Mikrobiologiska risker för dricksvatten: Framtida klimatpåverkan och säkerhet

ROGER ROFFEY, PER JONSSON, KARIN MOSSBERG SONNEK,
MATS FORSMAN, LINDA KARLSSON OCH ANDREAS SJÖDIN

FOI-R--3831--SE
ISSN 1650-1942 December 2014

Roger Roffey, Per Jonsson, Karin Mossberg Sonnek, Mats Forsman, Linda Karlsson och Andreas Sjödin

Mikrobiologiska risker för dricksvatten: Framtida klimatpåverkan och säkerhet

Bild/Cover: David Nyrén

Titel	Mikrobiologiska risker för dricksvatten: Framtida klimatpåverkan och säkerhet
Title	Microbiological risks of drinking water: Future climate change impact and security
Rapportnr/Report no	FOI-R--3831--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2014
Antal sidor/Pages	72 p.
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	
Forskningsområde	5. Krisberedskap och samhällssäkerhet
FoT-område	
Projektnr/Project no	I51203
Godkänd av/Approved by	Martin Ranzter
Ansvarig avdelning	Sensor- och TK-system
Omslagsbild/Cover	David Nyrén

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk.
All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden

This work is protected under the Act on Copyright in Literary and Artistic Works (SFS 1960:729).
Any form of reproduction, translation or modification without permission is prohibited.

Sammanfattning

Det kan föreligga ett samband mellan klimatförändringar, i första hand ökande extremnederbörd och ökande fall av vattenburna sjukdomsutbrott i Sverige och andra länder i Europa. I norra Europa har bedömningar pekat på att nederbördsmängderna och avrinningen kommer att öka vilket ger en negativ inverkan på råvattenkvaliteten, beredningsprocessen och distributionsnätet för dricksvattnet.

De vanligaste smittämnena har varit *Campylobacter* och norovirus. Enligt Smittskyddsinstitutet verkar det som om antalet fall redan ökar, vilket kan ha samband med ett något varmare klimat. Vattenburna sjukdomar som man anser kommer att öka p.g.a. klimatförändringarna är sådana som orsakas av virus och protozoer, exempelvis *Cryptosporidium*. Dessa anses vara kraftigt underdiagnostiserade idag och antalet diagnostiserade fall i Sverige förväntas öka.

Allvarliga problem med råvattenkvalitet, beredning och distribution syns vanligen genom anhopningar av sjukdomsfall. Sannolikt upptäcks och rapporteras bara en liten del av sjukdomsfallen till myndigheterna. Vattenburna sjukdomsutbrott kan drabba personer beroende av enskild brunn eller kommunala distributionssystem genom förorenade vattentäkter, felkopplingar i vattenverk eller genom läckor i distributionsnäten. Om smittämnen kommit in i systemet, är vattnet en mycket snabb och effektiv smittspridare. Råvatten som förorenats med människors eller djurs avföring är den vanligaste orsaken till att sjukdomsalstrande mikroorganismer hamnar i dricksvattnet.

Behovet är stort av förvarningssystem och snabba identifieringsmetoder eftersom det orsakande smittämnet är och förblir okänt i en stor andel av alla vattenburna utbrott. Ur säkerhetssynpunkt är det en allvarlig brist och inledande försök har genomförts med att utveckla snabb detektion och specifika analysmetoder som kan mäta halterna av potentiella sjukdomsalstrande mikroorganismer.

Dricksvattnet är sårbart då inbrott och aktiva sabotagehandlingar kan drabba alla led i dricksvattenkedjan. I synnerhet vattentäkter och ledningsnät är svåra att skydda genom lås, stängsel och övervakning. IT-styrda vattenverk kan även utsättas för dataintrång och virusangrepp.

Summary

There may be a connection between climate change, primarily increased extreme precipitation, and rising cases of waterborne disease outbreaks in Sweden and other European countries. In northern Europe, assessments have indicated that precipitation volumes will increase, which will adversely affect the raw water quality, the preparation process and the distribution of drinking water.

The most common infectious agents have been *Campylobacter* and Norovirus. According to the Swedish Center for Decease Control, it seems that the number of cases is already increasing, which may be associated with a slightly warmer climate. Waterborne diseases anticipated to increase due to climate change are those caused by viruses, and protozoa such as *Cryptosporidium*. These are considered to be severely under-diagnosed today and the number of diagnosed cases in Sweden is expected to increase.

Serious problems with raw water quality, preparation and distribution usually appear by clusters of disease cases. Only a small part of the disease cases are probably detected and reported to the authorities. Waterborne disease outbreaks can affect people through contaminated water sources, incorrect wiring in waterworks or through leaks in distribution networks. The drinking water is a very fast and efficient carrier of infectious agents. Raw water contaminated with microorganism from human or animal feces is the most common cause of outbreaks due to drinking water.

The need of early warning systems and rapid identification methods is great since the agent causing the disease remains unknown in a large share of all waterborne outbreaks. From a safety and security perspective, it is a serious shortcoming and initial attempts have been made to develop rapid detection and specific analytical methods that can measure the levels of potential pathogenic microorganisms.

The drinking water is vulnerable when burglary and active acts of sabotage can affect any part of the drinking water supply chain. In particular, the raw water sources and the distribution grid are hard to protect. IT-controlled water utilities can also be subjected to hacking and virus attacks.

