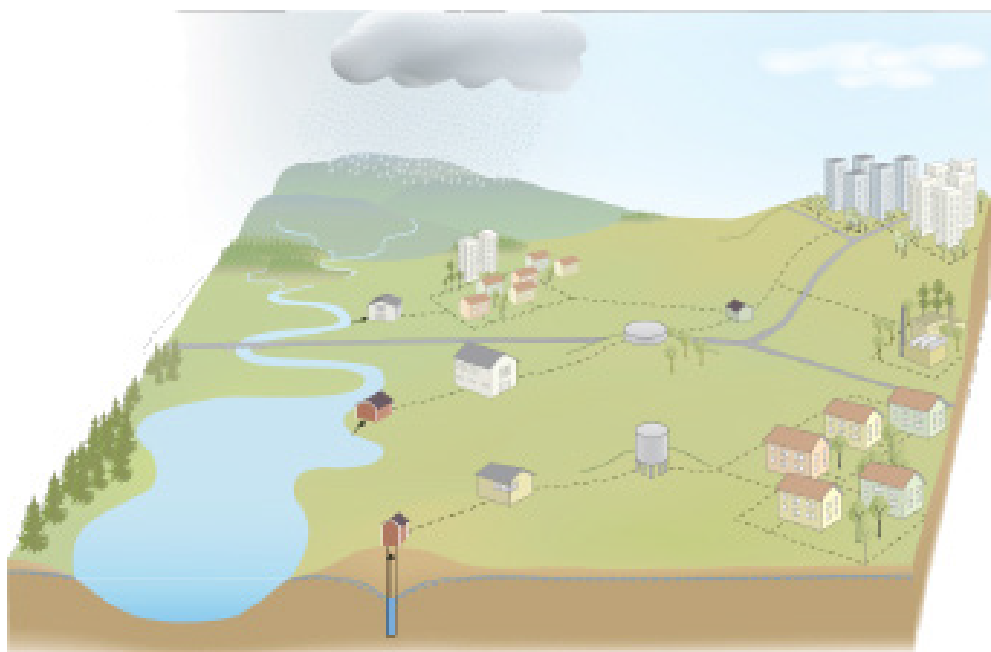


DRICKS – Forskningsprogrammet för dricksvatten 2012–2014

Thomas Pettersson



Svenskt Vatten Utveckling

Svenskt Vatten Utveckling (SVU) är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Rönnät & Klimat
Avlopp & Miljö
Management

SVU styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Anna Linusson, Ordförande	Svenskt Vatten
Daniel Hellström, Utvecklingsledare	Svenskt Vatten
Per Ericsson	Norrvatten
Tove Göthner	Sveriges Kommuner och Landsting
Tage Hägerman	Smedjebacken
Stefan Johansson	Skellefteå kommun
Kristina Laurell	Formas
Annika Malm	Kretslopp och vatten, Göteborgs Stad
Lisa Osterman	Örebro kommun
Kenneth M. Persson	Sydvatten AB
Carl-Olof Zetterman	SYVAB

Författaren är ensam ansvarig för rapportens innehåll, varför detta ej kan återopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

Svenskt Vatten Utveckling
Svenskt Vatten AB
Box 14057
167 14 Bromma
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se
Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	DRICKS – Forskningsprogrammet för dricksvatten 2012–2014
Title of the report:	DRICKS – R&D Program for drinking water 2012–2014
Författare:	Thomas Pettersson, Institutionen För Bygg- och miljöteknik, Chalmers tekniska högskola
Rapportnummer:	2016-02
Antal sidor:	40
Sammandrag:	Rapporten beskriver utfallet av DRICKS-programmet under perioden 2012–2014, där SLU och Lunds tekniska högskola nu är del av DRICKS. I rapporten presenteras resultat för flera större och särskilt intressanta projekt som vi arbetat med under programperioden, som exempelvis projekten RiBS och Förenklad GDP.
Abstract:	The report describes the outcome of the DRICKS program for the period 2012–2014, where SLU and Lund University now are part of DRICKS. The report presents results of several large and particularly interesting projects that we worked on during the program period, such as the projects RiBS and Simplified GDP.
Sökord:	DRICKS, projektprogram, dricksvatten, slutrapport
Keywords:	DRICKS, project program, drinking water, final report
Målgrupper:	Vattenproducenter, konsulter, forskare
Omslagsbild:	Från råvatten till tappkran. Illustration: Karin Holmgren, Institutionen för Bygg- och miljöteknik, Chalmers
Rapport:	Finns att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svenskvatten.se
Utgivningsår:	2016
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
Om projektet	
Projektnummer:	12-204
Projektets namn:	Projektprogram inom dricksvattenområdet för FoU inom dricksvattenområdet i Sverige – från råvatten till tappkran – DRICKS 2012–2014
Projektets finansiering:	Svenskt Vatten Utveckling

Förord

Forskningsprogrammet för dricksvatten – DRICKS – är en centrumbildning vid Chalmers och bildades 2003 i samband med Svenskt Vatten Utvecklings satsning på ett ramprogram inom dricksvattenforskningen, vilket även stått modell för ytterligare tre SVU-finansierade VA-kluster. Med denna rapport avslutar DRICKS sin tredje programperiod, vilken haft det övergripande syftet att ”utveckla och sprida tillämpad kunskap kring dricksvatten genom att i samverkan lösa aktuella och långsiktiga utmaningar i en inspirerande miljö som präglas av hög vetenskaplighet tillsammans med branschen – från råvatten till tappkran”.

För att klara de framtida utmaningarna samverkar vi med samtliga intressenter inom vattentjänstbranschen och arbetar efter devisen ”Säkert dricksvatten tillsammans”. För att nå detta syfte har DRICKS bestått av ett tjugotal forskare, främst vid Chalmers men också vid Göteborgs universitet, samt flera andra viktiga personer som har en koppling till andra lärosäten och myndigheter under denna period. Under 2014 har vi också fördjupat samarbetet med Statens lantbruksuniversitet (SLU) i Uppsala och Lunds tekniska högskola, vilka båda från och med 2015 blir fullvärdiga universitetsmedlemmar i DRICKS. Under denna period har vi ökat antalet medlemsorganisationer till sex vattenproducenter som vi har ett fördjupat samarbete med.

I föreliggande rapport summerar vi de aktiviteter som genomförts inom DRICKS under perioden 2012–2014, där pågående och under perioden avslutade doktorandprojekt ges en betydande plats men där även andra projekt och aktiviteter såsom seminarier och möten redogörs för. Rapporten avslutas med en översiktlig ekonomisk summering av genomförda aktiviteter.

Thomas Pettersson
Centrumföreståndare/klusterledare
DRICKS

Innehåll

Förord.....	3
Sammanfattning.....	6
Summary.....	7
1 Bakgrund.....	8
2 Projektprogrammet DRICKS genomförande.....	9
2.1 Forskningsledare och forskarstuderande.....	9
2.2 Användningen av Svensk Vattens medel.....	9
3 Forskningsresultat.....	10
3.1 Pågående doktorandprojekt.....	10
3.2 Riskbedömning.....	10
3.3 Råvatten – ytvattentäkter.....	13
3.4 Råvatten – grundvattentäkter.....	15
3.5 Beredning.....	17
3.6 Distribution.....	20
3.7 Konsumentperspektiv.....	22
4 Resultatspridning.....	23
4.1 DRICKS-seminarier.....	23
4.2 Vetenskaplig publicering, konferenser och möten.....	23
4.3 DRICKS hemsida.....	24
5 Undervisning kopplat till DRICKS.....	26
5.1 Kursutveckling i civilingenjörsprogrammet.....	26
5.2 Examensarbeten.....	27
6 Slutsatser och framtida forskning.....	28
7 Referenser.....	30
7.1 Vetenskapliga publikationer.....	30
7.2 Konferensartiklar.....	31
7.3 Doktorsavhandlingar.....	32
7.4 Licentiatuppsatser.....	32
7.5 Rapporter.....	33
7.6 Populärvetenskapliga artiklar.....	33
7.7 Examensarbeten.....	33

Sammanfattning

Rapporten beskriver utfallet av DRICKS-programmet under perioden 2012–2014. DRICKS inledde 2014 ett fördjupat samarbete med Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) och Lunds tekniska högskola som nu ingår som en integrerad del i DRICKS. Under perioden har vi anordnat Nationell dricksvattenkonferens vid Chalmers (2013), samt en workshop om drift av UV-ljus i vattenverk där utbyte av erfarenheter kring UV-desinfektion stod i fokus. Exempel på större och/eller särskilt intressanta projekt som vi arbetat med under perioden presenteras i denna rapport.

I ett SIDA-projekt har ökad leveranssäkerhet i dricksvattenförsörjning i Botswana studerats där en metod att lagra ytvatten i grundvattenmagasin har utvecklats, vilken också har bäring på svenska behov. Under 2014 påbörjade DRICKS arbetet med det SVU finansierade projektet *Riskbaserat beslutsstöd för säkert dricksvatten* (RiBS), där bl.a. modellering av avrinningsområden samt riskbedömningar och kostnads-nyttoanalyser utvecklas för att generera användbart beslutsstöd för vattenproducenter. Hydrodynamisk modellering har genomförts för att kunna beräkna den mikrobiella vattenkvaliteten i råvattentäcker. Ofta är patogenhalterna i vattentäcker för låga för att kunna detekteras i vattenanalyser och där kan modellen beräkna låga halter som i kombination med kvantitativ mikrobiell riskanalys (MRA) kan användas för att bättre bedöma hälsorisker för dricksvattenkonsumenter.

En förenklad GDP (God desinfektionspraxis) för bedömning av mikrobiologisk barriärverkan har utvecklats. Den passar både grund- och ytvattenverk och är tillräckligt enkel för att mindre kommuner och kommuner med många små vattenverk skall kunna genomföra den. Vidare har ett par olika projekt startats med fokus på att tolka fluorescens från organiskt material för att upptäcka förändringar i vattenkvaliteten, både råvatten och mellan processtegen i vattenverket. Projekten fokuserar främst på att utvärdera desinfektionseffektivitet hos UV samt effektiviteten av kemisk fällning under ansträngda förhållanden vid kallt vatten, högt flöde, hög humushalt mm.

DRICKS har tillsammans med Göteborgs och Umeås universitet inom projektet Tidvatten undersökt om det finns ökad frekvens av kontakter med Sjukvårdsrådgivningen, 1177, för symtom av diarré, kräkningar eller buksmärtor, vid tillfällen då det finns försämrad vattenkvalitet på grund av störningar vid vattenverken och/eller distributionsnätet i Göteborg. Resultaten indikerar att mag-tarm symptom på grund av störningar i vattenverk eller distributionsnätet är sällsynta.

Summary

The report describes the outcome of the drinking-program in the period 2012–2014. DRICKS has initiated 2014 enhanced co-operation with the Swedish University of Agricultural Sciences (SLU) and the Lund's University of Technology which now forms an integrated part of DRICKS. During the period we also have organized a National Drinking Water Conference at Chalmers University of Technology in Gothenburg (2013), as well as a workshop on the operation of UV-lights in waterworks where the exchange of experiences in UV disinfection was in focus. Examples of large and/or especially interesting projects that we worked on during the period are presented in this report.

