hos modellen, samt för att se hur olika antaganden kan påverka rangordning av scenarios. Detta gav information om vilka parametrar som bör undersökas vidare för att ytterligare minska osäkerheten hos modellen.

## Vattenresurser

Dricksvattnet är vårt mest kontrollerade livsmedel, och generellt ser många i Sverige det som en självklarhet att kranvatten är drickbart och tillgängligt dygnet runt. Det förväntas dessutom vara gott, hälsosamt, och producerat lokalt. Trots att det inte förväntas kosta något så ska skydd av vattentäkter, rening av avloppsvattnet och hantering av dagvatten ingå i den för oss svenskar så självklara hemleveransen av vårt dricksvatten. Inom DRICKS har vi valt att dela upp aktiviteter inom delområdet vattenresurser mellan forskning och beredning av ytvatten respektive grundvatten.

## Vattenresurser – ytvatten

Mälaren användes som råvattenkälla i ett examensarbete<sup>5</sup> som fokuserade på modellering som verktyg för studier av hur föroreningar sprids. Mer kunskap behövs för att förstå hur föroreningar påverkar ett vattenverks råvattenkvalitet, men även för att ta fram metoder för att kunna kontrollera, och därmed säkra, en bättre råvattenkontroll. Med hjälp av modellering kunde många olika utsläppsscenarioer av föroreningar identifieras och utvärderas och en metod, som bygger på simulering av transporttid från olika utsläppspunkter, togs fram för att skapa riskkartor. Resultaten från modelleringarna visade att påverkan på råvattnet främst beror på årstid, vattenflöden, vind och skiktningförhållanden vid utsläppstillfället samt att påverkan på intagsvattnet ökar i samband med omblandning under vår och höst.

En studie<sup>6</sup> undersökte val av beslutsmodell för dagvattenhantering på broar eftersom många broar har konstruerats utan att ta hänsyn till föroreningar från dagvatten eller miljöfarliga utsläpp. Syftet med studien var att skapa ett ramverk för hantering av dagvattensystem på broar, och resulterade i en generell beslutsmodell. Modellen, som kan användas nationellt, inkluderar en riskanalys för spillhändelser med farligt gods och tung trafik och ger ett åtgärdsval för dagvattenhantering. Vidare visade riskanalysen att det inte är risken som ska styra valet av dagvattenhanteringssystem utan skyddsbehovet av recipienten.

Ett annat examensarbete<sup>7</sup> använde hydrologisk modellering för att simulera transport av fekalföroreningar för att uppskatta effekter av både diffusa utsläpp och punktsläpp på vattentäkter. Man undersökte potentialen av en vattenkvalitetsmodell, Soil and Water Assessment Tool (SWAT), för att modellera två väldigt olika avrinningsområden (Vomb, Sverige och uMgenis, Sydafrika). Studien visade att modellen var bra kalibrerad i Sverige medan den misslyckades i Sydafrika. Erfarenheterna från de två fallstudierna visade att tillförlitligheten i modellen kan förbättras genom olika insatser beroende på grundförutsättningar kopplade till det område man vill undersöka, och att modellen efter förbättring kan användas tillsammans med mikrobiell källspårning för att utföra kvantitativ mikrobiologisk riskanalys.

Inom projektet Genomljusning genomfördes ett examensarbete<sup>8</sup> där man jämförde förmågan hos två olika optiska sensorer (S:can och EXO) att mäta indikatorer för vattenkvalitet i Fyrisån. En indikator som används är löst organiskt kol (DOC) eftersom DOC har en förmåga att transportera föroreningar och har optiska egenskaper. Optiska sensorerna mäter vattenfärg, och projektet visade att optiska sensorer kan användas för att bestämma koncentrationen av DOC i vatten med goda resultat. Studien gav även förslag på möjliga felkällor, som t ex sammansättning av det organiska materialet, och förbättringar där kompletterande experiment förbättrade kalibreringen och möjliggjorde utveckling av en algoritm för att uppskatta DOC och turbiditet.

## Vattenresurser - Grundvatten

I en studie<sup>9</sup> identifierades potentiella utsläppskällor av perfluorerade ämnen och en första provtagning genomfördes. Syftet med studien var att hitta ett bra provtagningsprotokoll för att mäta hur halten av perfluorerade ämnen varierar i ett råvattenområde, men även för att kunna kontrollera och övervaka flödet av dessa ämnen. Livsmedelsverket har beslutat om en åtgärdsgräns (90ng/L, summan av 7 angivna ämnen) och på EU-nivå finns det en miljökvalitetsnorm för vattenproducenter att förhålla sig till (0,65 ng/L, PFOS), varför det är av största vikt att utveckla ett tillförlitligt provtagningsprotokoll.

## Beredningsteknik

Forskning inom delområdet beredningsteknik har kartlagt parametrar för att kunna förutsäga effektivitet av olika behandlingssteg, t ex desinfektion. Alternativa metoder har undersökts för borttagning av oönskade ämnen, och andra projekt har utforskat möjligheter att verifiera effekten av barriärverkan i olika beredningsprocesser. För att ha beredskap inför framtida utmaningar utvecklas protokoll för riskvärdering och reduktion av risker av såväl kända som nya miljöföroreningar. Framtagande av användbara modeller som vattenproducenter kan använda för att beräkna kontakttiden vid exempelvis klorering för att beräkna tillförlitliga CT-värden sker i nära samverkan med branschorganisationer som vattenverk och med forskare inom delområdet riskbedömning.

En studie<sup>10</sup> tittade på hur dricksvattenberedning i Sverige står sig inför framtida problem och utmaningar. Genom en kombination av litteraturstudie och enkätundersökning hos 31 vattenverk identifierades problem och utmaningar som vattenverken måste ha beredskap för både på kort och lång sikt. De största utmaningarna på kort sikt handlar om en ökande humushalt och behov av att kunna säkerställa säkert dricksvatten vid en framtida befolkningsökning. En ökad halt av humus ses som en stor utmaning, och många ser klimatpåverkan i form av ökad nederbörd som ett möjligt framtidshot.

Vattenverk som använder sig av sjöar som råvattenkälla kan i framtiden få problem att rena bort organiskt kol. Ett arbete<sup>11</sup> genomförde experiment för att utvärdera effektiviteten hos nanofiltermembran. Denna reningsprocess är selektiv och bedömdes effektiv mot hydrofilt och icke humöst material med låg molekylvikt samt för organiskt kol med alloktont ursprung. Studien visade att det studerade vattenverket skulle kunna öka sin reningseffektivitet genom att ersätta sin process med ett nanofilter, och på så sätt minska användningen av kemikalier och därmed minska risken för desinfektionsbiprodukter samtidigt som man sänkte driftskostnaderna.

Effekter av membrantyp och råvattenkvalitet studerades i ett arbete<sup>12</sup> som utvärderade nano- och ultrafilter för avskiljning av cyanotoxiner i dricksvatten. Membrantekniker, som innebär att vatten filtreras genom ett poröst material, kan användas för rening av toxiner som är lösta i vatten. Det finns olika avskiljningskapacitet mellan nano- och ultrafilter, och avskiljningen visade sig inte bara bero på storleksexkludering. Andra faktorer som kan påverka är laddningsskillnader mellan membran och molekyler, men även laddningen hos andra komponenter i vattnet spelade roll. Arbetet utförde experiment med tre olika filter för att rena tre olika sjövattnen med tillsatt toxin samt ett vatten utan organiskt material. Resultaten från studien tolkades som att storleksexkludering inte bidrog till reningen, utan att reningen berodde på membranets och molekylernas laddningar.

Konventionella reningsverk renar vanligen inte kemiska substanser som t ex läkemedel, men i takt med att ny teknik tas i bruk är det möjligt att reducera skadliga substanser. För att få en uppfattning om vilka reningssteg som kan krävas för läkemedelsrening studerades rening av antibiotikahaltig urin i en småskalig reningsprocess kopplad till Akademiska sjukhuset i ett examensarbete<sup>13</sup>. Man använde

tre metoder (ozonering, enzymbehandling och behandling med biokol), och studierna genomfördes genom en kombination av teori och praktik. Man tillsatte olika antibiotika till ren urin i försöken. Resultat från försök med de tre metoderna visade att biokol fungerade bäst. Experiment gjordes med både skaktester och kolonnförsök, där skaktesterna reducerade 96 % av antibiotika i urin medan kolonnförsöken resulterade i en maximal reduktion på 55%. Försöken visade att biokol har stor potential att rena urin från antibiotika. Ozon och enzymförsöken gav inte så positiva resultat, vilket möjligen kan bero på koncentrationskänslighet och en inaktivering av enzymerna.

En modelleringsstudie<sup>14</sup> utvecklades med hjälp av datorprogrammet PHREEQC för att undersöka och beskriva elimineringseffektivitet hos kända perfluorerade ämnen (PFAS) genom att studera skillnader i funktionella grupper och kedjelängder. Man ville också utvärdera jonbytesmetoden i ett långsiktigt perspektiv. Simuleringar från modellen visade att adsorptionen till jonbytaren ökade med ökande kedjelängd, där PFOS var den mest adsorberande, och PFNA den minst adsorberande substansen. Man varierade de olika PFAS:ernas molära koncentrationerna i experimentet, där PFAS med längre kolkedjor tillsattes i mindre koncentrationer. Jonbytaren mätades efter 900 dagar, medan verkningsgraden uppnåddes redan efter några dagar för alla 14 undersökta PFAS. Modellen kan användas för fler modelleringar för att upptäcka tidigt genombrott av dessa ämnen.

En "quasi online" miniatyrmodell av Lackarebäcks koagulering – ultrafiltreringsprocess togs fram i ett examensarbete<sup>15</sup> för att utvärdera behandlingsprocessen för två typer av vatten, från en sjö (Mälaren) och från en flod (Fyris). Arbetet omfattade dimensionering och montering av olika delar av pilotkonstruktionen avslutades genomfördes flera fällningstester med både aluminiumsulfat och järnklorid. Under de optimala koagulationsförhållandena visade de olika experimenten huvudsakligen att järnkloriden hade bättre borttagning av organiskt material (upp till 74% av totalt organiskt kol kunde tas bort) än aluminiumsulfatet (upp till 61% borttagning). Det visade emellertid också att järnkloridkoaguleringen i koagulations-ultrafiltreringssystemet påverkades mycket av omrörning, i motsats till försöken som genomfördes med aluminiumsulfatet. Det uppstod membranfouling lättare vid användning av järnkloriden, vilket medförde högre behov av bakspolning och rengöring. Användningen av järnklorid i denna typ av system skulle därigenom möjliggöra ett effektivare avlägsnande av organiskt material, men skulle kräva mer efterbehandling eller mer bakspolning för att undvika en snabbare försämring av membranet.

### NOM-Karakterisering

Forskning inom NOM-karakterisering var tidigare en del av området beredningsteknik. I samband med att DRICKS förstärktes med forskningskompetens från SLU har området utvecklats till ett eget delområde som bland annat studerar avskiljningsmöjligheter av olika typer av löst organiskt kol och organiska mikroföreningar, studerar funktion och aktivitet hos aktiva kolfilter och dess påverkan på råvattenkvalitet. Examensarbeten inom området har lett till rekommendationer för vattenverk kring beredning avseende GAC-sort.