Innehållsförteckning

1 Inledning 7

1.1 Frågeställningar och avgränsningar 7

1.2 Rapportens disposition 7

2 Bakgrund 9

2.1 Dricksvattenproduktion 9

2.2 Dricksvattenkontrollen 10

3 Nuvarande situation avseende vattenburen smitta 12

3.1 Tekniska orsaker till vattenburna utbrott 16

3.2 Samband mellan väder och vattenburna utbrott i Sverige 17

3.3 Samband mellan väder och vattenburna utbrott internationellt 18

4 Klimatförändringarnas påverkan på dricksvattenkvalitet 20

4.1 Klimat- och sårbarhetsutredningens slutsatser 20

4.2 Framtidens klimat och väder 21

4.2.1 Temperatur 21

4.2.2 Nederbörd 24

4.3 Hur dricksvattenkvaliteten påverkas av väder och klimatförändringar 26

5 Antagonistiska händelser, sabotage och smittspridning 30

6 Risk- och sårbarhetsanalys 33

7 Krisberedskap 36

8 Behov av förvarningssystem och nya analysmetoder 38

8.1 Förvarningssystem för dricksvatten 40

8.2 Utveckling av snabba mikrobiologiska analysmetoder för rå- och dricksvatten 43

9 Diskussion och förslag på anpassningsåtgärder 46

Bilaga 1 – Förkortningar **51**

Bilaga 2 – Vattenburna patogener **52**

Bilaga 3 – Risk- och sårbarhetsanalys **53**

Referenser **57**

1 Inledning

1.1 Frågeställningar och avgränsningar

Fokus för denna rapport är dricksvattenförsörjningen i Sverige med avseende på säkerhetsaspekter d.v.s. oavbruten försörjning med dricksvatten, tillgång till vatten av hög kvalitet ur framför allt mikrobiologisk synvinkel och minskade risker för smittspridning via distributionsnätet. Både naturliga och antagonistiska hot belyses, liksom eventuella konsekvenser på dricksvattenkvaliteten av de förväntade klimatförändringarna.

Följande frågeställningar behandlas:

- Hur ser säkerheten ut idag för dricksvattenförsörjningen?
- Vilka åtgärder kan behövas för att förbättra dricksvattenkvaliteten?
- Hur kommer de förväntade klimatförändringarna att påverka dricksvattensäkerheten i Sverige?
- Kommer riskerna för vattenburna sjukdomsutbrott att öka i Sverige?
- Vilka nya kunskaper, metoder och teknik behövs för att kunna möta framtida krav?

Denna studie behandlar främst mikrobiologiska risker och förhållandena i Sverige är i fokus.

När det gäller klimatförändringarna är tidsperspektiven långa för de scenarier som presenteras av SMHI och FN:s klimatpanel, oftast med blicken riktad mot 2100. Rapporten har dock generellt ett kortare tidsperspektiv om ca 20-30 år.

I denna studie berörs klimatförändringarnas inverkan på dricksvattenförsörjningen, men andra framtida trender har inte tagits med, exempelvis påverkan av förväntad utveckling när det gäller befolkningstillväxt, fortsatt urbanisering, jordbrukets förändring eller det övriga samhällets omvandling.

Risk- och sårbarhetsanalyser som stöd för att förbättra situationen beskrivs kortfattat liksom krisberedskapen. Behov och krav på förvarningssystem och analysmetoder diskuteras.

1.2 Rapportens disposition

Inledningsvis i Kapitel 2 ges en bakgrund till dricksvattensproduktionen i Sverige och hur kontrollen av dricksvattnet upprätthålls. I Kapitel 3 ges en

beskrivning av den historiska situationen när det gäller vattenburna sjukdomsutbrott i Sverige. Där redovisas också en genomgång av svensk och internationell forskning avseende sambandet mellan i första hand extrem nederbörd och vattenburna utbrott. Detta utgör en bas för bedömningen av de förväntade klimatförändringarnas betydelse för risken för framtida vattenburna utbrott.

I Kapitel 4 ges en sammanfattning av den statliga utredningen Klimat- och sårbarhetsutredningen från 2007 och dess bedömning av hur det framtida klimatet kan komma att påverka dricksvattenförsörjningen. Där beskrivs också hur det framtida klimatet i Sverige kan utvecklas, speciellt med avseende på extrem nederbörd och temperaturförändringar baserat på historiska data och klimatmodeller. Dessa faktorer har valts då de anses kunna ha störst påverkan på den mikrobiologiska belastningen på råvattnet med åtföljande risk för försämrad dricksvattenkvalité. Beskrivningen är baserad på en bedömning av SMHI från 2013.

Studien tar sedan upp risken för antagonistiska händelser som sabotage och avsiktlig smittspridning (Kapitel 5), samt hur det behandlas i myndigheternas risk- och sårbarhetsanalyser (Kapitel 6). Kapitel 7 beskriver kortfattat krisberedskapsåtgärder för dricksvattenförsörjningen. Detta följs av en diskussion i Kapitel 8 kring behovet av förvarningssystem och snabba identifieringsmetoder anpassade för risker som kan uppstå på grund av klimatförändringar och antagonistiska hot. Mot bakgrund av genomförd analys lämnas slutligen i kapitel 9 förslag på åtgärder som bör vidtas, inklusive förslag på forskningsinsatser.

Målgruppen för rapporten är centrala myndigheter, länsstyrelser, smittskyddsfunktioner, kommuner, vattenverk och andra aktörer inom dricksvattenområdet med intresse för framtida klimatförändringar och säkerhetsaspekter på dricksvattenförsörjningen.