In a SIDA project improved reliability of supply in the drinking water supply in Botswana has been studied and a method to store surface water in aquifers has been developed, which also has an implication on Swedish needs. In 2014 DRICKS began to work with the SVU-funded project Risk-based decision support for safe drinking water (RiBS), where modelling of surface water sources, as well as risk assessment and cost-benefit analyzes been developed to generate useful decision support for water producers. Hydrodynamic modelling has been carried out in order to estimate the microbial water quality of raw water. Often pathogen levels in the watersheds are too low to be detected in water analyzes and where the model can calculate the low levels which combined with quantitative microbial risk assessment (QMRA) can be used to better assess the health risks of drinking water consumers.

A simplified GDP (Good disinfection practices) for assessing microbiological barrier effect has been developed. The method is suitable for both surface and groundwater works and is simple enough that smaller municipalities and municipalities with many small water utilities to implement it. Furthermore, a couple of different projects started with a focus on interpreting fluorescence from organic material to detect changes in water quality, both in raw water and between the process steps in the water treatment plant. The projects mainly focus on evaluating the disinfection efficiency of UV and the effectiveness of chemical precipitation under strained conditions in cold water, high flow, high humus content mm.

DRICKS together with Gothenburg and Umeå University within the project Tidvatten have investigated whether there is an increased frequency of contacts with Health Call Centre (Sjukvårdsupplysningen), 1177, for the symptoms of diarrhea, vomiting or abdominal pain, at times when there is deterioration in water quality due to disruption of water treatment plants, and/or in the distribution system in Gothenburg. The results indicate that gastrointestinal symptoms due to disruptions in water supply or distribution network are rare.

1 Bakgrund

Svensk dricksvattenforskning lyckades under 1990-talet och början av 2000-talet betydligt sämre med att erhålla resurser för forskning och utveckling (FoU) vilket innebar att forskningsverksamheten vid landets högskolor i allmänhet, och vid Chalmers i synnerhet, i princip upphörde. Chalmers beslutade 2002 att satsa på en nystart av den historiskt framgångsrika dricksvattenforskningen genom en ansökan 2003 om ett större grundanslag från Svenskt Vatten. Den femåriga ansökan beviljades och ett långsiktigt ramprogram inom dricksvattenforskning vid Chalmers inleddes. Forskningsprogrammet DRICKS bildades vid Chalmers och första perioden omfattade åren 2003–2008, och sedan dess har programmet förlängts under perioderna 2009–2011 och den senaste perioden 2012–2014. Avsikten med DRICKS har varit att skapa kontinuitet och generera ny kunskap och nya verktyg för branschen genom doktorandprojekt i samarbete med främst svenska dricksvattenproducenter. I DRICKS-programmet ingår även satsningar på seminarier och förbättrad utbildning av vatteningenjörer för att underlätta branschens rekrytering, vilket är nödvändigt för att klara av väntade pensionsavgångar.

2 Projektprogrammet DRICKS genomförande

I detta avsnitt beskrivs hur DRICKS genomförts och vilka finansörer som bidragit med finansiering och hur dricksvattenområdet delats in i delområden.

2.1 Forskningsledare och forskarstuderande

Under innevarande programperiod har flera forskare och forskningsledare varit aktiva inom DRICKS, se Tabell 2-1. Vi har arbetat aktivt inom samtliga delområden från källa till tappkran.

Föreståndare för DRICKS är Thomas Pettersson, och vice föreståndare är Andreas Lindhe.

Tabell 2-1 DRICKS indelning i fem delområden samt ansvariga forskningsledare och forskarstuderande

Delområde	Forskningsansvarig	Forskare och forskarstuderande	Externa medverkande
Riskbedömning	Lars Rosén	Andreas Lindhe Viktor Johansson Tommy Norberg	Tore Söderqvist (Enveco Miljöekonomi) Kaisa Sörén (SVA)
Råvattenskydd - Ytvatten	Thomas Pettersson	Ekaterina Sokolova Viktor Johansson	Johan Åström (Tyréns), Per-Eric Lindgren (LiU)
- Grundvatten	Lars Rosén (2012) Lars-Ove Lång (2013–2014)	Lars-Ove Lång, Andreas Lindhe, Lars Rosén	Per-Olof Johansson (Artesia Grundvattenkonsult)
Beredningsteknik	Olof Bergstedt	Mia Bondelind Kate Murphy Nashita Moona Mohanna Heibati (2014)	
Distribution	Thomas Pettersson (2012) Annika Malm tf. (2013–2014)	Annika Malm Thomas Pettersson	Jonas Toljander (SLV), Melle Säve-Söderbergh (SLV) Lars Barregård (GU)
Konsumentperspektiv	Greg Morrison (2012) Mia Bondelind (2013–2014)	Mia Bondelind, Niels Markwa (proj.ass.) Mikael Mangold (2012)	Jonas Toljander (SLV), Magnus Simonsson (SLV)

2.2 Användningen av Svensk Vattens medel

Under innevarande treårsperiod 2012–2014 har Svenskt Vatten Utveckling (SVU) finansierat DRICKS-programmet med 4,1 miljoner SEK där kostnaderna fördelats på personalkostnader (2,3 miljoner SEK), direkta kostnader (0,51 miljoner SEK, resor, utrustning, analyser mm.) samt OH-kostnader (1,2 miljoner SEK, indirekta kostnader för administration, lokal, IT och annan service vid Chalmers) vilka motsvarar 30 % av totalkostnaderna. SVUs satsade medel på DRICKS-programmet växlades upp till runt 17,8 miljoner SEK, genom ytterligare beviljade anslag från forskningsråd (1,2 MSEK), kommuner (6,8 MSEK), statliga myndigheter och institut (2,0 MSEK) och EU (1,6 MSEK) samt Chalmers (1,2 MSEK) och övriga SVU-projekt (0,9 MSEK), vilket ger mer än fyra (4,3) gångers utväxling på satsade medel.

3 Forskningsresultat

Här beskrivs de forskningsresultat som delprojekten inom DRICKS har producerat under 2012–2014 och hur det fortsatta arbetet ser ut, ur ett branschperspektiv.

3.1 Pågående doktorandprojekt

Resultaten från doktorandprojekt och övriga kortare projekt redovisas under respektive delområde i detta kapitel (mer detaljer om projekten finns även på DRICKS hemsida, www.dricks.chalmers.se, under Projekt).

3.2 Riskbedömning

Inom delområdet riskbedömning ingår projekt som på olika sätt berör verktyg och metoder för att identifiera och analysera risker samt utvärdera åtgärder i syfte att ge användbart beslutsstöd. Detta delområde är på olika sätt kopplat till övriga delområden eftersom hela försörjningskedjan, från råvatten till tappkran, måste beaktas för att en effektiv riskhantering skall uppnås. Av denna anledning kan flera projekt ses som del av mer än ett delområde. Under perioden 2012–2014 genomfördes bland annat projekt som varit gemensamma för delområdena riskbedömning samt råvatten – grundvatten. Av denna anledning återfinns beskrivningar av arbeten kopplade till både risk och grundvattentäkter såväl nedan som i avsnitt 3.4.

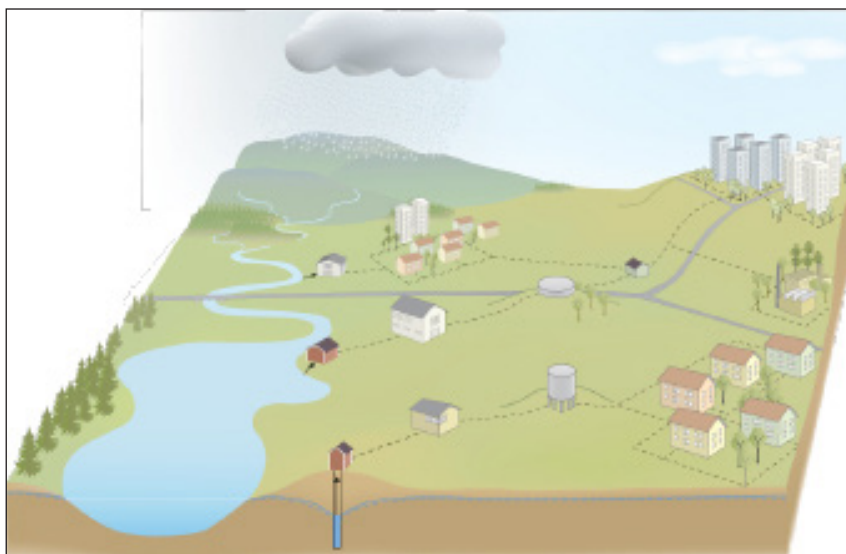
Under 2012 genomfördes delar av projektet *Regional risk- och sårbarhetsanalys för dricksvattenförsörjning*. DRICKS ansvarade för genomförandet av projektet i samråd med Livsmedelsverket och finansieringen kom från Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). Projektets övergripande syfte var att visa hur risker och sårbarheter kan analyseras för dricksvattenförsörjning på en regional nivå i syfte att ge beslutsstöd för prioritering av åtgärder. Dricksvattenförsörjningen i en kommun kan på olika sätt vara beroende av dricksvattenförsörjningen i en eller flera andra kommuner (Figur 3-1). Det kan t.ex. handla om att samma råvattentäkt utnyttjas av flera kommuner, att delar av vattenbehovet täcks genom att vatten köps från en grannkommun eller att det finns sammankopplingar som är tänkta att fungera som en reserv i de fall det uppstår problem i det egna försörjningssystemet. En viktig del av projektet var att studera hur för- och nackdelar med att koppla samman olika kommuners system kan analyseras. För att kunna beakta denna typ av beroenden krävs ett regionalt perspektiv då risker och sårbarheter analyseras.

En fallstudie genomfördes i projektet med de 13 kommuner som ingår i Göteborgsregionens kommunalförbund. De hälsomässiga riskerna beaktades genom att analysera systemens barriärer med hjälp av metodiken God Desinfektionspraxis.¹ För att analysera leveranssäkerheten, d.v.s. avbrottris-

¹ Ødegaard, H., Østerhus, S. & Melin, E. (2009a). Veiledning til bestemmelse av god desinfektionspraxis, 170 - 2009, Norsk Vann, Hamar.

ken, utnyttjades den på Chalmers sedan tidigare utvecklade felträdsmetodiken.² Resultaten visar hur en regional analys kan användas för att visa på de svagheter som finns men också vilken effekt beslutade, föreslagna eller potentiella åtgärder får på risken i såväl en enskild kommun som regionen som helhet. Det regionala angreppssättet gör det möjligt att visa hur åtgärder i en kommun kan ge positiva effekter även i fler andra kommuner.