Processen för avskiljning av NOM studerades och utvärderades i ett arbete<sup>16</sup> som genomfördes på Hofors vattenverk som tar sitt råvatten från en närliggande sjö. Reningsprocessen består av tre steg som börjar med tillsats av aluminium för att binda organiskt material. Detta avskiljs i ett sandfilter och därefter filtreras vatten genom ett filter med granulerat kol för att ta bort mindre föroreningar. Slutligen passerar vattnet UV-strålning som inaktiverar mikroorganismer. Mängden organiskt material mäts med hjälp av ett färgtal, och den nuvarande reningsprocessen fungerar sämre när mängden organiskt material i vattnet ökar. Därför studerades nya reningsalternativ, varav ultrafiltermembran är en metod. Dock är porerna i membranet är inte tillräckligt små för att ta bort



löst organiskt material (DOC) utan reningen måste kombineras med ett flockningssteg. I studien togs vattenprov dels på råvattnet och dels efter de olika reningsstegen. Man analyserade både halt och karaktär av DOC, samt jämförde resultaten med lab-försök för att undersöka hur mycket fällningskemikalie som bör tillsättas för god avskiljning. Studien jämförde analyser från flera metoder och även mellan de olika reningsstegen. Resultaten visade att det är svårt att jämföra lab-försök med en fullskalig reningsprocess. Det gick inte heller att dra säkra slutsatser om vilka processer som påverkar förekomsten av organiskt material i reningsstegen. Vid några försök sattes sandfiltren igen, och detta behöver redas ut vidare. Det krävs därför ytterligare försök för att säkerställa bästa teknik för avskiljning av NOM.

Beredning med aktiva kolfilter (GAC) undersöktes i två olika examensarbeten, där ett arbete<sup>17</sup> jämförde två olika GAC med kortare samt längre uppehållstid, samt deras absorberingsförmåga med avseende på DOC och TOC, för att studera borttagning av humus i småskalekolonner. Kolonner med längre kontakttid visade effektivare borttagning av DOC, TOC och fluorescerande ämnen oberoende av GAC-sort. Kolonner med FiltraSorb® 400 uppnår genombrott ungefär 30 % långsammare än Norit® 830 W för samma bäddvolym. Skillnaden mellan längre och kortare kontakttid var inte lika markant som skillnaden mellan GAC-sorterna. FiltraSorb® 400 presterade ungefär 30 % bättre vid borttagning av DOC och TOC jämfört mot Norit® 830 W. Adsorptionskapaciteten för Norit® 830 W försämrades betydligt snabbare än för FiltraSorb® 400. Det innebär att FiltraSorb® 400 behöver backspolas mindre ofta och regenereras mer sällan än Norit® 830 W. FiltraSorb® 400 är därför den GAC-sort som rekommenderas för Görvålverkets vatten med avseende på borttagning av DOC.

I det andra arbetet<sup>18</sup> genomfördes pilotskaleförsök med samma typ av kol (Norit 830 W och Filtrasorb 400) och samma uppehållstider. Olika analysmetoder avseende NOM-adsorptionen på GAC (TOC, DOC och UV-absorbans) jämfördes, där liknande genombrottsprofiler indikerade att metoderna gav liknande resultat. Användningen av ett kommersiellt flöde genom cell (S::CAN) för att mäta UV-absorbans visade fördelar vid online mätningar, och att det inte behövdes gripvotagning. Modelleringskorrelationer gjorde det möjligt att uppskatta andra parametrar (TOC, DOC, SUVA, färg etc.). GAC är mycket relevant för avlägsnande av NOM och kemikalier. Att förstå dess funktion är extremt viktigt för att minska kostnaderna för GAC-filter. Alternativ kan föreslås för förlängning av kolets användningsgrad och livstid. Potentiella förbättringar inkluderar kvantifiering av de olika NOM-fraktionerna genom kromatografisk analys (LC-OCD) för att undersöka organiskt materialavlägsnande av GAC över tid. Av särskilt intresse är kvantifieringen av föreningar med låg molekylärvikt (LMW). Ytterligare analyser för att undersöka biologiska nedbrytningseffekter rekommenderas då bidrag för biologisk nedbrytning kan öka GAC:s livstid. Resultat från studien utvärderas fortfarande men bedöms vara relevanta för framtida förbättringar av GAC-filter på Görvålns vattenverk.

## Distribution

En robust dricksvattenförsörjning är viktig i dagens samhälle och tas ofta för givet. För många innevånare uppmärksammas dricksvattendistributionen endast vid distributionsavbrott eller vid underhåll eller expansion av systemet. Inom DRICKS växer forskning kring distributionssystem för dricksvatten och inbegriper även ekonomiska kostnads-nyttoanalyser som är kopplade till ledningsförnyelse för att också inkludera mikrobiologiska risker. Inom delområdet kommer kunskap att tas fram som handlar om mikrobiologiska problem på ledningsnätet såsom korrosion, patogenförekomst samt lukt- och smakproblem orsakade av oönskad tillväxt av produktförstörande mikroorganismer i ledningsnätets biofilm. Exempelvis kommer ökad nederbörd förändra halter och sammansättning av NOM och ställa krav på effektivare avskiljning.

Resultat från tester som gjordes i samband med kvalitetscertifiering av nya dricksvattenrör granskades i ett arbete<sup>19</sup> för att titta på trender kring rörkvalitet och kopplingar mellan olika egenskaper hos rören. Bland annat dokumenterades information kring *oxidation Induction Time*-analys (OIT), smältindex (MFR) och förlängning vid brott och längdutvidgning. Då det är svårt att arbeta med rör med olika MRF-värden rekommenderade att certifieringen ska ställa krav på ett minsta tillåtet MRF-värde. Man genomförde även OIT-analyser, en vanlig analysmetod för att mäta oxidationsmotståndet hos ett material, för att kunna göra livstidsprognoser och för att förstå åldringsegenskaper hos åldrande ledningsrör. Analysen visade att värden för rörets insida var lägre än på utsidan, vilket innebär att rörets antioxidanter i ytskiktet kommer att vara förbrukade efter ca 50 år. Därefter förväntas antioxidanternas diffusionshastighet spela en stor roll för hur snabbt röret kommer att oxidera och därmed försvagas.

### Mikrobiella Ekosystemtjänster

Inom delområdet studeras biofilmens inflytande på vattenkvaliteten. Arbetet syftar till att öka vår förståelse för dricksvattenbiologin och mikrobiologiska risker via framförallt storskalig sekvensering av arvsmassa, som möjliggör parallell identifiering av tusentals arter i ett prov. Målet är att utifrån dessa analyser ta fram ett antal biomarkörer som möjliggör snabba och kostnadseffektiva bedömningar av beredningseffektivitet. Biomarkörer kan användas för att enkelt bedöma ifall en biofilm är av "bra" respektive "dålig" kvalitet, och kan med hög känslighet detektera mikrobiologiska risker i ett vatten eller en biofilm. Dessutom förväntas undersökningarna bidra med bättre kännedom om hur patogener uppehåller sig och eventuellt förökar sig i dricksvattenssystemet samt generera grundläggande kunskap om dricksvattenbiofilmens funktion och aktivitet.

Dricksvattenekologins påverkan på vattnets kvalitet och säkerhet är hittills dåligt studerad framförallt avseende betydelsen av de funktionsdugliga mikroorganismerna i ledningsnätet. Med hjälp av flödescytometri (FCM), en avancerad mätteknik som utnyttjar laserljus för att analysera celler i en vätska, har tre examensarbeten studerat egenskaper hos såväl biofilmer som mikrobiella samhällen och långsamfilter.

I en av studierna<sup>20</sup> undersökte man tillförlitligheten av ett protokoll som använder flödescytometri med DNA-färgning med SYBR® Green I för att analysera bakteriesamhällen i dricksvatten, och därefter använde man protokollet för övervakning av funktion hos långsamfilter. Studien kunde visa att protokollet fungerade för att skilja på vatten av olika slag, som t ex stillastående från flytande vatten och även flaskvatten från kranvatten. Man undersökte även funktion och effekt på bakteriesamhällen i olika långsamfilter, där ett filter innehöll helt ny sand, ett filter innehöll en kombination av ny sand och tvättad sand från ett äldre sandfilter. Dessa jämfördes med funktionen hos ett gammalt och etablerat sandfilter. Resultaten visar att det gamla etablerade sandfiltret har den mest stabila biofilmen och dess fluorescens-fingeravtryck var stabilt även när bakteriesammansättningen ändrades till att innehålla fler celler med lågt nukleinsyrainnehåll (LNA) och en minskad andel celler med hög nukleinsyra (HNA). Detta ses till viss del även i det utgående vattnet från sandbädden med en kombination av ny och tvättad sand från ett äldre sandfilter.

En annan studie<sup>21</sup> undersökte bakteriefloran i biofilmen vid två olika vattenverk genom att ta vattenprover från olika punkter i behandlingskedjan och analysera dem med FCM. Resultaten visade stor skillnad i reduktionen av totalt antal celler för de olika vattenverken. Vid Vombverket, där råvattnet behandlas med artificiell infiltration, erhöles den högsta (200-faldig) reduktionen av totalt antal celler medan en 10-faldig reduktion detekterades vid Ringsjöverket. Här uppvisade långsamfiltret en hög påverkan på bakteriesammansättningen i vattnet, och man kunde mäta ett skift mot färre celler med högt nukleinsyrainnehåll (HNA) efter långsamfiltret. Man testade även mognaden i fem utvalda filter över en 4-månaders period, där några filter var helt nyetablerade, ett

bestod av en kombination av ny sand och tvättad sand från ett äldre sandfilter, och några var gamla och etablerade sandfilter. Även i denna studien såg man att etablerade filter fungerar stabilt och visar liknande fluorescens-fingeravtryck. De nya eller delvis nya filtren uppvisar mindre stabil effektivitet, och fingeravtrycket i vattenutsläppet ser annorlunda ut jämfört med resultaten från fingeravtrycken från de etablerade filtren. Man gjorde även försök att analysera bakterier i långsamfiltrens biofilmer, men mer studier behövs för att utvärdera hur robusta metoderna är.

Ytterligare ett arbete<sup>22</sup> kombinerade FCM med DNA-färgning för att undersöka vattenkvalitet på dricksvatten i distributionsnät i Lund, Malmö och Eslöv och jämförde detta med utgående dricksvatten från två vattenverk (Ringsjö- och Vombverket). FMC-analyser visade att bakteriesamhällen påverkas till viss del i distributionssystemen. Man såg förhöjt antal bakterier och procentuell andel av intakta celler i ledningssystemet i Lund, men sänkta nivåer i distributionsnätet i Malmö.

## Utdrag från examensarbeten

Nedan följer korta utdrag från de rapporter som har lämnats in efter genomförda examensarbeten. De fullständiga rapporterna kan återfinnas på DRICKS hemsida.

## Riskbedömning

**Anielka Salinas Niedbalski and Victor Viñas Cos (2015). Riskbedömning i svenska och lettiska dricksvattensystem: En översikt inom ramen för "Water Safety Plans".**

Riskbaserade metoder för att bedöma och hantera riskerna i dricksvattensystemet krävs för att garantera ett rent och säkert dricksvatten. Världshälsoorganisationen (WHO) föreslår "Water Safety Plans" (WSP) som det effektivaste sättet att garantera en säker dricksvattenförsörjning. WSP är ett ramverk för integrerad riskhantering som omfattar alla steg i vattenförsörjningen från avrinningsområde till konsument. Utveckling av WSP är inte väldokumenterat i Sverige, därför är det viktigt att undersöka hur mycket som uppnåtts inom WSP-arbetet; och om inte WSP används finns det andra riskbedömningsmetoder som används för att garantera en säker tillgång till dricksvatten. Arbetet är ett samarbete med Rigas tekniska universitet, varför också Lettland har inkluderats i examensarbetet.