2 Bakgrund

2.1 Dricksvattenproduktion

Det finns i Sverige 1750 kommunala vattenverk som försörjer 8 miljoner människor och av dessa är ungefär 10 procent ytvattenverk. Ytvattenverken är dock stora producenter och försörjer ca 50 procent av befolkningen med dricksvatten. När det gäller enskild vattenförsörjning som faller utanför Livsmedelsverkets ansvarsområde, vilket omfattar ungefär 1,2 miljoner permanentboende och ungefär lika många fritidsboende, så omfattas dessa av Socialstyrelsens allmänna råd om dricksvatten [1,2] och det är den enskildes ansvar att vattnet är tjänligt som dricksvatten (s. 5 i [3]). Ett av de största ytvattenverken är Norsborg som försörjer 700 000 konsumenter med dricksvatten från Mälaren [4]. Efter beredning distribueras dricksvattnet ut till konsumenterna via de omkring 70 700 km vattenledningar som finns i landet [5,6]. Vatten som tas från ytvatten genomgår en mer omfattande rening än vatten som tas från grundvatten.

För att säkerställa kvaliteten på råvattnet bör det upprättas vattenskyddsområden och en vattenförsörjningsplan samt genomföras regelbundna råvattenkontroller (s. 5 i [7]). Det behövs både väl skyddade råvattentäkter och effektiva mikrobiologiska säkerhetsbarriärer vid beredningen av dricksvatten [8,9]. Enligt Livsmedelsverkets dricksvattenföreskrifter ska beredningen av dricksvatten ta hänsyn till råvattnets beskaffenhet och vara försedd med ett tillräckligt antal säkerhetsbarriärer mot mikrobiologisk förorening (s. 21 i [3]) Generellt sett är råvattenkvaliteten sämre för ytvatten än för grundvatten varför en mer komplicerad reningsprocess krävs för ytvatten [10].

Det finns inget legalt krav på vilket antal barriärer ett vattenverk ska ha, däremot rekommenderar Livsmedelverket i sin vägledning att ska det finnas minst två barriärer för ytvattenverk och minst en barriär för grundvattenverk med en produktion större än 400 m^3/dygn. Antalet mikrobiologiska barriärer vid ytvattenverken varierar mellan en till fyra. Vid 88 procent av ytvattenverken finns två eller fler barriärer. Resterande 12 procent av ytvattenverken har endast en barriär. Dessa vattenverk har därmed för få barriärer jämfört med det av Livsmedelsverket rekommenderade antalet och bedöms vara mycket sårbara för en mikrobiologisk förorening [11]. Grundvattenverk med en produktion som är större än 400 m^3/dygn bör enligt vägledningen vara utrustade med minst en barriär. Detta uppfylls av 58 procent av grundvattenverken. Resterande 83 vattenverk saknar barriärer och är därmed sårbara om en mikrobiologisk förorening når råvattnet. Totalt uppfyller 110 vattenverk inte de rekommendationer som finns i vägledningen angående antal barriärer. Sammanfattningsvis kan det konstateras att 1,44 miljoner hushåll i Sverige är anslutna till vattenverk som inte

uppfyller rekommendationerna enligt vägledningen avseende antal eller princip av barriärer [11].

2.2 Dricksvattenkontrollen

Dricksvattenfrågor sorterar under fem olika departement; finans-, landsbygds-, miljö-, närings- och socialdepartementet. Om samtliga aktörer med olika delansvar inom dricksvattenkedjan omfattas blir antalet departement ännu fler. Det centrala myndighetsansvaret för dricksvatten i Sverige är delat mellan Naturvårdsverket, Havs- och vattenmyndigheten, Sveriges geologiska undersökning, Socialstyrelsen, Livsmedelsverket, Boverket och de fem vattenmyndigheterna. Livsmedelsverket har utsetts till samordnande myndighet för dricksvattenfrågor på nationell nivå, men regeringen är tydlig med att myndigheter som i dag har ansvar för dricksvattenrelaterade frågor ska behålla sin roll och sitt ansvar [4,12,13]. Enligt den EG-rättsliga livsmedelslagstiftningen utgör dricksvatten livsmedel först vid tappkranen hos konsumenten. I Sverige däremot har vatten för dricksvattenändamål i lagstiftningen jämställts med livsmedel från det att vattnet tas in i ett vattenverk [14]. Den nationella lagstiftningen baserar sig i huvudsak på EU:s lagstiftning.

Myndigheters offentliga kontroll av dricksvatten utförs lokalt av kommunerna och dessa följs upp av länsstyrelserna och de kan göra egna kontroller vid behov [15]. Livsmedelsverket följer upp kontrollen nationellt [16], vilket bland annat innebär att vägleda och informera men kan även innebära provtagning. Reglerna gäller inte för enskilda brunnar. eller enskilda vattenanläggningar som tillhandahåller mindre än 10 m^3 dricksvatten per dygn eller försörjer färre än 50 personer. Från den 1 januari 2014 ansvarar Livsmedelsverket för frågor som gäller dricksvatten från enskilda brunnar i stället för Socialstyrelsen [1,2].

Det är vanligt att flera kommuner samverkar för att göra den offentliga kontrollen effektivare. På regional nivå genomför länsstyrelserna från 2008 externa kontroller av de kommunala kontrollerna. På den centrala nivån genomför Livsmedelsverket normerande kontroller. Länsstyrelsernas och Livsmedelsverkets kontroller är samordnade (s. 3-4 i [17]).