Resultaten från projektet har använts i den regionala vattenförsörjningsplan som tagits fram för de 13 fallstudiekommunerna.³ Den samlade bild som resultaten gav av situationen i de olika kommunerna gav incitament till förbättring för att möjliggöra en säker regional samverkan. Resultatet från projektet presenterades också vid den Nordiska Dricksvattenkonferensen i Stockholm (Lindhe et al, 2012) och vid konferensen *World Congress on Risk 2012 – Risk and Development in a Changing World* som arrangerades av The Society for Risk Analysis.



Figur 1-1 Schematisk illustration av tre dricksvattensystem där två är baserade på ytvatten och ett på grundvatten. Mellan de två övre finns en sammankoppling som möjliggör överföring av vatten mellan kommunerna.

Under 2012–2014 genomfördes projektet *Artificial Groundwater Recharge In Botswana – A pre-feasibility study and capacity building*. Projektet finansierades uteslutande av Sida och handlade om att undersöka om leveranssäkerheten i dricksvattenförsörjningen kan ökas genom att utnyttja konstgjord infiltration för att lagra vatten i grundvattenmagasin. I de sydöstra delarna av Botswana, där majoriteten av befolkningen bor, är dricksvattenförsörjningen i stor utsträckning baserad på ytvatten från dammar. Stora mängder vatten avdunstar dock från dammarna (upp till 70 % av det uppsamlade vattnet) och det kan uppstå torrperioder där dammarna torrläggs. Vattenbehovet förväntas också att öka, vilket medför ytterligare utmaningar. Syf-

² Lindhe, A. (2010). Risk Assessment and Decision Support for Managing Drinking Water Systems, Doktorsavhandling nr. 3119, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

³ Göteborgsregionens kommunalförbund (2014). Vattenförsörjningsplan för Göteborgsregionen, www.grkom.se/download/18.351453e1148ec696bc576480/1424273145348/RVFP_GR_huvudrapport_15-09-2014_tryck.pdf

tet med DRICKS arbete var att bygga en modell för att kunna simulera tillförlitligheten i både nuvarande system och då olika åtgärder genomförs. Modellen kan beskrivas som en dynamisk vattenbalansmodell som tar hänsyn till osäkerheter och resultaten visar på olika sätt hur ofta det uppstår vattenbrist i olika orter och hur omfattande underskotten förväntas vara. I modellen ingår en stor uppsättning komponenter som bland annat beskriver infiltration- och uttagsmöjligheter för de aktuella grundvattenmagasinen, kapaciteten för ytvattendammarna, läckage och vattenförluster i vattenverken, vattenbehovet för olika orter med mera. Det är möjligt att analyser och identifiera begränsande faktorer, t.ex. om det är bristen på råvatten, reningskapaciteten eller pumpkapaciteten som begränsar och orsakar ett underskott på vatten.

Syftet med att utnyttja konstgjord infiltration är bl.a. att minska avdunstningsförlusterna och genom att injektera renat vatten i grundvattenmagasinen skapa reserver som kan utnyttjas vis situationer då dammarna är torrlagda. Projektet genomfördes av DRICKS tillsammans med Per-Olof Johansson (Artesia Grundvattenkonsult) i samarbete med Department of Water Affairs (DWA) samt Water Utilities Corporation (WUC) i Botswana. Arbetet påbörjades under hösten 2012, under 2013 genomfördes det huvudsakliga arbetet men slutredovisning skedde i början av 2014 då projektet avslutades.⁴ Arbetet har inneburit att DRICKS-gruppen utvecklat förmågan att genomföra avancerad modellering av risker för avbrott i vattenleveranser där dynamiska (tidsberoende) aspekter i försörjningssystemet hanteras mera ingående än i tidigare modeller DRICKS-gruppen arbetat med. Detta har gett viktig kunskap för pågående modellering av risker för svensk VA-bransch inom andra DRICKS-projekt. Metodiken har stor bäring på svenska behov och efter önskemål från Göteborgs Stad finns planer på ytterligare utveckling och tillämpning som kombinerar den nya tekniken med tidigare arbeten med leveranssäkerhetsanalys baserat på felträdsteknik. Syftet är att ta fram en modell som bl.a. ger möjlighet att modellera och analysera dricksvattensystemet för att se när och varför leveransavbrott uppstår, vilka flaskhalsar m.m. finns.

DRICKS har under perioden varit engagerade i det MSB-finansierade projektet *Vatten som smittkälla till djur och människor*, vilket drevs av Svenska Veterinärmedicinska Anstalten (SVA) i samarbete med Smittskyddsinstitutet, Livsmedelsverket, Havs- och vattenmyndigheten (HaV) och DRICKS. Projektets mål var att förstärka förutsättningarna för ett effektivt förebyggande arbete och insatser mot vattenburna smittor till djur och människor. Den grundläggande idén var att genom brobyggande skapa ett informellt nätverk som tidigare. DRICKS medverkan har lett till ett utökat samarbete med bland annat SVA, till exempel i ansökningar som genererat nya projekt.

Under 2014 påbörjade DRICKS arbetet med det av SVU finansierade projektet *Riskbaserat beslutssöd för säkert dricksvatten* (RiBS). Kopplat till detta projekt anställdes under 2014 en doktorand (Viktor Johansson) som skall arbeta med både modellering av avrinningsområden och att kombi-

⁴ Lindhe, A, Rosén, L, Johansson, P-O & Norberg, T (2014). Increase of Water Supply Safety by Managed Aquifer Recharge along the North-South Carrier – A pre-feasibility study, Report 2014:2, Chalmers University of Technology.

nera riskbedömningar och kostnads-nyttoanalyser för att generera användbart beslutsstöd till vattenproducenter. Under projektets inledning fokuserades arbetet på att identifiera fallstudieområden (Mälaren och Vombsjön), att kartlägga kritiska beslutssituationer där kostnads-nyttoanalyser kan vara ett stöd, att identifiera potentiella källor för spridning av mikrobiologiska föroreningar i fallstudieområdena, att starta upp hydrologiska och hydrodynamiska modelleringar i fallstudieområdena samt att påbörja mätningar och analyser i berednings- och distributionsdelarna. RiBS-projektet presenterades med poster vid Nordiska Dricksvattenkonferensen i Stockholm.

DRICKS har i samarbete med Enveco Miljöekonomi AB, och i samverkan med Sveriges Geologiska Undersökning, bistått den statliga Dricksvattenutredningen (L 2013:02) i arbetet med att ta fram information om nyttan av en mer hållbar och tryggare dricksvattenförsörjning, dvs. det ekonomiska värdet av säkrare tillgång till dricksvatten av god kvalitet. Under 2014 genomfördes en inledande studie som sedan fortsatt inom ramen för Dricksvattenutredningen. Arbetet har resulterat i underlag till den samhälls-ekonomiska analys- och kostnadseffektivitetsbedömning som till exempel dricksvattenutredningen måste göra för de åtgärder som föreslås.

Under 2013–2014 har Svenskt Vatten lämnat över ansvaret och arbetet med att utveckla och förvalta det svenska MRA-verktyget till DRICKS. För att säkerställa långsiktig utveckling och förvaltning har Svenskt Vatten bitt DRICKS ta över ansvaret för MRA-modell som tagits fram i tidigare SVU-projekt (se SVU Rapport 2009-05). Arbetet inleddes 2013 med möten och diskussioner kring hur arbetet med att utveckla verktyget skulle genomföras för att få så stort genomslag bland dricksvattenproducenter som möjligt. Detta utmynnade i att en användargrupp bildades och träffades två gånger under 2014 för att planera hur utvecklingsarbetet skall genomföras samt skriva en ansökan för att finansiera arbetet. En ansökan beviljades av SVU i december 2014 där Fas 1 i utvecklingsarbetet med att uppgradera och förnya MRA-verktyget skall genomföras under 2015.

De genomförda projekten har genererat användbara resultat som kommit branschen till nytta på olika sätt. Resultatet från projektet om regional risk- och sårbarhetsanalys användes som direkt underlag till den regionala vattenförsörjningsplan som gemensamt togs fram av fallstudiekommunerna och visar på hur resultaten kan ge incitament till regional samverkan för säkrare dricksvattenförsörjning. Kopplat till projektet i Botswana har ny kunskap och erfarenhet skapats som lett till förslag på nya tillämpningar och vidareutveckling med tillämpning i Sverige. Det förs också diskussioner för att få till en förlängning med ytterligare modellutveckling, kunskapsöverföring och pilotanläggningar i Botswana. RiBS-projektet fortsätter till och med år 2017. Vidare fortsätter samarbetet med den statliga Dricksvattenutredningen och de genomförda projekten har på olika sätt genererat nya projekt i samverkan med tidigare och nya samarbetspartner.

3.3 Råvatten – ytvattentäkter

Under år 2012–2014 genomfördes arbete med att studera spridningen av mikrobiella föroreningar i ytvattentäkter inom Ekaterina Sokolovas dok-

torandprojekt. Den hydrodynamiska modellen användes för att simulera hur fekala indikatorer och patogener sprids i råvattentäkter, genom simuleringar av utsläpp från olika föroreningskällor i avrinningsområdet. Råvattentäkterna Rådasjön (Mölnaldals huvudvattentäkt) och Göta älv (Göteborgs huvudvattentäkt) studerades inom ett SVU-projekt samt inom EU-projektet VISK (virus i vatten – skandinavisk kunskapsbank, www.visk.nu). Modellresultaten för Göta älv tillsammans med insamlade övervakningsdata inom VISK-projektet användes för att utföra mikrobiell riskanalys (MRA) av vattenverket i Trollhättan.

Från vårt arbete med dessa fallstudier kunde vi dra några generella slutsatser angående användbarheten av hydrodynamisk modellering i dricksvattensammanhang. Med hjälp av hydrodynamisk modellering kan man beskriva den mikrobiella vattenkvaliteten på valfria positioner i råvattentäkter. Modellering kan användas för att förutsäga mikrobiella halter vid vattenintag under olika förhållanden. Dessutom kan modellering ge information om den relativa betydelsen av olika föroreningskällor för vattenkvalitet i ytvattentäkter som påverkas av flera föroreningskällor. Man kan även simulera effekterna av kortsiktiga utsläppshändelser som kan orsaka hälsorisker, och som inte fångas upp av övervakning av vattenkvaliteten. Genom modellering kan man uppskatta hur lång tid det tar innan en förorening når vattenintaget efter en utsläppshändelse. Modellresultaten i kombination med mikrobiell riskanalys kan användas för att bedöma hälsorisker för dricksvattenkonsumenter. På det sättet ger modellering värdefullt beslutsunderlag för olika riskreducerande åtgärder, t.ex. åtgärder vid föroreningskällor i avrinningsområdet, temporär stängning av vattenintaget för att undvika det mest förorenade råvattnet efter en utsläppshändelse och proaktiva åtgärder för att säkerställa optimal drift av vattenbehandlingen.