En litteraturgenomgång av det globala arbetet inom WSP har genomförts. Intervjuer genomfördes med den nationella myndigheten, Livsmedelsverket; de lokala tillsynsmyndigheterna i Göteborg och Alingsås; tre dricksvattenleverantörer i Sverige (Göteborg, Alingsås och Östersund); och den Lettiska Vattenverks- och Avloppsvatten Föreningen (LWWWA). En jämförelse mellan de synpunkter framförs och metoder som används i Sverige och Lettland görs. Likheter och skillnader mellan stora och små vattenleverantörer (Göteborg och Alingsås) noteras. Effekterna av hur det vattenburna utbrottet i Östersund har påverkat övriga Sverige har studerats.

Det finns en positiv inställning till riskbedömning i Sverige. Alla de intervjuade leverantörerna har till största delen genomfört Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) och andra kvalitativa analyser. Göteborg har gjort mer kvantitativa riskanalyser i deras system än i Alingsås, vilket kan bero på skillnaden i storlek. Utbrottet i Östersund var en uppenbarelse för hela Sverige, vilket ökat uppfattningen om riskerna i leverantörers system. I Sverige är nästan alla delar av en WSP redan på plats, men det är inte riktigt fullt ut en WSP. Lettland verkar å andra sidan ha genomfört mindre integrerade riskbedömningar i sina system. Uppfattningen att detta är onödiga och kostsamma åtgärder kan hindra framsteg som gjorts.

Ytterligare kvantitativa analyser är nödvändiga för att förbättra nivån på information om riskerna i systemen. Kostnads-nyttoanalyser för att genomföra riskbedömning i vattenförsörjningen behövs. Detta kan användas för att stödja uppgraderingar i systemet, och när det gäller Lettland, för att motivera leverantörer att genomföra en riskbaserad metod. Baserat på

litteraturgenomgång av WSP, föreslås några möjliga förbättringar för de svenska dricksvattensystem: en webbaserad sökmotor för att förbättra tillgängligheten till information om dricksvattensystemet; online-tillgång till de handlingar som behövs för att utföra en WSP för leverantören; och en förenklad HACCP för att vattenproducenter med begränsade resurser ska kunna genomföra en riskbaserad analys av sitt system.

**Debora Falk and Anna Ohlin (2015). Kemisk riskanalys av återvinningssystemet för dricksvatten i Beaufort West, Sydafrika - Utvalda föroreningar med påverkan på människors hälsa.**

Att återvinna vatten är viktigt för att kunna lösa morgondagens stora utmaningar kring global vattenbrist. År 2010 byggdes ett vattenreningsystem där avloppsvatten återvinns till dricksvatten i staden Beaufort West i Sydafrika. Även om anläggningen har tjänat samhället väl i detta torra inland är det viktigt att undersöka vilka risker som finns kopplade till tekniken.

Syftet med denna rapport var att göra en kemisk riskanalys för utvalda föroreningar i vattenåtervinningssystemet i Beaufort West som skulle kunna leda till negativa effekter för människors hälsa samt att föreslå effektiva åtgärder för att minska de mest allvarliga riskerna.

Genom intervjuer och provtagning av vattnet kunde sannolikheten för en fara samt dess konsekvens bli fastställda, vilka användes för att skapa en riskmatris. Två förhöjda risker identifierades, båda relaterade till höga halter av hormonet EE2, den aktiva substansen i bland annat p-piller. Den ena risken var kopplad till en långtidsexponering av EE2 från dricksvattnet och den andra risken skedde då barn från området olagligt badade i en kanal med restprodukter från reningsverket. Eventuella tillfälliga tekniska fel i processerna resulterade inte i förhöjda risker kopplade till EE2. Inte heller identifierades någon ökad risk kopplad till andra av de analyserade föroreningarna. Åtgärder föreslogs för att minska de förhöjda riskerna och dessa utvärderades i en multikriteriebeslutsanalys. Resultatet visade att tillägg av granulerat aktivt kol (GAC) är den mest effektiva åtgärden för att minska de båda identifierade riskerna. Den här studien visar att dricksvattenanläggningen i Beaufort West med direkt återvunnet vatten innebär låga risker för ett stort antal kemiska föroreningar funna i avloppsvatten. Mer forskning behövs dock kring hormoner, dess nedbrytningsprodukter samt möjliga reningstekniker men även en riskbedömning kring de mikrobiologiska riskerna för detta specifika reningsverk föreslås.

**Nils-Petter sköld (2018). Riskbaserad samhällsekonomisk analys av åtgärder inom dricksvattenförsörjningen – en fallstudie vid Kvarnagårdens dricksvattenverk.**

Medvetenheten kring vikten av en pålitlig och säker dricksvattenförsörjning har under de senaste åren växt kontinuerligt. Som en följd av detta har också fokus på riskbaserat helhetstänk i linje med det WHO förespråkar också ökat. Det ökande antalet riskbedömningar som genomförs har också ökat behovet av beslutsstödsmodeller, för att värdera och jämföra olika åtgärder. Med syftet att visa hur riskbedömningar och beslutsstödsanalyser kan kombineras utfördes en fallstudie vid Kvarnagårdens dricksvattenverk i Varberg där de nyligen installerade ultrafiltrens (UF) förmåga att reducera hälsoriskerna samt den samhällsekonomiska nytta detta innebär utvärderades. Syftet var att identifiera och monetarisera de kostnader och nyttor som UF-membranen är förknippade med i en samhällsekonomisk kostnads-nyttoanalys (KNA). Kvantitativ mikrobiell riskanalys användes för att uppskatta den hälsomässiga risken för dricksvattenkonsumenterna innan och efter installation av UF-membranen. De fekala föroreningsskällor som ingick i analysen utgjordes av exempelvis enskilda avlopp intill vattenkällorna, men också mer sällsynta händelser som läckage från avlopp till följd av rörbrott. De referenspatogener som användes i beräkningarna var Campylobakter, Norovirus och Cryptosporidium. Utöver den reducerade hälsoriskerna, beaktades i KNA-beräkningarna också andra nyttor såsom vattnets estetiskt förbättrade kvalitet, i syfte att utvärdera huruvida UF-membranen är en lönsam investering ur ett samhällsekonomiskt perspektiv. Analysen gjordes med hänsyn till en tidsperiod på 50 år och en diskonteringsränta på 3,5%. Resultatet visar att UF-

membranen har reducerat den mikrobiella risken signifikant och således säkerställt dricksvattenverkets rening av det dricksvattnet som distribueras ut till konsumenterna. UF-membranens nettonuvärde (nyttor minus kostnader) beräknades till +47 MSEK, med 5- och 95-percentiler på -45 respektive +117 MSEK. Sannolikheten för ett positivt nettonuvärde uppskattats till 82%, där det framförallt var de estetiska nyttorna som bidrog till det positiva nettonuvärdet. Slutligen bör det även nämnas att alla nyttor inte har monetäriserats, vilket innebär att det finns ytterligare nyttor att ta hänsyn till i diskussionen kring UF-membranens samhällsekonomiska effekt.

### **Petter Bolander and Erik Martinsson (2018). Riskbaserad kostnads-nyttoanalys av tillförlitliga dricksvattenkällor – En fallstudie av Kärnsjön.**

Tillgång till säkert dricksvatten är viktigt för livet och en grundläggande mänsklig rättighet. I Sverige har god tillgång till råvattenkällor lett till ett samhälle där tillgången till säkert dricksvatten har tagits för givet. Emellertid har t.ex. effekterna av klimatförändringen i kombination med en ökad befolkning och ett åldrat distributionssystem resulterat i perioder med begränsningar för användningen av dricksvatten i delar av Sverige. Att upprätthålla och utveckla dricksvattensystem, för att ge både nuvarande och framtida samhälle en högkvalitativ dricksvattenförsörjning är både en komplex och dyr uppgift. Det är därför av yttersta vikt att avsätta ekonomiska resurser på rätt sätt för att möjliggöra en effektiv användning av tillgängliga resurser.

Huvudsyftet med denna studie är att utvärdera om detta kan göras med hjälp av riskbedömning i kombination med kostnads-nyttoanalys, ett systematiskt tillvägagångssätt som jämför fördelar och kostnader uttryckta i monetära termer. För att undersöka hur detta kan tillämpas har en fallstudie gjorts för att utvärdera användningen av Kärnsjön som råvattenkälla för Munkedals kommun och dess närliggande kommuner. CBA syftar till att underlätta beslutsfattandet för den lokala dricksvattenproducenten (Västvatten), för att säkerställa fortsatt säker och tillförlitlig dricksvattenförsörjning för kommunerna. CBA utvecklades genom att identifiera och analysera risker som kan orsaka fullständigt avbrott i kommunernas dricksvattenförsörjning och skadorna i samband med dessa risker. Osäkerheter som hör samman med inmatningsvariabler och utgångsresultat analyserades med Monte Carlo-simuleringar. Beslutsmodellen lägger tonvikt på samhällsfördelar som erhålls genom att tillhandahålla redundans i dricksvattensystemen och monetariseringen av dessa effekter. Analysen resulterade i ett positivt Nettovärde och visade därför att det kunde vara lönsamt - ur samhälls synvinkel - att ge redundans till närliggande kommuner, förutom att säkra Munkedals framtida efterfrågan. En osäkerhets- och känslighetsanalys utfördes för att undersöka osäkerheten i resultaten och känsligheten hos modellen. Utöver detta analyserades olika scenarier för att se hur vissa antaganden påverkar alternativ rangordning. Dessa ytterligare analyser ger information om vilka parametrar som kan undersökas för att ytterligare minska osäkerheten hos modellen.

## **Vattenresurser – ytvatten**

### **Filippa Rydwick (2016). Föroreningsspridning i Mälaren – modellering av föroreningars påverkan på ett vattenverks råvattenkvalitet.**

Dricksvattenförsörjningen i Sverige står inför flertalet utmaningar. Konsekvenserna av klimatförändringarna är en bidragande del till den ökade hotbilden. Råvattnets kvalitet kommer att påverkas negativt då ökad nederbörd och avrinning kan mobilisera och transportera föroreningar till dricksvattentäkten i större utsträckning. Föroreningar av kemisk och mikrobiell karaktär kan orsaka stora problem för vattenproducenter runt om i Sverige. Under 2000-talet har flera vattenburna sjukdomsutbrott uppmärksammats i Norden. Östersund drabbades av ett omfattande utbrott 2010 då 27 000 människor insjuknade. Orsaken var avloppspåverkat dricksvatten där den klorresistenta parasiten *Cryptosporidium* framhölls som den främst orsakande agensen. Förorenat dricksvatten och sjukdomsutbrott kan leda till stora samhällskostnaderna, både i sjukfrånvaro och åtgärds-kostnader.

Det finns därmed ett stort behov av råvattenkontroll och kunskap om eventuell föroreningsproblematik i dricksvattentäkt. Mälaren är en viktig dricksvattentäkt och förser cirka 2,5 miljoner människor med dricksvatten. Detta examensarbete syftar till att studera förorenings-spridning i Mälaren med hjälp av en hydrodynamisk spridningsmodell. Modelleringen är avgränsad till östra delen av Mälaren med utgångspunkt från Görvälnverket i Järfälla kommun. Möjliga utsläppsscenarioer av föroreningar har identifierats och utvärderats utifrån dess påverkan på råvattenkvaliteten vid vattenverkets intag.