Vid Livsmedelsverkets normerande kontroller under perioden 2007-2010 hade var femte av de 80 kontrollerade dricksvattenanläggningarna återkommande problem med kvaliteten på dricksvattnet. Oftast handlade det bl.a. om för höga halter järn eller mangan eller estetiska (smak och lukt) problem. Många kontrollmyndigheter saknade eller hade dåliga rutiner för den offentliga kontrollen av dricksvattenanläggningar och många hade för lite resurser. Enligt Livsmedelsverket är dricksvattenkontrollen för lågt prioriterad hos kommunerna. Sämst var producenterna på att informera konsumenterna om dricksvattnets kvalitet, där nio av tio vattenverk fick anmärkningar. Flera saknade också rutiner för att ta hand om klagomål från konsumenterna [17].

De normerande kontrollerna 2007-2010 visade att alla kontrollerade kommuner bedömdes ha avvikelser på flera kontrollområden, i strid med gällande lagstiftning. I medeltal fick kontrollmyndigheter inklusive verksamhetsutövare avvikelse på 54 procent av de 21 granskade kontrollområdena. De allvarligaste bristerna i dricksvattenproduktionen omfattade den mikrobiologiska säkerheten. Det konstateras också att samtliga normerande kontroller lett till acceptabla åtgärdsprogram från verksamhetsutövare och kontrollmyndigheter (s. 2 och 14 i [17]).

Många enskilda vattentäkter har problem med dricksvattenkvaliteten. En studie gjord av Socialstyrelsen och Sveriges geologiska undersökning från 2007 visade att endast 20 procent av alla prover var tjänliga. En lika stor andel var otjänliga medan resterande prover var tjänliga med anmärkning [18]

Vid vattenanalyser används ofta så kallade indikatororganismer för att visa på närvaron av fekal förorening och därmed att det finns en risk att vattnet innehåller mikroorganismer som kan orsaka sjukdom. Detta är en enklare och mindre kostsam metod än att analysera direkt för alla tänkbara vattenburna sjukdomsframkallande bakterier, parasiter och virus. Indikatororganismer kan också användas för att utvärdera effekten av beredningsprocessen i vattenverket. Det finns en rad olika indikatororganismer, med olika egenskaper som återspeglar olika förhållanden, och valet av indikatororganism beror på vad som ska studeras. De vanligast använda indikatorerna är koliforma bakterier och *E. coli*. Andra som kan användas (som komplement) är enterokocker (*Ent. faecalis* och *Ent. faecium*), sporer från anaeroba sulfitreducerande bakterier (*Clostridium perfringens*) samt kolifager (virus som infekterar vissa *E. coli*-stammar och därmed speglar förekomst av sådana stammar), s. 34 i [19].

3 Nuvarande situation avseende vattenburen smitta

Under det senaste årtiondet har gjorts några studier av vattenburna utbrott i Sverige, se Tabell 1 för en översikt. Det är svårt att se någon säker trend i dessa data eftersom studiernas period och metod skiljer sig. T.ex. beror det höga antalet smittade per år i den senaste studien på att den inkluderar de stora utbrotten i Östersund 2010 och Skellefteå 2011. I studierna redovisas endast de rapporterade utbrotten. Mörkertalet tros vara mycket stort för både utbrott och smittade som aldrig upptäcks och rapporteras [3,9]. Data från senaste studien av variationerna av utbrott per år och månad visas i Figur 1 respektive Figur 2. Den senare visar att de flesta utbrotten sker under sommaren.

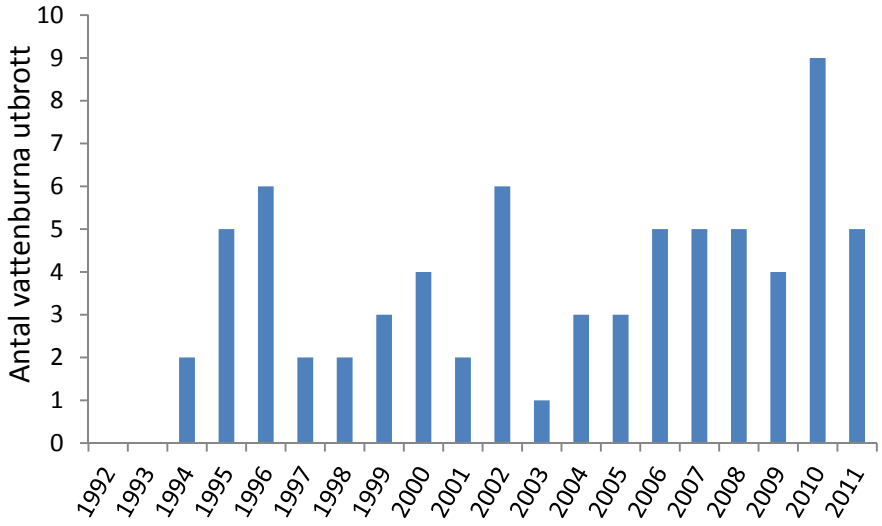
Tabell 1 Antal vattenburna utbrott och antal smittade i medeltal per år för tre studier i Sverige

	Studie 2005[a]	*Studie 2012*[b]	*Studie 2013*[c]
Period	1980-2003	1993-2009	1992-2011
Antal utbrott/år	5,8	4,5	3,9
Antal smittade/år	2610	1830	3600