Med hjälp av resultat från modelleringsarbetet kunde vi också dra några slutsatser angående de studerade råvattentäkterna. Halterna av fekala indikatorer och patogener i Rådasjön och Göta älv uppskattades på flera punkter. Modellresultaten visade att den mikrobiella vattenkvaliteten i dessa råvattentäkter är varierande och händelsestyrd. Både för Rådasjön och Göta älv var de humana källor de viktigaste föroreningskällorna. För Rådasjön var enskilda avlopp som ligger nära vattenintaget en viktig föroreningskälla. Dessutom kunde vi demonstrera att det största tillflödet till sjön – Mölnaldalsån – också var den största källan till mikrobiell förorening på grund av olika avloppsvattenutsläpp från dess stora avrinningsområde. Resultat från vårt arbete med Rådasjön låg till grund för några riskreducerande åtgärder; till exempel beslutet att koppla bort enskilda avlopp som ligger nära vattenintaget, etableringen av en rapporteringsrutin med grannkommunen angående akuta utsläpp från avloppsnätet. Frekvensen för övervakning av mikrobiella halter i Mölnaldalsån har ökat avsevärt. För Göta älv har vi framförallt studerat påverkan av utsläpp från avloppsreningsverk på vattenkvalitet. Resultat för Trollhättan visade att utsläpp av behandlat avloppsvatten från ett uppströmsliggande avloppsreningsverk var en viktig källa till norovirusbelastning vid vattenintaget. Åtgärder för att minska norovirushalter i det behandlade avloppsvattnet skulle kunna ge en effektiv minskning av norovirusbelastning till älven.

Under perioden 2012–2014 rapporterades resultaten av detta arbete med hydrodynamisk modellering i fyra vetenskapliga publikationer i internationella tidskrifter, och presenterades vid fyra internationella konferenser och vid en nationell dricksvattenkonferens. Dessutom genomfördes två examensarbeten inom detta ämne. Resultaten av hela doktorandprojektet sammanfattades i doktorsavhandlingen Sokolova (2013), se kapitel 7.3.

I dricksvattenutredningens delbetänkande påtalas vikten av ökad kunskap kring föroreningstransport i dricksvattentäkter.⁵ Under år 2013–2014 genomfördes en inledande studie med syftet att undersöka metodik för att beskriva storlek och dynamik i föroreningstransporten i Göta älv orsakad av fartygspassager vid intagspunkten för vattenverket (Lärjeholm). Projektet finansierades av Länsstyrelsen och Göta Älvs vattenvårdsförbund. Projektet inkluderade hydrodynamisk modellering för att studera fartygens påverkan på spridning av bottensediment och bundna föroreningar. Även analyser av föroreningsinnehåll i vattenprover och sammanställning av tidigare mätning av vattenhastighet i älven vid utvalda punkter har genomförts. Resultaten har presenterats i en kandidatuppsats och ett examensarbete.

Under 2014 påbörjades arbetet inom RiBS-projektet. Syftet med arbetspaket två som fokuserar på råvatten är att bedöma effekter av olika riskreducerande åtgärder inom avrinningsområdet på mikrobiell vattenkvalitet för att skapa underlag för kostnadsnyttoanalyser som ska genomföras inom arbetspaket ett. För att uppfylla målet används övervakning och modellering. Inom studien kombinerar vi hydrodynamisk modellering med hydrologisk modellering. Hydrologisk modellering används för att simulera föroreningstransport inom råvattentäktens avrinningsområde. Denna typ av modellering ger information om bidragen från de olika källorna (särskilt diffusa sådana) till förorening av råvattentäkten. Resultaten av detta arbetspaket blir (i) metoder för att bättre förstå påverkan av potentiella fekala föroreningskällor på mikrobiell sammansättning och förekomst i råvatten och (ii) underlag för riskbedömning och kostnadsnyttoanalys.

3.4 Råvatten – grundvattentäkter

Inom delområdet grundvatten bedrivs projekt som på olika sätt handlar om grundvatten, dess funktion och betydelse för dricksvattenförsörjningen men också i ett vidare perspektiv. Flera projekt har koppling till exempelvis delområdet riskbedömning och många projekt får ses som gemensamma mellan delområdena. Detta gäller speciellt perioden 2012–2014 då flera projekt med fokus på riskbedömningar av grundvattentäkter genomfördes.

Som del av DRICKS arbete med risker och grundvattenskydd startades under 2013 ett samarbete med Johan Åström på Tyréns kring utveckling av ett MRA-verktyg (mikrobiell riskanalys) för grundvattentäkter. Fokus i denna första fas av metodutveckling var på spridning av föroreningar genom jordlager. I fortsatt arbete avses att också studera mikrobiell förorening av brunnar genom inträngning av ytvatten. Arbetet finansierades med SVU-medel och genom bidrag från Tyréns stiftelse. Mikrobiell påverkan på

⁵ Dricksvattenutredningens delbetänkande 2015:51

grundvatten är en inriktning som kommer att utvecklas inom DRICKS. Från de sammanställningar som återfinns i litteraturen kan konstateras att en betydande del av såväl antalet vattenburna utbrott i Sverige som de faktiska sjukdomsfallen skett till följd av förorenat grundvatten. Virus är det smittämne som till följd av bl.a. sin storlek kan förväntas vara den kategori av smittämne som har bäst förmåga att tränga igenom olika jordlager. Det är dock viktigt att även beakta andra smittämnen. Ett flertal faktorer styr dock den avskiljning som kan uppnås i jordlagren och därmed också den resulterande risker för konsumenterna. Inträngning av ytligt avrinnande vatten till brunnar med dålig kvalitet måste också uppmärksammas i samband med kvalitetsproblem. Det finns således ett behov av ytterligare arbeten som belyser de mikrobiologiska riskerna kopplade till grundvattentäkter och tillhandahåller hjälpmedel för att bedöma och hantera dessa risker. Syftet med detta projekt var att (1) identifiera vilka typer av grundvattentäkter som är mest utsatta för mikrobiell påverkan och risk i Sverige, (2) översiktligt beskriva spridningskällor och förekomst av patogener och metoder för detta, (3) redogöra för olika angreppssätt att definiera reduktion av patogener i omättad och mättad zon och användbarheten av dessa för svenska förhållanden, (4) föreslå en modell för mikrobiell riskanalys där ovanstående information används i en kvantitativ beräkningsmodell, samt (5) implementera denna modell i tre olika fallstudier i Sverige. Den MRA-modell som utvecklats och tillämpats har byggts i samma plattform som den befintliga MRA-modellen för ytvattenverk, dvs. Analytica. Nu finns således en MRA-modell för grundvattentäkter framtagen och denna och övriga delar av projektet kommer att presenteras i en rapport som håller på att tas fram.

Kopplat till det ovan beskrivna projektet om MRA och grundvattentäkter beviljades DRICKS i samarbete med Tyréns och SGU medel från HaV för ett projekt med titeln *Verktyg för mikrobiell riskanalys (MRA) av små avloppsanläggningar nära dricksvattenbrunnar*. Lokaliseringen av små avlopp i närheten av dricksvattenbrunnar innebär en potentiell hälsorisk. För vattenburna sjukdomsutbrott kopplade till privata dricksvattenbrunnar bedöms den huvudsakliga smittkällan utgöras av närliggande små avloppsanläggningar. Som del av projektet utarbetades en MRA-modell för enskilda och mindre kommunala dricksvattenbrunnar exponerade för små avlopp, och ett fältförsök genomfördes där bakteriofager (bakterievirus) spårats för att undersöka spridningen av virus i mättad zon (grundvattenzon). Den utvecklade modellen är fritt tillgänglig via en internetlänk⁶ och finns beskriven i rapportform.⁷

DRICKS har tillsammans med Tyréns beviljats medel från HaV för ett nytt projekt där kunskap om den framtagna MRA-modellen skall spridas genom utbildningsseminarier för miljö- och hälsoinspektörer. Syftet är också att vidareutveckla modellen genom de tillämpningar som sker vid utbildningsseminarierna och den erfarenhetsåterföring som erhålls.

⁶ <https://www.analyticacloud.com/acp/ClientAs3/AcpFlex.aspx?inviteId=12&inviteCode=887535&subName=andreas%2Elindhe%40chalmers%2Ese>

⁷ Lindhe, A., Åström, J., Rosén, L. & Lång, L.-O. (2015). Verktyg för mikrobiell riskanalys (MRA) av små avloppsanläggningar nära dricksvattenbrunnar – Modellutveckling och fältförsök. Rapport 2015:9, Chalmers tekniska högskola.

En annan del av DRICKS arbete med grundvattenrelaterade frågor har varit fokuserat på det som kallas för ekosystemtjänster. Begreppet ekosystemtjänster och frågor kring vatten och dricksvatten har alltmer kommit i fokus. DRICKS har för avsikt att arbeta med dessa frågor brett i samhället. Trots det ökade intresset för ekosystemtjänster har emellertid endast begränsade insatser hittills gjorts vad gäller ekosystemtjänster från grundvatten i Sverige. Under 2013–2014 genomförde DRICKS i samarbete med SGU (finansiär) och Enveco Miljöekonomi AB projektet *Ekosystemtjänster och ekonomisk värdering av grundvatten ur resurs- och dricksvattensynpunkt*. Syftet var att på ett övergripande sätt beskriva vilka ekosystemtjänster som grundvattnet tillhandahåller samt hur dessa kan värderas ekonomiskt. Exempel på specifika frågeställningar i projektet är:

1. Vilka ekosystemtjänster från grundvattenresurser i Sverige kan förväntas vara de huvudsakliga?
2. Vilka metoder finns tillgängliga för att värdera grundvattnets ekosystemtjänster ekonomiskt?
3. Vilket arbete är viktigast att genomföra framöver för att synliggöra det ekonomiska värdet av ekosystemtjänster från grundvatten?

Projektet sammanfattar i vilken grad och hur grundvattnet beskrivits i metodstudier av ekosystemtjänster samt vilka som är de viktigaste tjänsterna som grundvattnet bidrar med. Lämpliga ekonomiska värderingsmetoder har beskrivits för de olika tjänsterna och visar på vilka möjligheter det finns att ekonomiskt värdera ett förändrat tillhandahållande av grundvattentjänster. Denna information kan vara till stor hjälp då exempelvis motstående intressen eller olika typer av skydd för grundvattnet diskuteras. Information om grundvattentjänster och dess värde kan även påverka planarbete och prioritering av åtgärder för att förbättra grundvattenförekomsternas status. Denna information kan också vara viktig då ekonomiska styrmedel diskuteras och eventuella beslut ska fattas. Två exempel på värdering av grundvattentjänster presenteras.