En metod togs fram för att skapa riskkartor baserad på transporttid i vattenverkets närområde och underlaget togs fram med hjälp av ett 60-tal simuleringar för olika utsläppspunkter. Transporttiden beräknades och genom interpolation mellan utsläpps-punkterna kunde riskkartor tas fram. Dessa riskkartor kan fungera som underlag vid riskbedömning. Möjliga utsläppskällor av avloppsvatten utvärderades genom att fyra stycken utsläppspunkter utvärderades vid olika årstider. Modelleringsresultaten visade påverkan på råvattnet till stor del beror på årstid, vattenflöden, vind och skiktning-förhållanden vid utsläppstillfället. Påverkan på intagsvattnet ökar i samband med omblandningen under vår och höst. Modelleringsresultaten indikerade även att transporthastigheten tilltar vid höga flöden och vid omblandade förhållanden kan föroreningar nå intagsdjupet i större utsträckning. Kemiska föroreningars påverkan på intagsvattnet utvärderades i form av dieselutsläpp i vattenverkets närområde. Modelleringsresultaten visade att konsekvenserna av ett dieselutsläpp kan variera och beror till stor del på utspädningseffekten, skiktning-förhållanden, vattenflöden och vindriktning.

#### **Johan Blomberg och Tobias Jonsson (2016). Dagvattenhantering på broar En beslutsmodell för val av åtgärd.**

Många broar i Sverige har tidigare konstruerats utan att ta hänsyn till föroreningar från dagvatten och miljöfarliga utsläpp. Detta medför att det finns broar som inte uppfyller dagens krav på utsläppsnivåer och hantering av spill med anledning av att regelverket inte var etablerat förrän i slutet av 1990-talet. För recipienten kan riskerna med avrinning från broar klassificeras till två kategorier; dagvattenförorening och utsläppshändelser. Båda dessa måste tas i beaktning när ett hanteringssystem för avrinning tas fram. Syftet med denna studie var att skapa ett ramverk för hur dagvattensystem hanteras på broar i Sverige eftersom det idag saknas tydliga och konsekventa riktlinjer. Detta resulterade i en generell beslutsmodell, baserad på befintliga studier och föreskrifter, som kan användas på nationell nivå. Den inkluderar en riskanalys för spillhändelser med farligt gods fordon och tung trafik och ger ett åtgärdsval för dagvattenhantering som resultat samtidigt som den följer existerande regelverk i största möjliga utsträckning. Den generella beslutsmodellen har utvärderats via en fallstudie av Angeredsbron i Göteborg. Studien resulterade i rekommendationen av ett spillhanteringssystem, vilket uppfyller de lokala miljökraven. Detta examensarbete drar slutsatsen att det finns anledning att ifrågasätta rimligheten av kravställningen i några fall. Det är därför rekommenderat att Trafikverket, i samråd med berörda myndigheter och organisationer, tillsammans ser över och reviderar de befintliga kraven med syfte att tydliggöra tolkningen för verksamhetsutövaren. Riskanalysen visade att händelser med resulterande spill generellt bör ses som försumbara. Detta innebär att det inte är risken som ska styra valet av dagvattenhanteringssystem utan skyddsbehovet av den berörda recipienten.

#### **Charles V. Löwenström, och Saif H. Hussain (2017). Hydrologisk och mikrobiologisk modellering med verktyget "Soil and Water Assessment Tool" - Vomms och uMgenis avrinningsområden.**

I linje med Världshälsoorganisationens säkerhetsplaner för vattenskydd och sanitet är det viktigt att man förstår effekterna av mänskliga och animaliska fekalkällor på vattenkvaliteten för att kunna försäkra säker dricksvattenförsörjning och annan vattenanvändning. Protozoa parasiter, t.ex. Cryptosporidium, har orsakat diarréutbrott i både utvecklade och utvecklingsländer. En studie om sub-sahariska Afrika visade att diarré sjukdomar är en ledande orsak till barndödlighet i utvecklingsländer och att Cryptosporidium är en av de främsta smittorsakerna. Hydrologisk modellering kan användas

för att simulera transporten av fekal förorening och för att uppskatta effekterna av diffusa och punktutsläpp från fekala källor på vattentäkter. I detta projekt modellerades Vombsjöns avrinningsområde i Sverige och uMgenis avrinningsområde i Sydafrika med hjälp av Soil and Water Assessment Tool (SWAT). Syftet var att kvantifiera belastning av *Cryptosporidium* och fekalindikatoren *E. coli* från avloppsvatten och djurhållning till vattentäkterna. För Vombsjön var den hydrologiska modellen framgångsrikt kalibrerad och visade en bra prestanda när det gällde att simulera vattenflödet. Den huvudsakliga källan till mikrobiell belastning i Vombsjön, som används som dricksvattentäkt, var gödselanvändning på jordbruksmark. För uMgenis avrinningsområde misslyckades kalibrering av den hydrologiska modellen, främst på grund av bristen på nederbörd och osäkerheter avseende jordens hydrauliska egenskaper. Den huvudsakliga källan till mikrobiell belastning kommer ifrån det ej fungerande avloppsreningsverket i Mpophomeni, som släpper ut obehandlat avloppsvatten till Midmar dammen - en viktig dricksvattentäkt i området. För Vombsjön kan modellen förbättras genom att utöka data angående lokalisering och avskiljning av enskilda avlopp, förekomst av patogener i boskap och gödselmängder för jordbruket. För uMgenis avrinningsområde kan simuleringen av vattenflödet förbättras genom in-situ undersökning av markegenskaper och installation av fler nederbördsstationer i området. Efter förbättring kan vattenkvalitetsmodelleringen användas tillsammans med mikrobiell källspårning för att utföra kvantitativ mikrobiologisk riskanalys.

### **Svenja Hoffmeister (2017). Interkalibrering av optiska sensorer och konsekvenser för övervakning av vattenkvaliteten.**

Generellt förväntar sig många i Sverige att kranvattnet är drickbart. Många av oss ser det som en självklarhet att kunna dricka friskt kranvatten. Därför, är det extra viktigt att upprätthålla denna goda kvalitet. Kostsamma laborationsmätningar görs regelbundet på enstaka vattenprover för att kontrollera vattenkvaliteten. Mätningarna som görs är mycket pålitliga och noggranna, men problemet med övervakningen av vattenkvaliteten är att förändringar sker väldigt fort. Exempelvis, skapar en kraftigt men kort regnskur en våg av partiklar, vilket kan ge problem vid reningen av vatten.

Tänk om du, istället för att konstant vara fysiskt närvarande, hade ett par extra händer och ögon på plats som kan ta mätningar åt dig, på olika platser exakt samtidigt. Dessa extra händer existerar i form av sensorer som placeras direkt i vattnet och övervakar vattenkvaliteten.

Det här projektet fokuserar på att jämföra förmågan att mäta indikatorer för vattenkvalitet hos två sensorer. Varför indikatorer? Kvaliteten på vatten är ett komplext system som är beroende på många faktorer, som exempelvis temperatur, pH, olika partiklar och föroreningar som flyter i vattnet. Sensorerna kan inte mäta allt, de fokuserar istället på några få parametrar som är kända för att ge en indikation om hur bra vattenkvaliteten är i allmänhet. En indikator som ofta används, bland annat för dess förmåga att transportera föroreningar, är löst organiskt kol (DOC; t. ex. nedbrytningsprodukter från växter). Idag finns det ingen enkel sensor för att mäta DOC. Men DOC skapar färg i vatten och har därför optiska egenskaper. Optiska sensorer (ljusstråle) mäter vattenfärg och kan användas för att bestämma koncentration av DOC.

Särskilt enkelt är det inte att bara placera sensorn för fluorescensmätningar i vattnet. Ljusstrålarna är lättpåverkade av såväl partiklar som flyter i vattnet och av vattentemperaturen, vilket gör att korrigeringar för dessa behöver göras. Det har visat sig att temperaturen har en betydande effekt på mätningarna. Korrigeringar av optiska mätningar med två olika sensorer behövde därför korrigeras för att kunna jämföras mot laborationsmätningarna.

Metoderna som användes i den här studien utvärderar DOC-halter. Under provperioden var väderförhållandena mycket stabila. Eftersom ingen hänsyn har tagits till extrema väderförhållanden (ex. storm) kan ingen slutsats dras angående pålitligheten hos resultaten under extrema förhållanden. En annan viktig felkälla i resultaten identifierades. När sammansättningen av kolet ändras, så kan mätresultatet vara missvisande. Framtida analyser måste ta hänsyn till detta.

## Vattenresurser - Grundvatten

### **Erik Garbe (2015). Perfluorerade ämnen, dess källor och risker för dricksvattenkvalitet inom Göta älv och Mölndalsåns avrinningsområde.**

Perfluorerade ämnen påträffas i alla medier överallt i världen, men det finns begränsad information om i vilka mängder de förekommer. Livsmedelsverket har beslutat om en åtgärdsgräns på 90 ng/L för summan av sju angivna ämnen i vatten, medan EU har satt upp en miljökvalitetsnorm (EQS) på 0,65 ng/L i inlandsvatten för det förbjudna ämnet PFOS och dess salter. Ahrens et al (2014) redovisade en studie för perfluorerade ämnens förekomst i 41 svenska vattendrag. Halterna i Göta älv var relativt låga jämfört med andra undersökta vattendrag, men på grund av det höga flödet var påverkan mängdmässigt bland de högsta. Vid Trollhättan var halten av PFOS under EU:s EQS, medan det var över miljökvalitetsnormen vid Alelyckan.

Flera av dricksvattenproducenterna längs Göta älv har analyserat sitt vatten för perfluorerade ämnen. Resultaten från dessa studier visade att mängden som transporteras längs Göta älv är avsevärd. I denna studie har de potentiella utsläppskällorna identifierats och en första provtagningsomgång genomförts för att försöka bekräfta den troliga variation av halten perfluorerade ämnen som antas finnas längs Göta älv. Samtliga dricksvattenproducenter längs älven medverkade i en gemensam råvattenprovtagning och i samråd med Göta älvs vattenvårdsförbund tillades ytterligare provpunkter. Gällande provtagningen genomfördes efter en period med mycket nederbörd. Endast halter av PFBA och PFOS kunde detekteras och enbart på två platser. Lilla Edets dricksvattenverk hade höga halter av PFBA (186 ng/L), som antagligen berodde på störningar från klor i provet. Ingen bekräftelse av variation av halten perfluorerade ämnen kunde göras, men jämförs dessa resultat med resultat från tidigare studier är det sannolikt att halten varierar kraftigt längs älven från dag till dag. Ytterligare provtagning bör således genomföras för att kontrollera dessa resultat och för att fortsätta övervaka flödet av perfluorerade ämnen längs Göta älv. Denna studie bör därför fungera som ett underlag till framtida uppströmsmätningar av perfluorerade ämnen i Göta älv och i andra vattendrag.

## Beredningsteknik

### **Karin Ljungberg, Hassan Murad, Josefin Nilsson, Sofia Näslund, Elin Olby och Olov Stenberg (2015). Utmaningar för svensk dricksvattenberedning idag och i framtiden.**

Dricksvatten är vårt allra viktigaste livsmedel. Att få en bra översikt över vilka hot som finns är därför viktigt. Projektets syfte var att identifiera de problem och utmaningar vid dricksvattenberedning som finns idag och som kan komma i framtiden hos olika vattenverk runt om i Sverige. Projektet utfördes med en litteraturstudie samt en enkätundersökning hos 31 vattenverk.

De största utmaningarna för dricksvattenberedning i dagsläget är ökande humushalt och större behov av dricksvatten vid en framtida befolkningsökning. En viktig utmaning var också att hitta en reservvattentäkt för grundvattenverken som är mycket känsliga vid eventuella utsläpp. De kemiska ämnen som ansågs vara de största utmaningarna var PFOS och BAM. Dock var det endast en minoritet av vattenverken som hade problem med dessa. Majoriteten av vattenverken hade inga utmaningar med kemiska ämnen. Även vägsalt kunde uppfattas som en utmaning för en minoritet av vattenverken. I dagsläget med klimatförändringar ansåg vattenverken att den största utmaningen i framtiden är ökad humushalt.