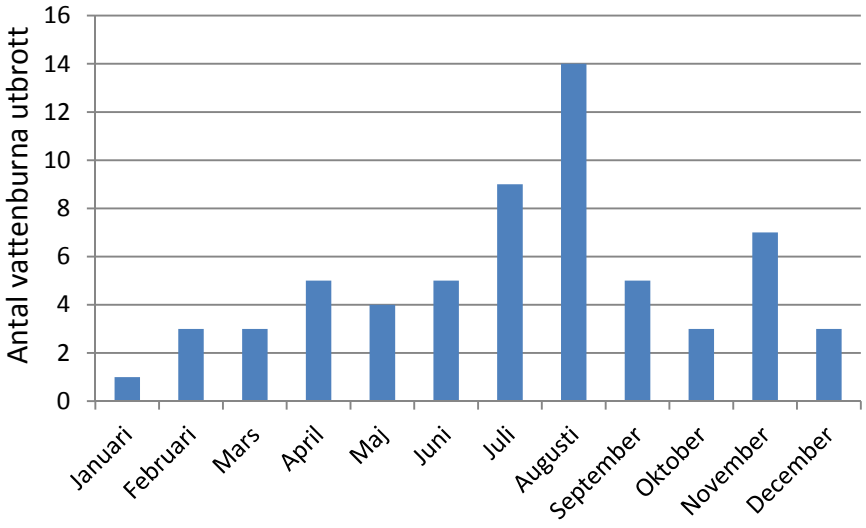
Källor: [a] Lindberg, T. och R. Lindqvist (2005) Riskprofil: Dricksvatten och mikrobiologiska risker, Rapport nr 28, Livsmedelsverket. [9] [b] Dryselius, Rikard (2012) Mikrobiologiska dricksvattenrisker ur ett kretsloppsperspektiv - behov och åtgärder, Rapport Nr. 6, Livsmedelsverket. [3] [c] Schönning, C., E. Hallin, A. Carlander, A. Hansen och B. Björkholm (2013) Presentation, ”Smittskyddsinstitutets utvecklingsarbete inom dricksvattenområdet”, SMI, Dricksvattenkonferensen, 17 april 2013, Göteborg. [20]

De små och medelstora (färre än 4000 försörjda) står för ca 75 % av utbrotten, men endast 15 % av de smittade. De vattenverk som utgår från grundvatten står för närmare 80 % av utbrotten medan knappt hälften av de som smittas [9]. I hälften av utbrotten smittas färre än 100 personer [20]. Sammanfattningsvis så sker de flesta utbrott vid de små grundvattenverken som har färre reningssteg och ofta saknar mikrobiologisk desinfektion. Det sker färre utbrott vid de större ytvattenverken, men ofta leder dessa utbrott till att många fler blir smittade. Några nyliga exempel på stora utbrott beskrivs nedan.

De vanligaste orsakerna till utbrotten är att råvattnet har förorenats (60 % av fallen) eller genom förorening i ledningsnäten [9]. Under åren 1995-2009 berodde 38 procent av utbrotten på fekalt förorenat vatten i distributionssystemet och att detta orsakat 19 procent av det sammanlagda antalet sjuka av dricksvatten [3].



Figur 1 Antal vattenburna utbrott i Sverige 1992-2011. Totalt 78 utbrott med ungefär 72000 smittade. Källa: Smittskyddsinstitutets data [20].



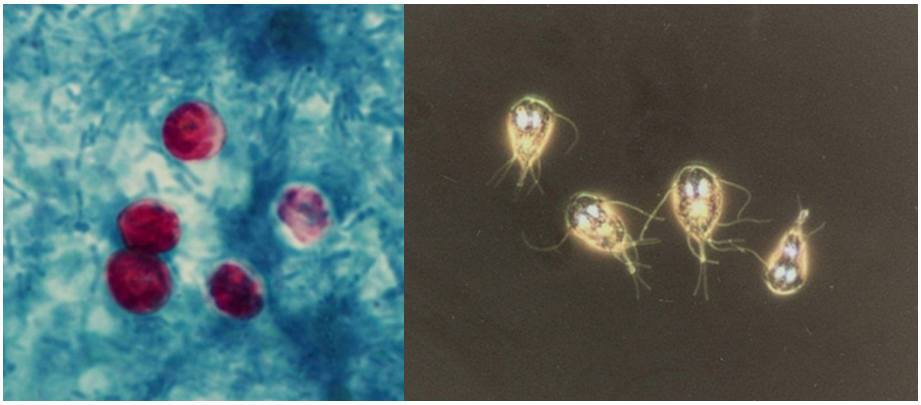
Figur 2 Antal vattenburna utbrott per månad i Sverige 1992-2011. Källa: Smittskydds-institutets data [20].

Enligt studierna var de mikrobiologiska orsakerna till smittan okända i en stor andel av fallen, 70 % [9] respektive 54 % [20]. Vid de utbrott där man kunnat identifiera de orsakande organismerna har de vanligaste varit arter av *Campylobacter* och norovirus, men även *Echerichia coli, Cryptosporidium* och *Giardia* (s. 22 i [21] och [9,20] Historiskt har ett antal vattenburna utbrott förekommit. Några exempel på sådana finns sammanställda i Tabell 2.

Tabell 2 Exempel på vattenburna utbrott i Sverige där orsakande organism anges samt fastställd eller trolig orsak till utbrottet.