Som ett resultat av projektet föreslås begreppet *grundvattentjänster* som förväntas kunna bli ett bra begrepp att använda för att synliggöra grundvattnets tjänster mer specifikt inom det arbete med ekosystemtjänster som kan förväntas utvecklas i betydande takt framöver.⁸

3.5 Beredning

Vattenburna sjukdomsutbrott är den viktigaste hälsorisk för dricksvattenkonsumenter. Efter de två stora *Cryptosporidium*-utbrotten i Östersund och Skellefteå har många kommuner kompletterat sin beredning med UV-desinfektion som kan vara en god barriär mot parasitära protozoer. UV-desinfektion har dock nackdelen att det inte går att följa upp desinfektions-effektiviteten på ett direkt sätt och barriärverkan minskar snabbt om vattnet som behandlas får en lägre UV-transmission till exempel genom att halten

⁸ Söderqvist, T., Lindhe, A., Rosén & Kinell, G. (2014). Grundvattnets ekosystemtjänster och deras ekonomiska värde – en inledande kartläggning. SGU-rapport 2014:40, Sveriges geologiska undersökning.

av naturligt organiskt material ökar. Det finns vattenverk som upplevt ökad tillväxt av bakterier efter UV-desinfektion införts och en oro för att för att höga UV-doser ska öka luktproblemen i humusrika vatten. Liksom för olika typer av klorering och membranfiltrering är virus de svåraste smittoämnena att oskadliggöra för UV-desinfektion.

Det är en klen tröst för dricksvattenkonsumenter som blir sjuka av vatten att vattenverket i normalläget, som ofta är baserat på relativt få analyser, har tillräckliga barriärer. Många utbrott inträffar då halterna av smittämnen är ovanligt höga i råvattnet, då råvattnet försämrar den mikrobiologiska barriärverkan och/eller då beredningens funktion är nedsatt. För att bli medveten om riskerna i dessa situationer kan behövas fler och bättre riktade vattenanalyser, men även riskanalyser som tar upp scenarier som kan komma att hända även om de inte avspeglar sig i historiska analysdata. Östersund hade till exempel bättre barriärer mot bakterier och virus än många andra vattenverk och saknade inte barriär mot parasiten Giardia som orsakat det tidigare stora parasitutbrottet i Norden. Tidigare analyser hade inte påvisat Cryptosporidium och intagsdjupet var stort jämfört med många andra svenska vattenverk. Skellefteå hade huvuddelen av året god råvattenkvalitet representativ för det relativt opåverkade tillrinningsområdet till Skellefteälven. Vid risk för att underkyllt vatten skulle ge igenfrysning av ordinarie råvattenintag bytte man till reservintaget med lokal påverkan samtidigt som kallt vatten är betydligt svårare att rena. De flesta vattenverk drivs normalt med en produktion som ligger betydligt under dimensionerande kapacitet. Situationer med högt läckage i distributionsnätet, som ofta inträffar under perioder då råvattnet är kallt, kan dock leda till att betydligt mer vatten behöver produceras och erfarenheterna av hög produktion är då begränsade. Både avskiljnings- och desinfektionsprocesser fungerar sämre ju kallare vatten är och i kombination med bättre överlevnad hos smittämnen samt hög produktion är det svårt att upprätthålla tillräcklig barriärverkan.

Mikrobiologiska riskbedömningar behöver vara så lätt tillgängliga att de som ska hantera riskerna i varje läge kan ha god en uppfattning om barriärbehovet och den egna beredningens förmåga att möta detta behov. Tyvärr har de verktyg som tagits fram för den svenska vattentjänstbranschen av många upplevts som svårhanterliga.

De flesta svenska vattenverk har mycket begränsade barriärer mot lösta föroreningar. Algrelaterad lukt har kunnat hanteras relativt väl med kolfiltrering genom att biologisk aktivitet ger en reduktion utöver den kortvariga adsorptionen. Med ökande halter av organiskt material blir perioden med avskiljning genom adsorption allt kortare vilket gör att luktproblemen kan öka och den redan låga kemiska barriärverkan minskar. Det allvarigare, men betydligt ovanligare, problemet med algtoxiner kan också komma att öka och även för det kan lösningar som ger god adsorption när den behövs tillämpas.

En förenklad GDP för bedömning av mikrobiologisk barriärverkan har utvecklats. Den passar både grund- och ytvattenverk och är tillräckligt enkel för att även mindre kommuner och kommuner med många små vattenverk skall kunna genomföra den. Vi har också arbetat med jämförelser av barriärverkan med den fullständiga GDP-metoden i de 13 kommunerna i Göte-

borgsregionens kommunalförbund. DRICKS har medverkat i en större revidering av GDP-metoden som genomförts under perioden. Senaste beskedet från Norsk Vann till Svenskt Vatten var att den skulle publiceras augusti 2015. Examensarbeten har också genomförts med MRA-metoden som möjliggör en kvantitativ beräkning av risken och osäkerheter. Det examensarbete som tidigare gjorts med kvantitativ mikrobiologisk riskanalys av ett av världens mest avancerade vattenverk vidareutvecklades under året till konferensbidrag.

I samverkan med Göteborg Vatten och Göteborgs Universitet har desinfektion av virus studerats som en del i VISK-projektet. Användningen av naturligt förekommande fager i avloppsvatten har vidareutvecklats i ett SVU-projekt⁹ där också möjligheten att kontrollera kemisk desinfektions-effekt operativt med analys av viabla (infektiösa) celler visats. I samverkan med VIVAB jämfördes kostnader, miljöpåverkan och driftaspekter för olika membranalternativ med multikriterianalys och utgjorde del av beslutsunderlaget för deras processval. På önskemål av VIVAB togs också förslag fram för hur en reduktion av naturligt organiskt material skulle kunna uppnås med kolpåfyllningar och pilot pågick när VIVAB valde att avbryta för att kunna fokusera på sin pågående membranutbyggnad.

I en SVU-satsning har nyckeltal och uppgifter på anläggningsnivå tagits fram för implementering i databasen VASS. I "VASS Dricksvatten" samlas data och uppgifter in kring den egna verksamheten för områdena råvatten och beredning för varje enskilt vattenverk. Allt material omvandlas inte till regelrätta nyckeltal, utan utöver nyckeltalen lyfts andra förhållanden av betydelse fram, som exempelvis hur kvalitetsstörningar följs upp. Huvudsakligt fokus för VASS Dricksvatten ligger på ett säkert dricksvatten och lämpliga tal för att mäta exempelvis mikrobiologisk säkerhet har tagits fram. Målgruppen för den utvecklade databasen är dricksvattenproducenter och materialet kan användas för att underlätta ledning, styrning och beslut avseende dricksvattenproduktionen.

Inom VASS Dricksvatten har en modell för säkert dricksvatten utvecklats för att beskriva tillståndet för vattenberedningen i Sverige utifrån ett konsumentperspektiv. Det övergripande målet med modellen är att driva utvecklingen mot ett säkrare dricksvatten och att driva på arbetet med mikrobiologiska riskvärderingar. Genom väl definierade parametrar kan man med modellen mäta och värdera *en säker dricksvattenkvalitet*. Det är viktigt att notera att denna modell endast behandlar råvatten och beredning för ett distributionsområde. Flera av parametrarna som ingår i modellen används i Svenskt Vattens Hållbarhetsindex. Hållbarhetsindex är ett verktyg för att förstå och kunna kommunicera verksamhetens förmåga att leverera kort- och långsiktigt hållbara vattentjänster.

Under senare delen av perioden har DRICKS förstärkts med en seniorforskare och två doktorander inom beredningsområdet. Kathleen Murphy fokuserar på tolkningen av fluorescens från organiskt material för att upptäcka förändringar i vattenkvaliteten. Hon har initierat ett flertal open-source projekt som avser att förbättra modellering och tolkning av fluores-

⁹ Forsberg E., Verifiera desinfektionseffekten med naturligt förekommande mikroorganismer, Svenskt Vatten Utveckling rapport 2014-24

cens hos naturligt organiskt material.¹⁰ Huvuddelen av finansieringen för Kate Murphy kommer en forskarutlysning för lovande unga forskare som även finansierar doktoranden Masoumeh Heibati som har inlett sitt arbete inriktat på desinfektionseffektivitet hos framförallt UV. Den andra doktoranden Nashita Moona arbetar med utveckling av metoder för att utvärdera effektiviteten hos enskilda barriärer och kombinationer av processteg under ansträngda driftförhållanden. Doktoranderna är även involverade i några mindre projekt som initierats av deltagande vattenverk vid den uppskattade UV-workshopen i slutet av 2014.

Under kommande programperiod (2015–2017) kommer det fördjupade samarbetet med VAKA-gruppen att ge möjligheter att snabbare föra ut erfarenheter från händelser i dricksvattenberedningen och att sätta dem i sammanhang där kostnad/nytta-analys kan stärka beslutsunderlagen. Även det nya samarbetet med Uppsala och Lund ger en bred bas inom organiskt material och mikrobiologi för att hantera effekterna av mer organiskt material i beredningen och för att kunna förutse hur förändrad beredning kan ge kvalitetsstörningar i distributionssystemet genom förändrad biologi. Samarbete har också inletts med virusforskare vid Göteborgs Universitet för att värdera barriärverkan hos membranfiltrering och UV-desinfektion. Samverkan har också inletts med Linköpings Universitet och amerikanska forskare inriktade på desinfektionsbiprodukter.

3.6 Distribution

I detta avsnitt beskrivs det pågående doktorandprojektet inom Distribution där strategier för ekonomiskt och hälsomässigt säkert dricksvatten vid ledningsförnyelse studeras.

Rätt förnyelsetakt, av rätt ledningar, i befintligt ledningssystem är viktigt för att nå samhällsekonomisk effektivitet. Vilken förnyelsetakt och vilka förnyelsestrategier är lämpliga ur ett ekonomiskt perspektiv, samhällsekonomiskt och kommuners ekonomi på lång sikt, driftstörningsperspektiv som ledningsbrott och läckage och riskperspektiv, t.ex. hälsorisker?

Historiska data om förnyelsetakt på vattenledningsnäten ger en god skattning av de långsiktiga behoven av förnyelse framåt i tiden. Utifrån historiska data (anläggningsår och utbytesår) kan livslängdskurvor för ett ledningsnät tas fram. Med kunskap om den historiska utveckling som skett i det geografiska område som studeras kan en bedömning göras av hur förnyelsen historiskt påverkats inte bara av ledningars status utan även av om behoven förändrats i stadsomvandlingar, nybyggnation och liknande. Det innebär att man kan ta hänsyn till förnyelse på grund av annat än ledningsstatus när behoven framåt bedöms. Det är med andra ord av största vikt att dokumentera hur och när man gör förändringar i sitt ledningsnät, och även viktigt att dokumentera det man vet bakåt. Även om man inte har exakta anläggningsår och material inlagda i sin GIS-databas idag och det gamla nätet, kan ungefärliga data tas fram genom att studera stadsutveckling och

¹⁰ Murphy, K.R., Stedmon, C.A., Wenig, P., Bro R. (2014) OpenFluor – an online spectral library of auto fluorescence by organic compounds in the environment. *Analytical Methods*. 6(3): 658-61.

ritningsarkiv vilket ger en god start för att bedöma framtida behov (Malm et al, 2012).