Med avseende på framtida klimatförändringar ansåg vattenverken att den största utmaningen var ökad humushalt, även ökad nederbörd anses vara ett mindre problem.

Generellt sätt verkar dricksvattenproduktionen i Sverige fungera bra. För grundvattenverk finns viss känslighet på grund av avsaknad av reservvattentäkt samt infrastruktur i deras vattenskyddsområden. Detta gör att om en trafikolycka skulle ske kan detta leda till förödande konsekvenser för grundvattenverk, även om det finns beredskap. För ytwaterverk är humus och



befolkningsökning de största problemfaktorerna. Vattenverk som använder konstgjord infiltration ser humus som en utmaning i framtiden.

#### **Josefine Klingberg, (2015). Nanofiltermembranexperiment på Ålands Vatten Ab:s vatten.**

Vattenverk som använder sig av sjöar som råvattenkälla kan i framtiden få problem att säkert rena bort organiskt kol, vars koncentration i sjöar för tillfället ökar i Sverige och barrskogsbeltet. Ett sätt för vattenverken att handskas med detta problem är att installera en membranfilteranläggning i reningsprocessen, vilka visat sig vara effektiva mot rening av organiskt kol. Vattenverket Ålands vatten Ab beläget på Åland använder sig av ytvattentäkter och i detta projekt har deras vatten karakteriserats med avseende på organiskt kol samt filtrerats genom ett nanomembranfilter – med positivt resultat.

Ålands vatten Ab:s råvatten innehåller främst hydrofilt och icke humöst material med låg molekylvikt och organiskt kol med alloktont ursprung. Det är också denna typ av material som reningsprocessen är mest selektiv att avlägsna från vattnet. Då råvattnet filtrerats genom nanomembranfiltret innehöll det främst autoktont material vilket innebär att även membranfiltret är mest selektivt mot alloktont material. Membranfiltret har en mycket högre reningsgrad än den nuvarande processen mot material med alloktont ursprung. Som förväntat ökar koncentrationen DOC något under ozoneringen samtidigt som koncentrationen TOC är konstant då ozoneringen spjälkar en del POC. Ökningen i DOC är dock inte signifikant ( $p$ -värde  $> 0,05$ ). Minskningen i SUVA under processen indikerar också på denna övergång till mindre och mer hydrofila molekyler. För membranexperimentet skedde en ökning i koncentrationen DOC i både permeatet och matarvattendunken. Ökningen hos permeatet var oväntat och beror troligtvis på frigörande av partiklar från slangarna eller ökad genomsläpplighet med tid hos membranet. Membranfiltrets reningseffektivitet förväntades vara lägre för vattnet efter ozoneringen och renvattnet jämfört med råvattnet och vattnet från efter dynasandfiltret, detta stämde inte. Membranfiltret har högst reningseffektivitet på råvattnet (81 %) men ungefär 50 % för alla övriga vatten, inklusive vattnet efter dynasandfiltreringen.

Vattenverkets nuvarande process har en reningseffektivitet på 67 % för DOC vilket är betydligt lägre än nanofiltrets reningseffektivitet på 81 %. Detta innebär att vattenverket skulle kunna ersätta hela sin process med ett nanofilter och få ett renvatten med lägre koncentration organiskt kol. Ett sådant skift i process skulle innebära en minskad användning av kemikalier och därmed minskad risk för desinfektionsbiprodukter och lägre driftkostnader. Detta experiment har endast beaktat organiskt kol men för ett eventuellt byte av process bör även många andra parametrar beaktas.

#### **Maria Takman (2015). Utvärdering av nano- och ultrafilter för avskiljning av cyanotoxiner i dricksvatten. Effekter av membrantyp och råvattenkvalitet.**

I Sverige tas ungefär hälften av dricksvattnet från sjöar och vattendrag, och om vattenmiljön i de svenska sjöarna förändras påverkas stora delar av den svenska dricksvattenproduktionen. Ett av hoten mot vattenmiljön i svenska sjöar är övergödning, som bland annat kan leda till toxiska blomningar av cyanobakterier (cyanobakterier kallas ibland blågröna alger). I en sådan blomning produceras vanligtvis olika giftiga ämnen, toxiner, som först är cellbundna, men som kan frigöras till vattnet när cellen dör. Den vanligast förekommande gruppen av algtoxiner är mikrocystin. Mikrocystiner är hepatotoxiska, vilket innebär att det främst är leverns funktioner som drabbas. Runt om i världen har dödsfall, både av människor och djur, kunnat kopplas till mikrocystin producerat vid algblomningar. Andra toxiner som produceras av cyanobakterier är anatoxin-A och gruppen paralytiska skaldjurtoxiner. Dessa toxiner är neurotoxiska, vilket innebär att det främst är nervsystemets funktioner som drabbas. När anatoxin-A upptäcktes benämndes den VFDF, från Very fast death factor, eftersom möss som förgiftades gick en snabb död till mötes. Efter att ha nåtts av insikten om den ökande förekomsten av algblomningar och deras påverkan på dricksvattnet kanske någon oroligt frågar sig: "Men finns det inget att göra åt det här?" Det finns det. Klassiska reningstekniker har visats kunna rena cellbundna toxiner, medan nyare tekniker, exempelvis membranteknik, kan krävas för rening av toxiner som är lösta i vattnet. Membranteknik innebär att

vatten filtreras genom ett poröst material och att ämnen avskiljs vid membranytan och därmed inte passerar genom membranet, vilket leder till ett vatten med (förhoppningsvis) lägre koncentration av de oönskade ämnena, och ett vatten med högre koncentration av de oönskade ämnena. Det finns olika typer av membranteknik, varav nanofilter och ultrafilter är två. Nanofilter har en högre avskiljningskapacitet än ultrafilter och med nanofilter är avskiljningen av små molekyler bättre än med ultrafilter. Ultrafilter har visats avskilja cellbundna toxiner, medan nanofilter är en starkare kandidat när det gäller att avskilja även lösta toxiner.

Den beskrivna mekanismen kallas storleksexkludering, och kan förvisso vara avgörande vid ultra- eller nanofiltrering. Däremot finns det andra faktorer som också kan vara avgörande. Laddningsskillnader mellan membran och molekyler kan spela stor roll, i och med att molekyler med motsatt laddning dras till varandra medan molekyler med samma laddning stöter ifrån varandra. Dels påverkar membranets laddning och laddningen hos de toxiner som ska rensas, men också laddningen hos andra komponenter i vattnet, till exempel löst organiskt material. Löst organiskt material har ofta en negativ laddning och eftersom membran generellt är negativt laddade kan det organiska materialet påverka reningen på olika sätt. I det här examensarbetet testades två typer av nanofilter och ett ultrafilter för att rena fyra sorters mikrocystiner, tre sorters paralytiska skaldjurtoxiner, samt anatoxin-A. För att undersöka om, och i så fall hur, organiskt material påverkade reningen av de studerade toxinerna tillsattes toxin till tre olika sjövattnen och till ett vatten utan organiskt material. Organiskt material ser olika ut mellan olika sjöar, och eftersom vattenprover från tre sjöar användes uppnåddes en viss variation av organiskt material. I det här examensarbetet studerades också i vilken utsträckning toxinerna verkade binda till membranet eller till löst organiskt material, eftersom det ger en förståelse för vilka mekanismer det är som bidrar till avskiljningen. Mikrocystin avskiljades helt vid filtreringarna med nanofiltren, och lite eller inte alls med ultrafiltret. Olika typer av mikrocystin verkade binda till membranet och organiskt material i olika utsträckning, och det mikrocystin som hade minst negativ laddning verkade binda mest till membranet. Mikrocystin verkade dessutom i högre utsträckning binda till membranet när det organiska materialet hade härstammade från produktionen i sjön (det vill säga organiskt material som har producerats genom algutväxt). Reningen av anatoxin-A och paralytiska skaldjurtoxiner undersöktes enbart med ett membran och ett vatten. Avskiljningen var i snitt 20 – 40 %, och var högst i början av experimentet och minst i slutet av experimentet. Resultaten tydde på att storleksexkludering inte bidrog till reningen, utan att det snarare var molekylernas och membranets laddningar som bidrog till att en viss rening kunde iakttas.

### **Amanda Eskebaek (2016). Utvärdering av småskalig rening från läkemedelsrester i källsorterad urin.**

Alarmerande rapporter om stora utsläpp av läkemedel, ökande antal resistenta bakterier och påverkade akvatiska ekosystem har gjort att fler intresserar sig för hur vi kan minska spridningen av dessa substanser till vår miljö. De konventionella reningsverken rensar vanligtvis inte substanser som t.ex. läkemedel, men tekniken har gått framåt och idag är det fullt möjligt att stoppa spridningen av dessa. Ett reningsverk som har testat läkemedelsrening är Knivsta reningsverk, som under en period 2015 införde ozonering för att reducera skadliga substanser. Så länge läkemedelsrening inte är ett krav hos reningsverken, kan minskning av utsläppen hos punktutsläppskällor vara ett bra alternativ för miljön. Utöver ett stort gemensamt bidrag av läkemedelsrester från hushållen kan exempelvis sjukhus släppa ut betydande mängder av t.ex. antibiotika.

Akademiska sjukhuset är ett av Sveriges största sjukhus som nu vill minska sin spridning av läkemedelsrester till miljön. Att rena läkemedelsrester är dock ingen enkel uppgift, utan kräver ofta flera olika reningssteg och kan därför vara både kostsamt och kräva relativt stora ytor. Akademiska sjukhuset har en önskan om att finna en reningsprocess som kan fungera i mindre skala. Tidigare studier pekar mot att rening av källsorterad urin kan vara ett småskaligt alternativ, eftersom urinen dels innehåller den största andelen av avloppets läkemedel dels utgör en bråkdel av volymen.

I detta examensarbete har rening av antibiotikahaltig urin studerats genom tre metoder; ozonering, enzymbehandling och behandling med biokol. Metoderna har studerats både teoretiskt och praktiskt

i form av litteraturstudier respektive småskaliga reningsförsök. I försöken tillsattes olika antibiotika till ren urin, dvs. urin från personer som inte gick på antibiotika.

När urin lagras i ett urinseparerande system sker hydrolys; urea bryts ner och urinen får andra egenskaper som t.ex. högre pH-värde och högre halt ammoniak. Dessa egenskaper kan påverka ozoneringen varför dessa försök genomfördes på både färsk- och hydrolyserad urin. Ozoneringen genomfördes även på utspädd färsk- respektive hydrolyserad urin för att simulera ett mer verkligt scenario, där urinen späds med spolvatten. Ozon som är ett starkt oxidationsmedel är idag den kanske vanligaste reningsmetoden för reduktion av läkemedel i avloppsvatten. Tidigare försök har visat att ozonering även kan fungera för att reducera läkemedel i urin, även om relativt höga halter verkar behövas. I den här studien genomfördes ozonering hos IVL, Stockholm som tillhandahåller en liten ozongenerator. En nackdel med ozonering är att olika toxiska biprodukter kan bildas. För att kontrollera detta mättes därför även bromathalten i urinen före och efter ozonering.

En mindre känd reningsteknik är enzymatisk rening, en reningsmetod som företaget Pharem Biotech har tillämpat i sina produkter. Enligt företaget har tidigare studier på utgående avloppsvatten från reningsverk visat goda resultat varför det var intressant att studera om enzymerna också kunde fungera på antibiotikahaltig urin. Enzymerna från Pharem Biotech testades genom ett skakförsök där en enzymvätska blandades med antibiotikahaltig urin samt ett filtreringsförsök där antibiotikahaltig urin fick passera ett enzymfilter. Aktivt kol är en mycket god adsorbent av föroreningar som exempelvis olika läkemedel, och har sedan länge använts inom både dricks- och avloppsvattenrening. En nackdel är att aktiveringsprocessen av kolet kräver mycket energi och därmed blir kostsam. På senare tid har vanligt kol, även kallat biokol också visats vara en bra adsorbent av läkemedel, vilket är ett både enklare och mer ekonomiskt alternativ. I examensarbetet undersöktes ett biokol dels genom ett kolonnförsök, där antibiotikahaltig urin fick passera en kolonn packad med biokol, dels genom så kallade skaktester, där olika mängder biokol skakades med antibiotikahaltig urin.