Plats/år	*Råvatten (grund/yt)*	*Antal sjuka*	*Organism*	*Orsak*
Grums 1980	Grund	2–3 000	*Camp. jejuni*	Älvvatten trycktes in i distributions-ledning
Sälen 1986	Grund	1 500	*G. lamblia* m.fl.	Avloppsvatten läckte in i dricks-vattenreservoar
Boden 1988	Ytvatten	11 000	Inte identifierat	Bristande klorering
Jönköping 1991	Ytvatten	600	*G. lamblia, Camp. jejuni, Crypto-sporidium*	Avloppspåverkat åvatten trycktes direkt in i dricks-vattenledning
Kramfors 1994	Ytvatten	2 000	*Camp. jejuni*	VA-verk under ombyggnad
Marks kommun 1995	Grund	3 000	*Camp. jejuni*	Förorening på ledningsnätet
Sydvästra Skåne 1995	Grund	10 000	Inte identifierat	Bristande vattenrening
Söderhamn 2003	Ytvatten	3 000	*Camp. jejuni*	Förorenad infiltrationsdamm?
Lilla Edet 2008	Ytvatten	2 400	*Novovirus*	Bräddning uppströms?
Östersund 2010	Ytvatten	27 000	*C. hominis*	Ej fastställt
Skellefteå 2011	Ytvatten	20 000	*C. hominis*	Oklart

Källa: Hämtad från LRF (2012) *Dricksvatten och mikrobiologiska risker från lantbrukets djur*, Tabell 2, Lantbrukarnas Riksförbund, Stockholm.



Figur 3 *Cryptosporidium* oocystor till vänster och *Giardia* trofozoiter till höger.
Foto: Marianne Lebbad, Folkhälsomyndigheten (vänster) och Anders Magnusson, Folkhälsomyndigheten (höger).

En ökad mikrobiologisk kunskap kombinerad med förbättrade detektionsmetoder har efter hand lett fram till insikt om att även virus och protozoer utgör reella hot mot vår dricksvattenförsörjning. Framförallt är det sentida och mycket omfattande utbrott som har tydliggjort virus och parasiters relevans för dricksvattensäkerhet [3].

I november 2010 insjuknade 27 000 personer i Östersund p.g.a. förorenat dricksvatten [22]. Det vattenburna utbrottet orsakades av parasiten *Cryptosporidium hominis* [23,24] Under tolv veckor fick 50 000 personer koka sitt vatten då vattenverken inte hade kapacitet att rena dricksvattnet från parasiten. Samhällskostnaderna uppskattades till minst 220 miljoner kronor. Dessa kostnader baseras på faktorer som sjuktal, sjukfrånvaro och produktionsbortfall. Till detta kommer stora kostnader för den privata sektorns inkomstbortfall [25]. Man kan grovt räkna med en samhällskostnad vid vattenburna utbrott på omkring 10 000 kr per insjuknad person [26]. Utbrottet i Östersund var det hittills största dokumenterade vattenburna utbrottet i Sverige och det största i Europa orsakat av *Cryptosporidium*. Det var också första gången denna patogen påvisas i dricksvatten i Sverige i samband med ett utbrott (s. 28 i [23]).

Ett utbrott via dricksvatten i Skellefteå 2011 kunde också härledas till att det orsakats av organismen *Cryptosporidium* och det uppskattades att 20 000 personer insjuknade. Svenskt Vatten, Livsmedelsverket och Smittskyddsinstitutet har tagit fram rekommendationer när det gäller att minska risken för vattenburen smitta med *Cryptosporidium* och *Gardia* (en annan parasit som kan spridas med dricksvatten) [27]. Livsmedelsverket har utarbetat en riskvärdering för *Cryptosporidium* i dricksvatten och har identifierat viktiga kunskapsluckor [28]. En nationell strategi har utarbetats när det gäller *Cryptosporidium* där även förekomst i vatten behandlas [29].

Virus är också en känd källa till vattenburen smitta och norovirus, ett av det vanligaste orsaken till magsjukeutbrott i världen och orsaken till vinterkräksjukan [30], som på senare år har konstaterats i ett flertal dricksvattenutbrott i Sverige[31,32]. På grund av sin låga smittdos [33,34] och bristen på tillräckligt känsliga metoder så är det troligt att sjukdomsfall orsakade av norovirus är betydligt fler än vad som påvisats fram till idag. Kunskapen om virus i ytvatten och dricksvatten är fortfarande bristfällig [35-37]. Humant norovirus kan fortfarande inte odlas på laboratorium, vilket gör det svårt att studera. Andra sjukdomsframkallande virus som sprids via vatten är t ex sapovirus, rotavirus, astrovirus, adenovirus, enterovirus hepatit A- och hepatit E-virus [19]. Senare tiders mycket omfattande utbrott, som de i Bergen [38], Lilla Edet [39], Östersund [23] och Skellefteå [40] har tydliggjort virus och parasiters relevans för nordisk dricksvattensäkerhet [3].

3.1 Tekniska orsaker till vattenburna utbrott

Vad det gäller störning i vattendistributionen visade en enkätundersökning, genomförd av Chalmers tekniska högskola, att den vanligaste orsaken till distributionsstörning var ledningsbrott, något som inträffar minst en gång per månad i över hälften av kommunerna. Tryckfall inträffar minst en gång per år i över hälften av kommunerna. Övriga typer av störningar, som fel på reservoarer, korskopplingar och översvämmade anordningar, inträffar i de flesta kommuner mer sällan än årligen. De flesta kommuner har över 80 procent av dricksvattenledningsnätet i samma rörgrav som avloppsledningar [6].