Utläckage av dricksvatten är ett mått som kan användas för att skatta ledningsnätets status. Ur ett samhällsekonomiskt perspektiv, behöver VA-verksamheterna kunna bedöma vilket utläckage som är ”rätt” nivå och hur man effektivast kan nå den nivån. Kostnaden att leta efter läckage och/eller förnya ledningsnätet bör jämföras med nyttan med ett minskat utläckage i form av minskad pumpenergi, minskad dricksvattenproduktion och mindre antal akuta lagningar av läckor. En kostnadsnyttoanalys med Göteborg som studieobjekt för olika möjliga åtgärder för att minska läckaget har genomförts. De alternativ som analyserades var (i) förnyelse, (ii) traditionell läcksökning genom mer personal, (iii) fler loggar respektive (iv) fler mätzoner. Nyttorna som erhållits med minskat läckage är minskad (marginal-) kostnad för att producera och pumpa vatten, minskad kostnad för att rena den del av utläckaget som letar sig in i avloppsledning till reningsverk, minskad riskkostnad för att vattenverket ligger och producerar på gränsen av sin maximala kapacitet samt minskad kostnad för akuta rörbrott som medför både en hög kostnad och hälsomässig risk när ledningssystemet lokalt blir trycklöst. De två alternativ som visade sig vara bäst är fler mätzoner och/eller traditionell läcksökning som båda ger en positiv kostnad/nytta. Både ökad förnyelse och fler mätpunkter ute på nätet, som även loggar data, ger ett negativt resultat i utförd kostnads/nyttoanalys (publiceras under 2015).

Analysen av kostnadsnyttoberäkningar för att hitta rätt metod för att minska utläckaget till en effektiv nivå har visat sig vara både enkel och användbar i praktiken. Fortsatt studier kommer inrikta sig på att bedöma rörbrott på liknande sätt.

Hälsomässiga aspekter kan påverka förnyelsebehoven på så sätt att om ett ledningsnätets försämrade status innebär en betydande ökad risk för att föroreningar tränger in i ledningsnätet, måste ledningsnätets status upprätthållas på en nivå som kan behöva vara högre än dagens nivå. I kandidatarbeten har risken vid vattenläckor bedömts utifrån enkäter till boende i områden utsatta för en driftstörning och i motsvarande kontrollområden i några västsvenska städer, främst i Göteborg. Utifrån dessa undersökningar återfinns inget samband mellan tryckfall och magsjukdom (publicerat i kandidatarbeten ¹¹ 2011–2013).

I projektet Tidvatten, som finansierats av Svenskt Vatten och Formas och utförts tillsammans med Göteborgs och Umeås universitet, har undersökts om det finns en ökad frekvens av kontakter med Sjukvårdsrådgivningen, 1177, angående symtom av diarré, kräkningar eller buksmärtor, vid tillfällena då det finns risk för försämrad vattenkvalitet på grund av störningar vid vattenverk eller distributionsnätet. Alla kontakter registrerades under en treårsperiod, däribland även kön, ålder och plats. Antalet kontakter med 1177 i det drabbade geografiska området registrerades under åtta perioder av störningar i vattenverk (t.ex. korta stopp för klordosering), sex perioder av stora störningar i distributionsnätet (t.ex. fel i pumpstation) och under 818

¹¹ <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/161220.pdf>
<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/161219.pdf>
<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/183182/183182.pdf>

rörbrott och läckagereparationer under en treårsperiod. För varje störningsperiod jämfördes observerade antalet samtal, till 1177, med antalet samtal under en kontrollperiod utan störningar i samma geografiska område. Totalt cirka 55 000 samtal till 1177 på grund av magsymtom registrerades under treårsperioden, 35 per 1000 invånare och år, men mycket högre (> 200) för barn < 3 års ålder. Det fanns ingen statistiskt signifikant ökning av samtal på grund av mag-tarmsjukdom under eller efter felhändelser vid vattenverk eller i distributionsnätet. Våra resultat indikerar att mag-tarmsymptom på grund av störningar i vattenverk eller distributionsnätet är sällsynta. Antalet allvarliga brister var dock begränsade och ytterligare studier behövs för att kunna bedöma risken. Det behövs också fortsatta studier av utvalda rörbrott och läckagereparationer på distributionsnätet, där enbart tillfällena som varit helt trycklösa analyseras (Malm et al, 2013; Malm et al, 2015).

I projektet Tidvatten har också en konceptuell QMRA-modell (Quantitative Microbial Risk Assessment) för ledningsnät tagits fram. Den konceptuella modellen innebär en metod för att kvantifiera riskerna från att patogener förs in i distributionssystemet, deras nedbrytning och transport genom distributionssystemet till brukarnas vattenkranar, och risken som hänför sig till dricksvattenkonsumenterna. I den utvecklade QMRA-modellen ingår enbart risker vid inträngning, bland annat händelser som rör inträngning i reservoarer, vid planerade förnyelsearbeten och vid rörbrott samt tryckslags-effekter, men för en fullständig modell bör även risker vid återströmning och handhavandefel ingå (Malm et al, 2015).

Den hälsomässiga påverkan som ledningsnätet har är inte tillräckligt analyserad för att kunna göra en bedömning om hälsomässiga aspekter och om de påverkar förnyelsebehovet eller inte. Dock finns ingen påvisad risk i samband med läckklagning i Göteborg. Det som behöver bedömas ytterligare är dels utvalda läckklagningstillfällen med förhöjd risk (ledning helt trycklös) och dels andra risker på ledningsnätet, som felkopplingar och undertryck.

Under 2014 har även ett samarbete påbörjats med Livsmedelsverket och Gästrikevatten för att undersöka om fluorescens spektroskopi kan användas som metod för att övervaka mikrobiologiska risker på distributionsnätet. Dricksvattenprover för fluorescensanalys och en rad mikrobiologiska parametrar har samlats in på ett 70-tal platser över hela Gävle under två dagar i december 2014, och förhållandet mellan fluorescensmätningar, turbiditet och bakterier undersöks.

3.7 Konsumentperspektiv

Inom området konsumenternas tillit och förtroende för levererat dricksvatten har inga större projekt genomförts i denna programperiod. Huvudsakligen har dessa frågor studerats inom projektet VISK i samarbete med Livsmedelsverket där telefonintervjuer har genomförts i Ale (www.visk.nu). Konsumenternas tillit och förtroende för sitt dricksvatten har även studerats i samarbete med Livsmedelsverket, genom MSB-medel, där dricksvattenkonsumenternas förtroende och tillit studerats, främst hur det påverkas då en större förändring genomförs i vattenproduktionen.

4 Resultatspridning

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

4.1 DRICKS-seminarier

DRICKS har varit med och arrangerat Nationell dricksvattenkonferens 16–18 april 2013 vid Chalmers och bidragit med flera presentationer, se 4.2 Konferenser nedan. Ett drygt hundratal deltagare deltog i konferensen.

Den 4 december 2014 anordnade DRICKS en ”Workshop om UV-ljus vid vattenverk” vid Chalmers där runt 25 vattenverkspersonal och forskare träffades för att diskutera, sprida kunskap och utbyta erfarenheter kring UV-desinfektion. Seminariet var mycket uppskattat och planeras att hållas vid fler tillfällen och orter under kommande programperiod.

4.2 Vetenskaplig publicering, konferenser och möten

Under perioden har forskare inom DRICKS publicerat 14 st. artiklar i välrenommerade referee-granskade vetenskapliga tidskrifter. En doktorsavhandling har publicerats inom råvatten. Ett antal tekniska rapporter har också publicerats. Samtliga forskare verksamma inom DRICKS har aktivt deltagit i flera olika nationella och internationella konferenser (10 st.) och seminarier under 2012-2014. I kapitel 7 redovisas de publiceringar som genomförts inom DRICKS.

Exempel på viktiga konferenser presenteras nedan:

- 9:e Nordiska Dricksvattenkonferensen, Helsingfors, 2–4 juni 2014.
Presentationer:
 - *Ecosystem services and economic valuation of groundwater* (Andreas Lindhe et al.)
 - *Consumer trust, risk perception and acceptance towards drinking water in Sweden* (Mia Bondelind)
 - *Hydrodynamic modelling of microbial water quality in drinking water sources* (Ekaterina Sokolova et al.)
 - *Analysis of somatic coliphages in the Göta River to secure the microbial quality of drinking water* (Lena Blom et al.)
 - *Hälsorisker efter läckreparationer i Göteborg* (Annika Malm)
- Hälsomässiga risker på ledningsnät har Annika Malm presenterat på Rörnätskonferensen både 2013 och 2014 tillsammans med Melle Andersson från Livsmedelsverket, vilket ger stor spridning eftersom det var ca 400 deltagare som arbetar med ledningsnät.

- Seminariet "Vattenburna smittor – hur kan vi hjälpas åt att bedöma och hantera risker?", hölls 5 december 2013, på Smittskyddsinstitutet, Uppsala. Andreas presenterade RiBS-projektet. Titel på presentationen var "Riskbaserat beslutsstöd för säkert dricksvatten" och arrangörer av seminariet var SVA, SMI, Livsmedelsverket, HaV och DRICKS/Chalmers.
- Drinking water – shared Nordic-Baltic challenges and future collaboration, Uppsala, 14–15 Nov 2013
 - Annika Malm fick möjlighet att sprida kunskapen från de kandidat- arbeten som studerade effekter av rör-reparationer i Göteborg.
 - VISK-projektet presenterades av Lena Blom.
- The 17th International Symposium on Health-Related Water Microbiology, WaterMicro, Florianopolis, Brazil, Sep 2013, oral presentation by Ekaterina Sokolova.
- Nationell Dricksvattenkonferens, Göteborg, 16–18 april 2013.
 - *Utmaningar för branschen: mikrobiella risker*, Olof Bergstedt, Kretslopp och vatten, Göteborgs stad och Johanna Ansker, Stockholm Vatten
 - *Om Dricksvattenprogrammet*, Thomas Pettersson, Chalmers
 - *Övervakning av norovirus i Göta älv* (VISK), Thomas Pettersson, Chalmers och Per-Eric Lindgren, Linköpings Universitet
 - *Hydrodynamisk modellering av mikrobiell kvalitet* (VISK), Ekaterina Sokolova, Chalmers
 - *Mikrobiologiska risker på ledningsnätet*, Annika Malm, Kretslopp och vatten, Göteborgs stad
 - Avslutande reflektioner och dess betydelse för fortsatt verksamhet, Diskussionsledare: Lena Blom, Kretslopp och vatten, Göteborgs stad
- The 11th Urban Environment Symposium, Karlsruhe, Germany, Sep 2012. Ekaterina Sokolova presenterade sitt arbete.
- World Congress on Risk 2012 – Risk and Development in a Changing World, Society for Risk Analysis, Sydney, 17–20 juli 2012. Presentation av Andreas Lindhe, Titel: *Regional risk assessment of drinking water supplies*.
- 8:e Nordiska Dricksvattenkonferensen, Stockholm, 18–20 juni 2012. Presentationer:
 - Regional risk- and vulnerability analysis of drinking water supplies (Andreas Lindhe et al.)
 - Water quality modelling, monitoring and microbial source tracking for microbial risk assessment of a drinking water source (Ekaterina Sokolova et al.)