Resultaten i examensarbetet visade att den kanske enklaste och troligtvis billigaste metoden; biokol, fungerade bäst. Skaktesten visade att biokolet har stor potential att rena urin från antibiotika varför vidare studier på denna metod kan rekommenderas. Under kolonnförsöken uppgick den maximala reduktion till 55 % (för Trimetoprim), något som tros kunna förbättras med exempelvis mindre partikelstorlek och längre kontakttid. Den högsta reduktionen nåddes hos skaktesten med biokol, där 20 g biokol på 100 ml färsk urin reducerade upp till 96 % av antibiotikan (Ciprofloxacin), under 1 h. För ozon- och enzymförsöken var resultaten inte lika positiva. En tillförd ozondos på 50 mg/l reducerade inte läkemedelsresterna nämnvärt i den koncentrerade urinen medan samma ozondos hade en viss effekt i den färska urinen som späddes med 50 % spolvatten. Den bästa reduktionen sågs hos Doxycyklin som reducerades till 86 % i färsk utspädd urin. Resultaten av enzymreningen kunde inte visa att enzymer i produkter från företaget Pharem Biotech hade någon reduktionseffekt på antibiotikan. Detta tros bero på att inaktivering av enzymerna har skett och att en anpassning av enzymerna därför är nödvändig för att kunna applicera metoden på urin.

### **Maria Wålinder (2016). Modellering av perfluoralkylämnens adsorption till en jonbytare med hjälp av PHREEQC.**

Poly- och perfluoralkylämnen (PFAS) är miljöföroreningar som används i många produkter som utomhuskläder, matförpackningar, rengöringsmedel och brandskum. Ämnena har upptäckts i kranvatten i länder över hela världen och utgör risker för människors hälsa. Konventionella vattenbehandlingsmetoder är ineffektiva som PFAS-borttagningstekniker, men jonbyte har visat sig vara effektivare. Behandling av vatten med jonbytesteknik testades på dricksvatten innehållande 14 PFAS i en experimentell studie i Uppsala 2014-2015, där man utvecklade en experimentell modell med hjälp av datorprogrammet PHREEQC. Syftet var att undersöka och diskutera eliminerings effektiviteten hos de 14 PFAS, med fokus på skillnader i funktionella grupper, kedjelängder och utvärdering av behandlingsmetoden i ett långsiktigt perspektiv. Simuleringarna från PHREEQC-modellen visade att jonbytaren effektivt mätades efter 900 dagar och att adsorptionen ökade med ökande kedjelängd. I en jämförelse av de åtta kedjade PFAS-erna

adsorberades PFOS mest, FOSA var den näst mest adsorberade och PFNA var den minst adsorberade substansen. PFSA: er avlägsnades effektivare än motsvarande kedjelängder av PFCAs. Verkningsgränsen överskreds efter några dagar men det tolerabla dagliga intaget överskreds först efter 220 dagar. Det är viktigt att förstå och utvärdera toxiciteten hos olika PFAS: er så att lämpliga åtgärdsgränser och lagstiftningar kan bildas. Mer forskning behövs inom detta område, för först då kan möjliga metoder testas noggrant med avseende på människors hälsa, miljöpåverkan och ekonomiska och rättsliga problem. De molära koncentrationerna av de 14 PFAS varierade i det studerade experimentet, där PFAS med längre kedjor tillsattes i mindre koncentrationer. Förutom anjonbytesexperimentet testades avlägsnandeeffektiviteten hos granulärt aktivt kol (GAC). Det skulle vara intressant att modellera GAC-experimentet för att de två vattenbehandlingsmetoderna skulle kunna jämföras. Experimentstudien kunde simuleras i PHREEQC och jämviktskonstanter bestämdes. Adsorptionen till jonbytaren ökade med ökande kedjelängd. I en jämförelse av de åtta kedjade PFAS-erna var PFOS den mest adsorberade, FOSA var den näst mest adsorberade och PFNA var den minst adsorberade substansen. PFSA: erna avlägsnades effektivare än motsvarande kedjelängder av PFCAs. I modellen mättes jonbytaren effektivt efter 900 dagar, men verkningsgränsen uppnåddes efter bara några dagar för de 14 PFAS. Emellertid överträffades det tolererbara intaget först efter 220 dagar. Skriptet som har utvecklats i denna avhandling kan modifieras och användas för andra situationer, för att förutse eller utvärdera möjliga resultat i liknande scenarier.

### **Theophile Hemion (2017). Design och användning av halvautomatiserad ultrafiltreringsprocess för online koagulering.**

Projektet byggde en inline koagulering - ultrafiltreringsprocess. Denna behandlingsprocess utvärderades med användning av två typer av vatten, en från en sjö och en från en flod. Processen bestod av dimensionering och montering av olika delar av piloten. Fem huvuddelar slutligen komponerade systemet: pumpar, tankar, en statisk mixer, en omrörningsreaktor och ultrafiltreringsmodulen. När pilotkonstruktionen avslutades genomfördes flera burkprov på de två vattnen med användning av aluminiumsulfat och järnklorid. Både optimal koagulantkoncentration och det optimala pH-värdet måste identifieras för att förbättra membranets prestanda och hållbarhet. Under optimala koagulationsförhållanden visade de olika experimenten huvudsakligen att järnkloriden bättre avlägsnade organiskt material (upp till 74% av totalt organiskt kolavlägsnande) än aluminiumsulfatet (upp till 61% avlägsnande). Det visade emellertid också att järnkloridkoaguleringen i inline-koagulerings-ultrafiltreringssystemet var mycket beroende av reaktorens hastighetsrörelse, i motsats till aluminiumsulfatet. Dessutom täpptes membranet lättare igen vid användning av järnkloriden, vilket innebar mer återvätskning och specifik kemisk rengöring. Användningen av järnklorid i denna typ av system skulle därigenom möjliggöra ett effektivare avlägsnande av organiskt material, men skulle kräva mer efterbehandling eller mer återvätskning för att undvika en snabbare försämring av membranet. Sammantaget visade experiment på detta system i laboratorieskala att det var möjligt att nå ett gott organiskt materialavlägsnande med inline koagulationssystemet, med båda koagulanterna. Det var möjligt att överväga en potentiell utveckling av denna typ av system i industriell skala.

## **NOM-Karakterisering**

### **Julia Tiren Ström (2016). Utvärdering av processen vid Hofors vattenverk med avseende på avskiljning av NOM.**

I Sverige används främst ytvatten, vatten från sjöar och vattendrag, vid produktion av dricksvatten. Detta vatten innehåller ofta mycket naturligt organiskt material som transporterats dit från kringliggande områden eller producerats i vattnet. Det organiska materialet utgörs av en blandning av ämnen som producerats av mark- och vattenlevande organismer och nedbrytningsprodukter av växtdelar. Reningsprocessen vid vattenverk syftar bland annat till att minska mängden organiskt

material i vattnet innan det distribueras till konsumenterna. På många platser i norra Europa och Nordamerika har halterna organiskt material ökat i ytvattnen de senaste årtiondena. Innehåll av organiskt material i vattnet försvårar dricksvattenproduktionen. Det kan bland annat ge upphov till oönskad lukt, färg och smak. Det bidrar till högre förbrukning av kemikalier som används för att ta bort dessa ämnen ur vattnet och kan ge högre tillväxt av mikroorganismer i vattenledningarna som bland annat kan öka risken för vattenburen smitta. Vid reaktion med desinfektionsmedel som exempelvis klor som används för att motverka tillväxten av mikroorganismer i vattenledningarna, kan det bildas ämnen som är skadliga för människors hälsa. I Hofors vattenverk tas råvattnet från den närliggande sjön Hyen och renas i vattenverket i tre huvudsteg. Genom tillsats av en kemikalie som bland annat innehåller aluminium binds organiskt material, partiklar och andra större föroreningar i vattnet ihop till klumpar, så kallade flockar. Flockarna avskiljs när vattnet passerar ett sandfilter. I nästa steg filtreras vatten genom ett filter med granulerat kol istället för sand. Här avskiljs mindre föroreningar som kan ge lukt och smak. Därefter passerar vattnet UVljus som inaktiverar mikroorganismer (parasiter, bakterier och virus). Efter pH-justering och tillsats av klor pumpas sedan vattnet ut på ledningsnätet hem till konsumenterna i Hofors. Reningsprocessen anpassas efter kvaliteten på råvattnet. Mängden organiskt material mäts med hjälp av färgtal där mycket färg indikerar mycket organiskt material. Vid höga färgtal fungerar driften av reningsprocessen sämre. För att slippa de problem som kan uppstå och för att kunna hantera en pågående ökning i vattnets färg så har nya reningsalternativ börjat studeras. Ett av dessa är ultrafiltermembran. Membranfilter består av ett poröst material som vatten får passera igenom. Porerna är mycket små och vid passagen är tanken att föroreningar ska avlägsnas vid membranytan och inte gå igenom membranet. Porerna i ultrafiltermembran är dock inte tillräckligt små för att ta bort organiskt material som finns löst i vattnet. Filtringen genom membranet måste därför kombineras med ett flockningssteg. Det är dock inte enbart storleken som har betydelse för avskiljningen utan även olika attraktionskrafter mellan föroreningarna och membranen har betydelse. Membranfilter kan sättas igen av föroreningar. Detta motverkas genom frekventa backspolningar där renat vatten spolats bakvägen genom membranet och genom tvätt med kemikalier som löser upp föroreningarna. I detta projekt undersöktes det hur väl reningsprocessen vid Hofors vattenverk fungerar med avseende på avskiljning av organiskt material. Vattenprov togs på råvattnet samt efter de olika reningsstegen och halten löst organiskt kol (DOC) som är ett mått på organiskt material samt karaktären på DOC analyserades. Analyserna gjordes med flera olika metoder. Resultaten jämfördes sedan mellan reningsstegen för att avgöra om någon förändring i vattnets innehåll av organiskt material skett. Laboratieförsök gjordes för att undersöka hur mycket fällningskemikalie som bör tillsättas för att få god avskiljning av organiskt material. Därefter gjordes försök med en mindre reningsanläggning med ultrafiltermembran. Olika mängder fällningskemikalie tillsattes till råvattnet för att undersöka om det fanns någon dos som med ultrafiltermembran kunde avlägsna mer organiskt material från vattnet än vad befintliga sandfilter gör. Slutligen undersöktes det om vattenkvaliteten i Hyen har förändrats sedan 1997 då vattnet började användas i dricksvattenproduktionen. Likt i många andra ytvatten visade det sig att färgen i Hyen har ökat de senaste åren (1997-2015). Råvattnet innehåller en blandning av olika typer av organiskt material. Både nedbrutna växtdelar från land och ämnen producerade av organismer i vattnet, föreningar som ger färg och föreningar som inte ger färg. I den nuvarande reningsprocessen tas nästan hälften av allt löst organiskt kol bort i sandfiltren. Det är främst organiskt material som ger upphov till färg som tas bort. I kolfilter och desinfektionssteg förändrades karaktären på det organiska materialet även om inte den totala mängden förändrades. Detta gjorde att det inte gick att dra några säkra slutsatser om vilka processer som påverkar förekomsten av organiskt material i dessa reningssteg. Laboratieförsöken visade på att den bästa dosen fällningskemikalie som bör tillsättas för att få god avskiljning av organiskt material är något högre än den som används i vattenverket idag. Detta kan bero på att försöken inte genomfördes vid optimalt pH som är en viktig faktor i flockningsprocessen. Det kan också visa på svårigheten att jämföra ett laboratieförsök med en fullskalig reningsprocess. Vid försök med membranpiloten blev avskiljningen av organiskt material liknande den som erhålls med sandfilter i tre av sex försök. På

grund av problem med igensättning av membranen kan det i två av dessa försök inte uteslutas att igensättningen bidrog till förbättrad rening under förhållanden som för membranpiloten inte är optimala. En vidare utredning om vad som orsakade igensättningen är därför av stor vikt. Det enda försök där igensättning av membran inte antas ha påverkat reningsresultatet gav inte bättre avskiljning än i sandfilter. Det krävs därför ytterligare försök för att säkert uttala sig om huruvida ultrafiltermembran är en teknik som är lämplig att använda vid Hofors vattenverk i framtiden för avskiljning av naturligt organiskt material.