En genomgång 2013 visade att 40 procent av antalet rapporterade vattenburna utbrott orsakades av fel eller andra störningar i distributionsnäten [6]. De vanligaste bakomliggande orsakerna till vattenburna utbrott var tekniska fel, exempelvis korskopplingar, baktryckning av vatten in i lågvattenreservoar, reningsprocessen klarade inte av dålig kvalitet på råvattnet, dricksvattenreservoarens bräddavlopp var kopplat till avloppsnätet, användning av förorenat sandfilter vid reningen och förorening av vatten i ledningarna vid reparationer och brott.

Läckor i dricksvattennäten är dessutom vanliga. Cirka 20 procent av allt dricksvatten som produceras når aldrig konsumenterna och en stor del av detta beror på läckor, s. 8 i [6]. Då dricksvattenledningar ofta ligger i samma ledningsgrav som avloppsvattenledningar finns risk för inläckage av avloppsvatten. Förnyelsetakten och underhållet av det befintliga ledningsnätet är eftersatt vilket kan komma att orsaka fler och större problem i framtiden (s. 14 i [21]). Det är inte ovanligt att felkopplingar, grävarbeten som skadar ledningar eller olika typer av reparationer kan orsaka att sjukdomsalstrande mikroorganismer sprids med dricksvattnet. I Göteborg inträffade exempelvis under januari och februari 2010 cirka 100 rörbrott, läckor svåra att upptäcka och åtgärda (s. 18 i [21]). En norsk

epidemiologisk undersökning visade på förhöjt antal fall av magåkommor i områden där lagning av läckor förekommit, jämfört med i ett motsvarande kontrollområde [41].

Ett belysande exempel på att tekniska fel eller mänskliga misstag kan få stora konsekvenser är utbrottet i Nokia, en stad i sydvästra Finland med omkring 35 000 invånare. Myndigheterna rekommenderade den första december 2007 invånarna att inte använda det kommunala dricksvattnet. Vad som hänt var från början oklart, men tusentals människor som hann dricka vattnet blev sjuka och flera hundra fick läggas in för läkarvård. Så småningom uppdagades att någon av misstag lämnat en ventil öppen i ett reningsverk varvid 450 000 liter avloppsvatten trängt in i vattenledningarna. *Salmonella* och *Campylobacter* spreds med dricksvattnet. Totalt 8500 personer insjuknade och 200 fick sjukhusvård [42].

3.2 Samband mellan väder och vattenburna utbrott i Sverige

Livsmedelsverkets anger att man funnit ett samband mellan de fall då den som ansvarar för produktionen av dricksvatten går ut med kokningsrekommendationer och tidpunkter med kraftig nederbörd [9]. Det kan noteras att en av tio svenskar har behövt koka sitt dricksvatten någon gång under de senaste fem åren och sedan sekelskiftet har i snitt en kommun per vecka gått ut med kokningsrekommendation [43]. Mellan 1998-2002 rapporterade kommunerna 60 sådana störningar per år som ledde till kokningsrekommendationer under 1-250 dagar på ett år (s. 20 i [9]). Enligt Livsmedelsverket kan det förekomma en underrapportering och rapporteringssystemet ska förbättras. Enligt den statistik som finns har antalet kokningsdagar legat relativt konstant de senaste tio åren [44].

Det är känt att vattenburna utbrott kan inträffa efter kraftiga skyfall och översvämningar. Exempelvis drabbades Sundsvall år 2000 av skyfall vid två tillfällen med konsekvenser som översvämmade brunnsområden, vattenledningar som skredade, avbrott på ledningar i gator och en påverkan på dricksvattenkvaliteten varför nödvattenförsörjningsåtgärder sattes in. Översvämningarna i Glafsfjorden år 2000 drabbade bland annat Arvikas dricksvattenförsörjning. Under minst två år därefter tvingades kommunen laga läckor. I Alvesta 2004 stod grundvattenbrunnar och infiltrationsområden under vatten i ett dygn p.g.a. översvämning varför samtliga invånare i kommunen under en månad tvingades koka sitt vatten samtidigt som desinfektion genomfördes på ledningsnätet (s. 17 i [45]).

Ett annat exempel inträffade 2008 då kraftiga regn medförde att avloppssystemen översvämmades så att förorenat vatten rann ut i Lilla Edets råvattentäkt Göta älv. Totalt 2 400 av kommunens 13 000 invånare, runt 19 procent, insjuknade. Orsaken var förorenat råvatten med bl.a. calcivirus och andra tarmvirus p.g.a. kraftigt regnande [46,47]. Ytterliggare exempel på samband mellan kraftig

nederbörd och förekomst av entero- och norovirus i råvattenintag vid bräddning av avloppsvatten från reningsverk uppströms från råvattenintag finns beskrivet för Göta älv [48].

I en studie analyserades variationen i magsjukesymtom hos befolkningen i Göteborg och att den kunde till viss del förklaras av mängden nederbörd uppströms Göta älv [49]. Med hjälp av 7 års data analyserades även hur dygns-nederbörden påverkar bakteriehalterna i Göta älv. Tydliga samband påvisades, där ihållande regnigt väder tillsammans med regnmängden är avgörande faktorer bakom älvens vattenkvalitet. Störst är effekterna två dagar efter regn och det framkom att nederbörd bör betraktas som en riskfaktor året runt [50].