4.3 DRICKS hemsida

På DRICKS hemsida (www.dricks.chalmers.se) presenteras bl.a. de projekt som bedrivs, möjliga examensarbeten och publikationer. För att beskriva DRICKS presenteras såväl visionen, medarbetarna, styr- och ledningsgrupp samt organisationsstrukturen. Hemsidan har en enkel och informativ upp-

byggnad och har under perioden 2012–2014 överförts och ingår nu i Chalmers nya websystem. Detta innebär bl.a. att hänvisningen till publikationer görs via Chalmers Publication Library (CPL), vilket ger tillgång till mer utförlig information om publikationerna. De publikationer som presenteras är av olika typer och innefattar vetenskapliga artiklar, konferensbidrag, populärvetenskapliga artiklar, rapporter och examensarbeten. Förslag på examensarbeten, liksom utförda examensarbeten inom DRICKS, finns elektroniskt tillgängliga och kan laddas ner i PDF-format.

5 Undervisning kopplat till DRICKS

I detta kapitel beskrivs de insatser som gjorts inom grundutbildningen, utveckling av kurser och examensarbeten, för att verka för att fler studenter inriktar sig mot dricksvatten i sin utbildning vid Chalmers.

5.1 Kursutveckling i civilingenjörsprogrammet

De kurser som ges vid Chalmers och som har direkt koppling till DRICKS-programmet finns i Masterprogrammet ”Infrastructure and Environmental Engineering” samt en grundkurs i Hydraulik och VA-teknik som ges i kandidatprogrammen Väg- och vattenbyggnad samt i Byggingenjörsprogrammet. Följande fyra kurser har vidareutvecklats och undervisas i olika omfattning kring dricksvattenfrågor:

Drinking Water Engineering

Dricksvattenteknik i hela systemet behandlas i denna kurs, vilket delas in i tre delmoment; råvatten, beredning och distribution. Vi har introducerat ett nytt moment i beredningsteknikdelen där studenterna använder sig av QMRA-verktyget (utvecklat i ett SVU-projekt) för att bedöma de hälso-mässiga riskerna för konsumenter som försörjs av vattenverk med varierande uppsättningar beredningsprocesser. Kursen är obligatorisk i programmet och årligen läser ca 60–75 studenter (både svenska och internationella) denna kurs. Kursen har fått mycket bra kritik av studenterna under dessa tre år, och även från flera konsultföretag i Göteborg som anställt nytexaminerade civilingenjörer med VA-teknik som huvudinriktning.

Environmental Risk Assessment in Engineering

Kursen syftar till att lära ut grunderna i riskbedömning och fokuserar främst på miljörelaterade risker. Studenterna får en orientering i de olika delar som riskhanteringsarbetet består av och får fördjupa sig i hur risker kan analyseras. En central del av kursen utgörs av ett projektarbete där studenterna själva får analysera riskerna kopplade till ett förorenat område. En av de aspekter de ska beakta är vilka konsekvenser saneringen av området kan få på den intilliggande vattentäkten. I storleksordningen 40 studenter läser kursen varje år (svenska och internationella). Kursutvärderingen visade att ämnet uppfattades som angeläget och kursen har fått goda omdömen

Modellering och problemlösning inom geo och vattenteknik

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

Risk assessment and decision support

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

5.2 Examensarbeten

Inom DRICKS har vi även denna period aktivt verkat för att få studenter att välja dricksvatteninriktningen fullt ut, d.v.s. genomföra sitt examensarbete inom dricksvatten. Vi har anordna särskilda studentträffar där vi informerar om DRICKS i allmänhet och beskrivit aktuella frågeställningar för branschen och föreslagit examensarbetsprojekt inom dricksvatten. Under periodens tre år har 52 studenter genomfört 14 examensarbeten och kandidatarbeten inom samtliga delområden – från råvatten till tappkran. På DRICKS hemsida (www.dricks.chalmers.se) under *Publikationer* är samtliga examensarbeten som genomförts under 2012–2014 presenterade, vilka även finns listade i rapportens kapitel 7.7 Examensarbeten.

6 Slutsatser och framtida forskning

I detta avsnitt redovisas viktiga resultat och slutsatser inom DRICKS under perioden 2012–2014 samt de viktigaste planerna för det fortsatta arbetet.

Slutsatser

- Under perioden 2012–2014 har DRICKS växlat upp av Svenskt Vatten satsade programmedel mer än fyra gånger.
- Vi har under perioden haft en doktorsdisputation inom råvatten. Vi har även anställt tre nya doktorander, en inom riskbedömning/ytvatten och två inom beredning.
- RiBS-projektet, *Riskbaserat beslutsstöd för säkert dricksvatten*, är ett viktigt projekt för branschen där ett samlat angreppssätt för att bedöma hur flera olika parametrar kan vägas samman för att ta fram ett beslutsunderlag för beslutsfattare när olika åtgärder för att tillhandahålla säker dricksvattenproduktion skall bedömas. Projektet fortsätter under DRICKS hela kommande programperiod (2015–2017).
- Det svenska MRA-verktyget håller på att upgraderas och göras mer tillgängligt för branschen och det fortsatta arbetet kommer att fokusera på att utveckla nya fullständiga MRA-moduler för att inkludera hela försörjningssystemet, såsom grundvattentäkter och distributionssystem.
- Verktyg för att kunna genomföra både hydrologisk och hydrodynamisk modellering av ytvattentäkter utvecklas nu inom DRICKS för att kunna genomföra bättre och säkrare uppskattningar av vilka patogenhalter som kan förväntas i ytvattentäkter från punktkällor respektive diffusa föroreningskällor, både under normala väderförhållanden men också för att uppskatta extremhändelser i dagsläget men också vid ett förändrat klimat. Detta utvecklingsarbete kommer att fortgå under kommande programperiod.
- Inom beredning kommer under nästa programperiod (2015–2017) det fördjupade samarbetet med VAKA-gruppen att ge möjligheter att snabbare föra ut erfarenheter från händelser i dricksvattenberedningen och att sätta dem i sammanhang där kostnad/nytta-analys kan stärka beslutsunderlagen.
- Inom distribution behövs det fortsatta studier av utvalda rörbrott och läckagereparationer för att kunna bedöma den ökade risken för mag-tarm infektioner, och där bör enbart händelser som orsakat helt trycklösa ledningar analyseras (Malm et al, 2013). Analys av kostnadsnyttoberäkningar för att hitta rätt metod för att minska utläckaget till en effektiv nivå har visat sig vara både enkel och användbar i praktiken. Fortsatt studier kommer inrikta sig på att bedöma rörbrott på liknande sätt. Undersökningar om fluorescens spektroskopi kan används som metod för att övervaka mikrobiologiska risker på distributionsnätet kommer att genomföras under nästa programperiod.

- Fortsatta undersökningar kring hur dricksvattenkonsumenternas förtroende och tillit, för sitt dricksvatten, påverkas då en mindre händelse sker på ledningsnätet kommer att genomföras.

Framtida forskning inom DRICKS

Efter flera framgångsrika år med DRICKS vill vi nu utöka verksamheten att även inkludera flera svenska universitet som arbetar med dricksvattenforskning. Detta har resulterat i att ett fördjupat samarbete inletts under 2014 med SLU och Lunds universitet vilket har resulterat i att de båda lärosätena i framtiden ingår som en integrerad del i DRICKS och deltar i ansökan om förlängning av DRICKS-programmet för perioden 2015–2017 (vilken skickades in till SVU i oktober 2014, som blivit beviljad av SVUs styrelse). SLU kommer att främst fokusera på forskning inom karakterisering av naturligt organiskt material (NOM) samt fördjupat samarbete inom området med kemiska risker, främst genom SLUs projekt Safedrink. Lunds universitet kommer främst att fokusera sin forskning inom mikrobiologiska processer i ledningsnät samt kopplingen mellan beredning och distribution. Även de kommuner som SLU och Lund har etablerat samarbete med kommer att kopplas till DRICKS. Detta innebär att vi inom DRICKS framgent kommer att bidra med en ännu större bredd och djup i svensk dricksvattenforskning.

7 Referenser

I detta kapitel redovisas alla publikationer som producerats inom DRICKS 2012–2014 – från vetenskapliga artiklar, forskningsrapporter till populärvetenskapliga artiklar.

7.1 Vetenskapliga publikationer

Riskbedömning

Lindhe, A., Rosén, L., Norberg, T., Røstum, J. and Pettersson, T.J.R. (2013). Uncertainty modelling in multi-criteria analysis of water safety measures, *Environment, Systems and Decision*, 33 (2), 195–208.

Hagbert, P., Mangold, M., Femenias, P. (2013). Paradoxes and Possibilities for a ‘Green’ Housing Sector: A Swedish Case. *Sustainability*, 5(5), p. 2018-2035. (doi:10.3390/su5052018)

Larsson, C., Andersson, Y., Allestam, G., ... (2013). Epidemiology and estimated costs of a large waterborne outbreak of norovirus infection in Sweden. *Epidemiol Infect.*, 142(3), 592–600.

Lindhe, A., Norberg, T. and Rosén, L. (2012). Approximate dynamic fault tree calculations for modelling water supply risks, *Reliability Engineering and System Safety*, 106 (2012), 61–71.

Råvatten – yt- och grundvatten

Sokolova, E., Pettersson, T.J.R., Bergstedt, O. (2014). Hydrodynamic modelling and forecasting of microbial water quality in a drinking water source. *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA* 63, 189–199.

Sokolova, E., Pettersson, T.J.R., Bergstedt, O., Hermansson, M. (2013). Hydrodynamic modelling of the microbial water quality in a drinking water source as input for risk reduction management. *Journal of Hydrology* 497, 15–23.

Åström, J., Pettersson, T.J.R., Reischer, G.H., and Hermansson, M. (2013). Short-term microbial release during rain events from on-site sewers and cattle in a surface water source. *Journal of Water and Health*, 11(3), 430–442. (doi: 10.2166/wh.2013.226)

Sokolova, E., Åström, J., Pettersson, T.J.R., Bergstedt, O., Hermansson, M. (2012). Decay of *Bacteroidales* genetic markers in relation to traditional fecal indicators for water quality modeling of drinking water sources. *Environmental Science & Technology* 46(2), 892–900.

Sokolova, E., Åström, J., Pettersson, T.J.R., Bergstedt, O., Hermansson, M. (2012). Estimation of pathogen concentrations in a drinking water source using hydrodynamic modelling and microbial source tracking. *Journal of Water and Health* 10(3), 358–370.

Beredning

Murphy, K.R. Stedmon, C.A., Wenig, P., Bro, R. (2014) OpenFluor—an online spectral library of auto-fluorescence by organic compounds in the environment. *Anal. Methods*, 6 (3), 658–661.

Ström, H., Bondelind M. and Sasic S., (2013), A novel hybrid scheme for making feasible numerical investigations of industrial three-phase flows with aggregation, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 52 (29), 10022–10027.