### **Tyra Morell Bonin (2017). Prestationsanalys av granulerat aktivt kol (GAC) – en jämförelse mellan två etablerade GAC-typer.**

Vattenverket Görväln i Järfälla planerar ett nytt vattenverk i framtiden, lokaliserat intill nuvarande vattenverk. Idag är den kemiska barriären, granulerat aktivt kol, ur funktion och utvärderas i det här projektet för att effektivisera processen. Den här studien fokuserar på att optimera den kemiska barriären genom att jämföra två sorter av granulerat aktivt kol (GAC). Jämförelsen sker genom analysering av löst organiskt kol (DOC), totalt organiskt kol (TOC), samt absorbans och fluorescens. Vattnet som använts i studien kommer direkt från det sandfiltrerade vattnet i Görvälnverkets reningsprocess. För att testa de olika GAC-sorterna konstruerades en kolonnuppställning med överflödssystem. Syftet var att jämföra två olika GAC med kortare samt längre uppehållstid och deras absorberingsförmåga med avseende på DOC och TOC. Kolonner med längre kontakttid visade effektivare borttagning av DOC, TOC och fluorescerande ämnen oberoende av GAC-sort. Kolonner med FiltraSorb® 400 uppnår genombrott ungefär 30 % långsammare än Norit® 830 W för samma bäddvolym. Skillnaden mellan längre kontakttid och kortare kontakttid var inte lika markant som skillnaden mellan GAC-sorterna. FiltraSorb® 400 presterade ungefär 30 % bättre vid borttagning av DOC och TOC jämfört mot Norit® 830 W. Adsorptionskapaciteten för Norit® 830 W försämrades betydligt snabbare än för FiltraSorb® 400. Det innebär att FiltraSorb® 400 behöver bakspolas mindre ofta och regenereras mer sällan än Norit® 830 W. FiltraSorb® 400 är därför den GAC-sort som rekommenderas för Görvälnverkets vatten med avseende på borttagning av DOC. Den här studien kommer att användas som underlag för pilotanläggningen som är stationerad intill kolonnuppställningen. Uppställningen kommer också att användas för framtida kinetik och spårämnesförsök i vattenverket och på andra vattenverk.

### **Luana de Brito Anton (2017). Funktionsstudie av granulerat aktivt kol (GAC) i pilotskala.**

Prestanda hos Granulerat Aktivt Kol (GAC) undersöktes för avlägsnande av naturligt organiskt material (NOM) från vatten i ett pilotexperiment under 2017. Dessutom utfördes kinetiska experiment för att bedöma upptagningshastighet av Metylenblå (MB) för olika GAC-prover och regenereringsexperiment under alkaliska förhållanden för att undersöka om det finns förbättringspotential av GAC:s NOM-avlägsnande. De två huvudparametrar som beaktades var: GAC-typen (Norit 830 W och Filtrasorb 400) och uppehållstid (EBCT) på 6 minuter och 18 minuter. GAC Filtrasorb 400 visade bättre prestanda jämfört med Norit 830 W för båda EBCT. Detta tyder på att det större antalet mindre porer i det första har ett positivt inflytande i NOM-adsorptionen. Massan av DOC-borttaget är inte korrelerad med EBCT. Tre gånger högre EBCT tog inte bort tre gånger mer DOC. Över tiden (BV) försämras adsorptionen i mikroporerna. Efter att mikroporer blockerats är den längre diffusionstiden inte fördelaktig. Vid högsta avlägsnande av NOM rekommenderas GAC Filtrasorb 400 med 18 minuter EBCT.

Genombrott över tid jämfördes för olika analysmetoder: TOC, DOC och UV-absorbans, där liknande genombrottsprofiler indikerar att metoderna ger liknande resultat avseende NOM-adsorptionen på GAC. Användningen av ett kommersiellt flöde genom cell (S::CAN) för att mäta UV-absorbans presenterade stora fördelar: online mätningar, ingen gripptagning och möjlighet att uppskatta andra parametrar (TOC, DOC, SUVA, färg etc.) genom modelleringskorrelationer. Fluorescensspektroskopi visade sig vara värdefull för kvalitativ analys av karaktären av organisk

materia över tid (BV): Två organiska materialfraktioner observerades i detta arbete: humicliknande FDOM och proteinliknande FDOM. Denna analys bekräftar resultat från andra analysmetoder som används (TOC, DOC och UV-absorbans), och ger även information om biologiska nedbrytningseffekter. Dessa effekter påverkas antagligen av GAC-typen. En alternativ metod för regenerering föreslogs. En alkalisk lösning applicerades för att tvinga desorptionen av den organiska substansen från GAC-porerna: Extraktionsprocessen är potentiellt selektiv mot LMW-föreningar. Denna effekt ökar i GAC-bottenlagren. Regenerering under alkaliska förhållanden var inte lika effektiv som termisk regenerering. Men med tanke på nödsituationer som olyckshändelser och kostnadseffekten av den föreslagna lösningen kan detta vara ett alternativ.

Metylenblå (MB) användes som ett enda adsorbat för att studera: (1) dess avlägsnande före och efter en regenerering under alkaliska förhållanden experiment och (2) möjligheten att relatera MB upptagshastighet med mättnadstillståndet för GAC: Adsorptionen av MB efter regenerering förbättrades med cirka 30%. Regenerering fungerar huvudsakligen med LMW-typföreningar. Dessa föreningar och MB har liknande molekylvikt (<350 g mol<sup>-1</sup>). MB-upptagningshastighet vid kinetiska experiment kan styras av ytbeläggning och/eller porfyllning. GAC-typ och EBCT hade inte signifikanta effekter på adsorption av MB-kinetik. GAC är mycket relevant för avlägsnande av NOM och kemikalier. Att förstå dess funktion är extremt viktigt för att minska kostnaderna för GAC-filter. Alternativ kan föreslås för förlängning av kolets användningsgrad och livstid. Potentiella förbättringsförslag inkluderar kvantifiering av de olika NOM-fraktionerna genom kromatografisk analys (LC-OCD) för att undersöka organiskt materialavlägsnande av GAC över tiden. Av särskilt intresse är kvantifieringen av LMW-föreningar. Ytterligare analyser för att undersöka biologiska nedbrytningseffekter rekommenderas då bidrag för biologisk nedbrytning kan öka GAC:s livstid. Regenerering under alkaliska betingelser är en selektiv process. Det kan innebära förbättringar baserade på adsorberade NOM-fraktioner på GAC. Resultat som erhållits i detta arbete har god relevans för framtida förbättringar av GAC-filter på Görvälns vattenverk.

## Distribution

### **Emil d'Elia (2017). Test av egenskaper hos polyetenrör för kvalitetscertifiering i dricksvattensledningsnät.**

Varje år görs stora investeringar för att renovera och expandera dricksvattenledningsnätet. Det vanligaste rörmaterialet som används är högdensitetspolyeten, HDPE. Rören är klassificerade efter deras förmodade styrka efter 50 år men livslängden på nya HDPE-rör förutspås vara över 100 år.

Nordic Poly Mark är en kvalitetscertifiering som används för nya dricksvattenrör. Resultaten från tester gjorda i samband med certifieringen mellan 2000 och 2012 har granskats och dokumenterats. Information kring OIT, MFR, förlängning vid brott och längdutvidgning har undersökts och analyserats för att finna trender kring rörkvalitet och kopplingar mellan olika egenskaper hos rören.

Förändringar har observerats för flera egenskaper, mest anmärkningsvärt är förändringar rörande smältindex, melt mass-flow rate (MFR). Stora skillnader mellan olika PE80 rör noterades och kunde härledas till att dessa rör tillverkas av både medium- och högdensitets polyeten. Stora skillnader mellan olika rör kan vara problematiskt då det försämrar svetsegenskaperna. För PE100 rör så har MFR-värdena sjunkit och var under 2012 cirka 0,25g/10min. Rekommenderat värde för en stumsvets är mellan 0,1–0,3g/10min vilket kan göra allt för låga MFR-värden till ett problem (DVS Media GmbH, 2015; DVS, Technical Committee, Working group "Joining of Plastics", 1995). På grund av svårigheter med att svetsa rör med olika MFR-värden eller låga MFR värden rekommenderas att Nordic Poly Mark certifieringen också ska ställa krav på ett mista tillåtna MFR-värde.

Utöver granskningen av gjorda tester genomfördes också OIT-analyser på ett HDPE-dricksvattenrör som varit i bruk i nio år. Analysen gjordes för att styrka livstidsprognoser samt för att ytterligare kunna fördjupa och förstå åldringsegenskaperna hos åldrande dricksvattenrör.

Analysen visade att OIT-värdarna för rörets insida var 23% lägre än i rörets mitt. Om en linjär åtgång av antioxidanter antas kommer rörets antioxidanter i ytskiktet att vara förbrukade efter cirka 50 år

vilket överensstämmer bra med litteraturstudien och tidigare förväntningar. Efter 50 år förväntas antioxidanternas diffusionshastighet spela en stor roll för hur snabbt röret kommer oxidera och således också hur röret försvagas.

## Mikrobiella Ekosystemtjänster

### **Kristjan Pullerits (2016). Undersökning av flödescytometri som metod för snabb upptäckt av förändringar i mikrobiella samhällen i dricksvatten efter tvättning av långsamma sandfilter.**

Mikrobiell vattenkvalitet utvärderas ofta med heterotrofiska tallrikar (HPC) som inte är pålitliga och tidskrävande. Flödescytometri (FCM) med DNA-färgning med SYBR® Green I (SG) har föreslagits som ett lämpligt verktyg för att analysera bakteriesamhällen i dricksvatten. Denna studie undersökte det befintliga färgningsprotokollet och applicerade sedan detta protokoll för övervakning av långsiktig filterfunktion. Efter att ha testat det publicerade protokollet med olika färgningstemperaturer och -tider, befanns det vara en robust och pålitlig metod för FCM med 15 minuter färgningstid med inkubationstemperaturen 37 ° C. Protokollet användes med framgång för att undersöka: sjövattnets förorening i kranvatten; differentiera stillastående från flytande vatten; och diskriminera flaskvatten från kranvatten. Naturligt organiskt material kan interagera med SG, och huminsyra tillsatt till vattenprover släckte fluorescenssignalerna och påverkade bakterieantalet såväl som fingeravtryck. Två nya långsamfilter byggdes på vintern 2015. Ett filter innehöll helt ny sand (SSF-ny) och en innehöll ny sand och tvättad sand från äldre sandfilter (SSF-mix). Dessa jämfördes med ett gammalt etablerat långsamt sandfilter (SSF-est). Effekten på bakteriesamhällen och traditionella vattenkvalitetsparametrar på grund av tvättning av dessa tre långsamma sandfilter studerades med användning av FCM med bakteriell färgning, HPC, coliform och Escherichia coli data. Coliformer och E. coli-räkningar detekterades i det utgående vattnet från SSF-ny och SSF-blandning medan SSF-est avlägsnade koliformer och E. coli. SSF-est hade emellertid den minsta totala cellreduktionen när räkningarna i inkommande vatten jämfördes med det utgående vattnet, vilket tyder på att detta välfungerande långsamfilter kan välja vilka bakterier som är närvarande i det utgående vattnet. SSF-est hade också den mest stabila biofilmen, med fluorescerande fingeravtryck kvar som stabil under provtagningsperioden, samtidigt som mikrobialsamhällen skiftade mot fler celler med lågt nukleinsyrainnehåll (LNA) och totalt sett en minskad procentandel celler med hög nukleinsyra (HNA). Skiftet till fler LNA-bakterier i det utgående vattnet ses till viss del i SSF-mix men inte i SSF-ny. Alla sandfilter utsöndrade vattnet med mer procentuella intakta celler.

### **Janina Riechelmann (2016). Flödescytometri för utvärdering av biofilmer i dricksvatteninfrastruktur.**

Långsamfilter är biologiska vattenfilter som använder biofilm fäst vid sandpartiklar för att avlägsna oönskade föreningar. I denna studie studerades bakteriesamhällen i två olika vattenreningsverk med biologisk filtrering i Sverige genom att ta vattenprover på olika ställen i behandlingskedjan och analysera dem genom flödescytometri. En 200-faldig reduktion av det totala cellantalet (TCC) uppnåddes i Vombverket, Sverige, där råvattnet behandlas med användning av artificiell infiltrering medan hos Ringsjöverket i Sverige detekterades en 10-faldig reduktion. Vid denna anläggning hade långsamma sandbehandlingssteget den högsta påverkan på det mikrobiella samhället i vattnet, vilket förskjutit det mikrobiella samfundet efter långsamfiltrering för att inkludera färre celler med hög nukleinsyrainnehåll (HNA) än lågt (LNA) -innehåll.

Med tanke på effekterna av dessa filter på vattnets mikrobiella innehåll övervakades mognad av biofilmer i fem utvalda långa sandfilter över fyra månader. Två etablerade filter, SSF-est och SSF-est2, var mycket stabila under studieperioden och visade samma fluorescensfingeravtryck. Sandsilter som nyligen rengjordes (SSF-rengjorda) eller nya konstruerade 2015 med ny (SSF-ny) och blandad (SSF-mix) sand visade emellertid en mindre stabil filtereffektivitet och fingeravtryck från avloppsvattnet skilde sig från de erhållna från de etablerade filtren. Ett säsongsskifte till fler LNA-innehållsceller under de varma månaderna detekterades i det inflytande vattnet.



För att analysera biofilmbakterier inom sandfilterbädden jämfördes virvelbildning, centrifugering och sonikering för extraktion av celler från sandfilterssandprover för flödescytometri. Samtliga metoder visade samma fluorescensfingeravtryck, vilket visar att samma mikrobiella samhälle avskiljades från sandpartiklarna, men metoderna skilde sig i effektiviteten när det gäller TCC, med  $135 \times 10^6$  celler / ml med det högsta antalet celler som extraherades från biofilmen. Fler studier och experiment måste göras för att utvärdera robustheten i dessa metoder.

### **Malaley Rahmani (2017). En undersökning av bakteriella samhällen i dricksvattens distributionsnät, med hjälp av flödescytometri (FCM).**

Vatten är den vanligaste och viktigaste kemiska föreningen som är nödvändig för livet på jorden. Under hela jordens existens har vattnet påverkat alla aspekter runt om i världen. 97,5% av planetens vattenresurser är saltvatten, och resterande vattenmängd är färskvatten (2,5%). Cirka två tredjedelar av färskvattenresurserna är huvudsakligen lokaliserade på nord- och sydpolen och på berg i form av glaciärer vilket gör dem otillgängliga för mänsklig användning. Således är mindre än 1% av planetens totala vattenmängd tillgänglig som potentiellt dricksvatten. Över en miljard människor har inte tillgång till säkert dricksvatten, och för närvarande påverkas över 40 länder runt om i världen av en absolut vattenbrist. I Europa och USA dricker en femtedel av befolkningen förorenat vatten.

För att producera säkert dricksvatten och för att skydda dricksvattnet från mikrobiella föroreningar använder vattenreningsverk flera olika metoder, inklusive fysikaliska, kemiska och biologiska hinder. Ringsjöverket som ger dricksvatten till Helsingborg, Eslöv och Lund, bland andra städer, använder källvatten från sjön Bolmen, medan Vombverket som levererar dricksvatten till Malmö och Svedala bland annat behandlar källvatten från sjön Vomb. Ringsjöverket och Vombverket använder sig av olika behandlingsprocesser, inklusive typen av klorering som är ett slutligt behandlingsprocesssteg som säkerställer avsaknaden av livskraftiga bakterieceller i det distribuerade dricksvattnet.

För att säkerställa att dricksvattnet är säkert att konsumera, undersöks den mikrobiologiska vattenkvaliteten med en metod som inbegriper odling av mikroorganismer kallad heterotrofisk plattantal (HPC). Dricksvatten innehåller höga koncentrationer av bakterier, de flesta av dessa är ofarliga för människors hälsa. Inte alla dricksvattenbakterier är odlingsbara och kan därför inte detekteras av HPC. Faktum är att endast en liten fraktion (mindre än 0,01%) av de totala bakteriecellerna i vatten kan detekteras av HPC. "Indikator"-organismer, t.ex. Escherichia coli och coliform är också ofta inriktade på att säkerställa den bakteriologiska säkerheten hos dricksvatten. Dessa odlingsbaserade metoder tar dagar innan resultaten är klara.

I denna avhandling användes en metod som kallas flödescytometri (FCM) i kombination med DNA-färgning. FCM är en odlingsoberoende, snabb och känslig metod som redan framgångsrikt används för analys av bakterier i dricksvatten eftersom bakteriens DNA färgas med ett fluorescerande färgämne som kommer att avge ljus och kan räknas. Vatten samlades i distributionssystemen Lund, Malmö och Eslöv och därefter jämfört med utgående vatten vid Ringsjöverket och Vombverket. Alla prover undersöktes med användning av FCM. Denna studie undersökte bakteriesammansättning i distributionssystem för dricksvatten och att undersöka potentiella effekter av distributionssystemen på dricksvattenkvaliteten. FCM-analysen visade att bakteriesammansättningen i viss utsträckning påverkas av dricksvattendistributionssystem. Bakterieantalet och procentandel av intakta bakterieceller höjdes i distributionssystemet i Lund medan en minskning av de senare parametrarna observerades i distributionsnätet i Malmö.

## Referenslista

### *Riskbedömning*

- 1) Anielka Salinas Niedbalski och Victor Viñas Cos (2015). Risk assessment in drinking water supplies of Sweden and Latvia: An overview within the Water Safety Plan framework. Master of Science Thesis 2015:109. (30 hp)
- 2) Debora Falk and Anna Ohlin, (2015). Chemical risk assessment in the potable water reclamation system in Beaufort West, South Africa - Human health impacts from identified contaminants of emerging concern. Master of Science Thesis 2015:131. (30 hp)
- 3) Nils-Petter Sköld, (2018). Risk Based Economic Evaluation of Water Supply Safety Measures. A Case Study at Kvarnagården Drinking Water Treatment Plant. Master's Thesis, Chalmers University of Technology.
- 4) Petter Bolander och Erik Martinsson, (2018). Risk-Based Cost-Benefit Analysis of Reliable Drinking Water Supply – A case study of Lake Kärnsjön, Munkedal. Master's Thesis, Chalmers University of Technology.

### *Vattenresurser - ytvatten*

- 5) Filippa Rydwik, (2016). Föroreningsspridning i Mälaren – modellering av föroreningars påverkan på ett vattenverks råvattenkvalitet. Uppsala universitet, UU. (30hp)
- 6) Johan Blomberg och Tobias Jonsson, (2016). Runoff management on bridges – A decision model for management selection. Master's Thesis 2016, Chalmers University of Technology.
- 7) Charles V. Löwenström och Saif H. Hussain (2017), Hydrological and microbial modelling using Soil and Water Assessment Tool - Lake Vomb and uMgeni catchment. Master's Thesis 2017, BOMX02-17-79, Chalmers University of Technology.
- 8) Svenja Hoffmeister (2017). Inter-Calibration of Optical Sensors and Implications for Water Quality Monitoring. Uppsala universitet, UU. (30hp)

### *Vattenresurser - Grundvatten*

- 9) Erik Garbe, (2015). Perfluorerade ämnen, dess källor och risker för dricksvattenkvalitet inom Göta älv och Mölndalsåns avrinningsområde. Kandidatuppsats, Institutionen för biologi och miljövetenskap, Göteborgs Universitet. (15 hp)

### *Beredningsteknik*

- 10) Karin Ljungberg, Hassan Murad, Josefin Nilsson, Sofia Näslund, Elin Olby och Olov Stenberg, (2015). Utmaningar för svensk dricksvattenberedning idag och i framtiden. Självständigt arbete i miljö- och vattenteknik. Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU. (15hp)
- 11) Josefine Klingberg, (2015). Nanofiltermembranexperiment på Ålands Vatten Ab:s vatten. Praktik vid Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU.
- 12) Maria Takman, (2015). Utvärdering av nano- och ultrafilter för avskiljning av cyanotoxiner i dricksvatten. Effekter av membrantyp och råvattenkvalitet. Uppsala universitet, UU. (30hp)
- 13) Amanda Eskebaek, (2016). Utvärdering av småskalig rening från läkemedelsrester i källsorterad urin. Uppsala universitet, UU. (30hp)
- 14) Maria Wålinder, (2016). Modeling of Perfluoroalkyl Substance Adsorption to an Ion Exchanger using PHREEQC. Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU. (15hp)
- 15) Theophile Hemion, (2017). Design and use of semi-automated online coagulation ultrafiltration process. Rapport de stage de fin d'étude. Université de Poitiers ENSI.

### *NOM-Karakterisering*

- 16) Julia Tirén Ström, (2016). Utvärdering av processen vid Hofors vattenverk med avseende på avskiljning av NOM Fällning och membranfilterteknik. Uppsala universitet, UU. (30hp)
- 17) Tyra Morell-Bonin, (2017). Prestationsanalys av granulerat aktivt kol (GAC) – en jämförelse mellan två etablerade GAC-typer. Uppsala universitet, UU. (30hp)

18) Luana de Brito Anton, (2017). Study of the function of granular activated carbon (GAC) in pilot scale. Stage de fin d'étude ENSCM Montpellier.

### *Distribution*

19) Emil d'Elia, (2017). *Characteristics of drinking water polyethylene pipes tested with the purpose of quality certification – Historical data, trends and their potential consequences*. Master's Thesis 2017, BOMX02-17-84, Chalmers University of Technology.

### *Mikrobiella Ekosystemtjänster*

20) Kristjan Pullerits, (2016). Exploration of flow cytometry for rapid detection of changes in the microbial communities of drinking water after washing of slow sand filters. Master Thesis, Lund University.

21) Janine Riechelmann, (2016). Flow cytometry for evaluation of drinking water infrastructure biofilms. Master thesis, Lund University, Sweden.

22) Malaley Rahmani, (2017). An exploration of bacterial communities in drinking water during distribution, using flow cytometry (FCM). Master thesis, Lund University, Sweden.