Bondelind M., Sasic S. and Bergdahl L., (2013), A model to estimate the size of aggregates formed in a Dissolved Air Flotation unit, *Applied Mathematical modelling*, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2012.07.004>

Distribution

Malm, A., Axelsson, G., Barregård, L., Ljungqvist, J., Forsberg, B., Bergstedt, O., Pettersson, T.J.R. (2013). The association of drinking water treatment and distribution network disturbances with Health Call Centre contacts for gastrointestinal illness symptoms. *Water Research*, 47(13), 4474–4484. (doi:10.1016/j.watres.2013.05.003)

Malm, A., Ljunggren, O., Bergstedt, O., Pettersson, T.J.R., Morrison, G.M. (2012). Replacement predictions for drinking water networks through historical data, *Water Research*, 46(7), 2149–2158.

7.2 Konferensartiklar

Riskbedömning

Lindhe, A., Bergstedt, O., Rosén, L., Pettersson, T.J.R. and Nordensten, C. (2012). Regional risk- and vulnerability analysis of drinking water supplies, Proceedings of the 8th *Nordic Drinking Water Conference*, Stockholm, June 18–20, pp. 23–30, Svenskt Vatten & NORDIWA.

Pettersson, T. J. R., Forss, M., Ander, H., Menge, J., Lindhe, A., and Bergstedt, O. (2012). Risk Assessment of the Water Reclamation Plant in Windhoek. In Proc. Water Safety Conference, Kampala, Uganda, 13–15 November 2012.

Råvatten – yt- och grundvatten

Lindhe, A., Söderqvist, T., Rosén, L. & Lång, L.-O. (2014). Ecosystem services and economic valuation of groundwater, Proceeding of the 9th *Nordic Drinking Water Conference*, Helsinki June 2–4.

Bondelind M., Ström H., Sasic S. and Bergdahl L., (2013), Modelling of formation and flow of aggregates in Dissolved Air Flotation: Comparison between 2D and 3D, International conference on multiphase flow (ICMF'2013), Jeju, Korea, May 2013

Sokolova, E., Pettersson, T.J.R., Bergstedt, O., Hermansson, M. (2012). Hydrodynamic modelling of microbial water quality in a drinking water source. In: Rauch, S., Morrison, G.M., Schleicher, N., Norra, S. Urban Environment. Springer. ISBN 978-94-007-7755-2.

Sokolova, E., Pettersson, T.J.R., Åström, J., Bergstedt, O., Kjellberg, I., Hermansson, M. (2012). Water quality modelling, monitoring and microbial source tracking for microbial risk assessment of a drinking water source. Proceedings of the 8th Nordic Drinking Water Conference, 18–20 June 2012 in Stockholm, Sweden.

Beredning

Bondelind M., Malm A., Bergstedt O., Lindgren J. and Pettersson T.J.R. (2012). Benchmarking-modell för dricksvattenförsörjning i Sverige, Åttonde Nordiska Dricksvattenkonferensen, Stockholm Sweden, 36–39.

Bondelind M., Ström H., Sasic S. and Bergdahl L., (2012), Eulerian modeling of the formation and flow of aggregates in Dissolved Air Flotation, Conference on Modelling Fluid Flow (CMFF'12), Budapest Hungary September 2012.

Bondelind M., (2012), Investigating the applicability to use Computational Fluid Dynamics for modelling Dissolved Air Flotation, The 6th International Conference on Flotation for Water and Wastewater Systems, NY USA.

Distribution

Malm, A. (2014) Hälsorisker efter läckreparationer i Göteborg. Proceeding of the 9th Nordic Drinking Water Conference, Helsinki June 2–4.

Avloppsavledning

Shahvi, S., Malm, A. and Pettersson, T. J. R. (2012). Hydraulic and hydrological simulations of the sewer system in the Majorna area, Gothenburg. In: Proc. Urban Water 2012, New Forest, UK, 25–27 April 2012. (Print ISBN: 978-1-84564-576-2 ; eISBN: 978-1-84564-577-9)

7.3 Doktorsavhandlingar

Sokolova, E., 2013. Hydrodynamic modelling of microbial water quality in drinking water sources. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. Chalmers University of Technology, Gothenburg.

7.4 Licentiatuppsatser

(inga Licentiatuppsatser publicerade denna period)

7.5 **Rapporter**

Riskbedömning

Bondelind M., Pettersson T., Malm A., Bergstedt O. and Lindgren J., (2013), VASS Dricksvatten – uppgifter, nyckeltal och modell för säkert dricksvatten för vattenverk, Rapport Nr 2013 – 15.

Råvatten – yt- och grundvatten

Söderqvist, T., Lindhe, A., Rosén, L. and Kinell, G. (2014). *Groundwater ecosystem services and economic valuation – an initial survey* (In Swedish), Geological Survey of Sweden.

Lindhe, A, Rosén, L, Johansson, P-O & Norberg, T (2014). Increase of Water Supply Safety by Managed Aquifer Recharge along the North-South Carrier – A pre-feasibility study, Report 2014:2, Chalmers University of Technology.

Distribution

Malm, A., Axelsson, G., Barregård, L., Bergstedt, O., Forsberg, B., Ljungqvist, J., Pettersson, T. (2015), Bedömning av risker vid läcklagning genom hälsostudier samt konceptuell modell för hälsoriskbedömning vid inträngning på ledningsnätet. SVU Rapport (under publicering).

Övrigt

Pettersson, T. (2013). Dricksvattenprogrammet DRICKS – redovisning av perioden 2009–2011. SVU-rapport 2013-14.

Pettersson, T., Bondelind, M., och Rauch, S. (2012). Kunskapsöversikt dricksvatten. (Rapport beställd av Landsbyggsdepartementet hösten 2011)

7.6 **Populärvetenskapliga artiklar**

Bondelind M. (2013) Dricksvatten i VASS, Svenskt Vatten (5), 20.

7.7 **Examensarbeten**

Riskbedömning

Atubo, F., and Mafinejadasl M. (2012). Microbiological Risk Analysis of Kungälv Drinking Water Treatment Plant.

Råvatten – yt- och grundvatten

Abdi Gudle, M. (2014). Lake Mälaren: hydrological modelling to simulate the fate and transport of the faecal contamination. Master of Science Thesis 2014:129, Chalmers University of Technology.

Johansson, V. (2014). Modelling fate and transport of *Escherichia coli* and *Cryptosporidium* spp. using Soil and Water Assessment Tool within Stäket drainage basin. Master of Science Thesis 2014:128, Chalmers University of Technology.

Sanches Racionero, J. (2014). Modelling ship-generated sediment transport in the River Göta Älv. Master of Science Thesis 2014:72, Chalmers University of Technology.

Emanuelsson, J.; Jansson, V. (2014) Risk Assessment for Scenarios of Increased Water Levels – Problem Forecast and Management for Technical Facilities within the Municipality of Gothenburg

Fransson, S., Myrbäck, S., Tercan, G., Wetterhorn, K., och Öhman, E. (2014). Bekämpningsmedel i sjön Anten – Kartläggning och riskbedömning. Kandidatarbete, Institutionen för Bygg- och miljöteknik, avdelningen för Vatten miljö teknik, Chalmers Tekniska Högskola.

Liceras Hernandez, A. 2013. Sediment transport in the River Göta Älv. Bachelor of Science Thesis, Chalmers University of Technology.

Mattfolk, I. (2013) Effects of Climate Change; Flooding in Lake Vänern – A study on the wastewater treatment plants based on learning and evaluation of previous event

Dahlström, R. (2012). Applicability of QMRA on Artificial Groundwater Recharge.

Emanuelsson, A., Senning, J., 2012. Hydrodynamic and Microbial Modeling of a Drinking Water Source. Master of Science Thesis 2012:145, Chalmers University of Technology.

Enerhall, C., and Stenmark, E. (2012). Disc Filters to Reduce Wastewater Pathogen Levels in Raw Water Sources – Risk Reduction Potential for Göta älv.

Mokhlesi, S., Öhrman, A., 2012. Development of Three-Dimensional Hydrodynamic and Water Quality Model of Göta Älv River: Microbial impacts from tributaries Grönån and Gårdaån on the raw water intake at Lärjeholm. Master of Science Thesis 2012:8, Chalmers University of Technology.

Nilsson, E., Stigsson, A. (2012) Pollutant Removal Efficiencies and Flow Detention of Infiltration Trenches – An Investigation of an Infiltration Trench in Kungsbacka.

Beredning

Mohamed, I. J. (2013) Numerical modelling and experimental investigations of a flocculation unit at Överby drinking water treatment plant

Hjerpe, K., Olsson, J. (2012) Analysis of the Membrane Alternatives Suitable for Kvarnagården Water Treatment Plant – An Evaluation of Hollow Fiber Nanofiltration Membranes

Distribution

Alenius, F., Hellberg, M., Lilliestierna, A., Lundström, J.,; Pettersson, J., Utas, J. (2013) Health risks in water distribution systems. A study of the potential relationship between pressure drop in the water distribution system and increased risk for gastrointestinal illness. Kandidatarbete, Institutionen för Bygg- och miljöteknik, avdelningen för Vatten miljö teknik, Chalmers Tekniska Högskola.

Abdollahi, S., Emanuelsson, J., Franzén, S. (2012) Hälsomässiga risker på vattenledningsnätet – En studie över samband mellan trycknedsatt ledningsnät och förhöjd risk för sjukdom i tre svenska kommuner. Kandidatarbete, Institutionen för Bygg- och miljöteknik, avdelningen för Vatten miljö teknik, Chalmers Tekniska Högskola.

Appelqvist, I., Lindskog, S., Oscarsson, A., Renström, E., Örngren, S. (2012) Samband mellan lågt tryck i dricksvattenledningar och magbesvär – En utredning av hur lågt tryck på dricksvattenledningsnätet vid lagning av läckor påverkar sjukligheten hos Göteborg Vattens abonnenter. Kandidatarbete, Institutionen för Bygg- och miljöteknik, avdelningen för Vatten miljö teknik, Chalmers Tekniska Högskola.

Milone, V. (2012) The effect of temperature and material on mains pipe breaks in Gothenburg

Övrigt

Berqvist, N. (2014) Environmental assessment and sustainable stormwater planning with regard to climate change through multi-criteria analysis (MCA) – Case study Guldheden

Eriksson, W., Grahnström, A., Lejonbäck, P., Söderlund, A., och Ållenberg, P. (2014). Övergödningen av sjön Anten – en underlagsrapport för Alingsås kommun. Kandidatarbete, Institutionen för Bygg- och miljöteknik, avdelningen för Vatten miljö teknik, Chalmers Tekniska Högskola.

Löfvendahl, J. (2013). Analysis of climatic and stochastic variability when using synthetic precipitation time series in urban drainage modelling. Master's Thesis, Universität Stuttgart.

Andersson, M., Bergström, F., Medin, J., Salinas Niedbalski, A. (2013) Föroreningskällor till sjön Anten. En kartläggning och kvantifiering av kväve- och fosfortillförsel. Kandidatarbete, Institutionen för Bygg- och miljöteknik, avdelningen för Vatten miljö teknik, Chalmers Tekniska Högskola.



Box 14057 • 167 14 Bromma
Tfn 08 506 002 00
Fax 08 506 002 10
svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se