3.3 Samband mellan väder och vattenburna utbrott internationellt

I en stor studie där man sammanställt resultaten från 87 vattenburna utbrott internationellt så framkom att i 55 procent av utbrotten föregicks dessa av extrem nederbörd och i 52 procent av fallen föregicks utbrotten av översvämningar [51]. För en sammanställning av referenser med vilka smittämnen som i litteraturen förknippats med vattenburna utbrott och extrema väderhändelser kopplade till vatten, se tabell 5, s. 35 i VIROCLIME [52] och Bilaga 2.

Sambanden mellan extrem nederbörd och ökande fall av vattenburna sjukdoms-utbrott har undersökts i USA. Man fann där ett samband mellan stora lokala nederbördsmängder och antalet utbrott av vattenburen smitta. Förorening av vattentäkter och dricksvatten sammanföll med regnmängder över 50-60 mm under en dag [53]. Mer än 50 procent av de 548 utbrott av vattenrelaterade sjukdomar som inträffade i USA mellan 1948 och 1994 föregicks av extremt kraftigt regn. Dessa kraftiga regn resulterande i höga flöden och ibland även överbelastning av avloppssystem vilket kan ha medfört att sjukdomsframkallande organismer bl.a. tarmbakterier även förorenat grundvattnet. Utbrott p.g.a. föro-renat grundvatten förekom men med en fördröjning på två månader efter kraftig nederbörd [54].

Det hittills största vattenburna utbrottet förekom i Milwaukee 1993 då omfattande vårregn och snösmältning orsakade ett utbrott med *Cryptosporidium* med totalt 54 dödsfall och 403 000 personer som insjuknade [55]. Även utbrott med *Giardia* har förekommit efter extrem nederbörd [56]. Utnyttjande klimat-modeller kan man även förutsäga baserat på de förväntade ökade regnmängderna att antalet vattenburna utbrott i slutet på detta århundrade kommer att öka med ungefär 50-100 procent i Lake Michigan-trakten om inga åtgärder vidtas [57]. Denna typ av förutsägelser är naturligtvis förknippade med stora osäkerheter.

I Kanada har också samband noterats mellan stora nederbördsmängder och utbrott av vattenburen smitta, exempelvis i Walkerton. Utbrottet med

Escherichia coli 0157:H7 och *Campylobacter* skedde 2000 och totalt 2300 insjuknade varav 65 lades in på sjukhus [58-64].

I en studie av utbrott i Europa visades att förekomst av höga nederbördsmängder i kombination med kreatursdrift kunde leda till förorening i yt- eller grundvatten och var bidragande orsak till utbrott med *Cryptosporidium* [65]. Det antas finnas ett starkt samband mellan utbrott orsakat av *Cryptosporidium* och nederbörd eller kraftig nederbörd. Oregelbundna och/eller kraftiga regn kommer att påfresta kapaciteten hos vattenreningsverken, vilket kan leda till att *Cryptosporidium* passerar och ger upphov till vattenburna utbrott [66]. Exempel på sådana utbrott finns från många länder [67-71].

I Bergen i Norge drabbades cirka 6 000 människor av magsjuka efter att cystor av parasiten *Giardia* förorenat ytvattnet 2004. Under perioden var det några kraftiga regn med upp till 65 mm/dygn och förhöjda halter bakterier noterades i vattenprover. Vid denna tidpunkt hade vattenverket mycket begränsad rening av ytvattnet ([23,72] och s. 30 i [38]). Ett annat väl dokumenterat utbrott inträffade i Galway, Irland, 2007. Efter en period med häftigt regnande förorenades vattentäkten varvid vattenverket inte klarade att rena ytvattnet tillräckligt [73]. Det har även rapporterats från Nederländerna att stora nederbördsmängder har föregått vattenburna utbrott [74].

2007 drabbades grevskapet Gloucestershires dricksvattenförsörjning hårt då extremt stora nederbördsmängder föll över de centrala och västra delarna av England. Nederbörden översteg historiska genomsnittsvärden med upp till fem gånger. Under en dag föll 150 mm regn. Vattenverket Mythe, som försörjde 350 000 personer översvämmades och fick stängas. Under 17 dagar tvingades dricksvattenproducent att nödvattenförsörja 350 000 människor [75].

Samband mellan stora regnmängder och vattenburna utbrott har visats i England och Wales [52,76,77]. I en studie visades att endast 24 procent av vattenburna utbrott i England föregicks av extrem nederbörd [78]. I en annan större undersökning i England och Wales fann man att under de senaste hundra åren så var 20 procent av de vattenburna utbrotten förknippade med perioder med måttligt regn under en längre period medan 10 procent var förknippade med stora nederbördsmängder under kort tid [79,80] Det finns även beskrivningar av fall där vattenverken inte klarat av den ökade belastningen vid skyfall [81,82]. Trots att studier pekar på att det finns ett samband mellan stora nederbördsmängder och vattenburna utbrott finns det ändå en viss skepsis om hur det förändrade klimatet kommer att påverka risken för vattenburna utbrott i västvärlden [83].

4 Klimatförändringarnas påverkan på dricksvattenkvalitet

4.1 Klimat- och sårbarhetsutredningens slutsatser

En statlig utredning 2007, Klimat- och sårbarhetsutredningen [84,85], har värderat hur Sverige och dess olika samhällssektorer kommer att påverkas av framtida klimatförändringar.

Utredningen visar på ett antal risker som ökar i framtiden inklusive sådana som berör dricksvattensäkerheten. Förväntade konsekvenser av klimatförändringar som identifierades i utredningen var:

- Ökad nederbörd ökar grundvattenbildningen.
- Sydöstra Sverige får ökande vattenbrist.
- Höjd havsnivå kan i speciella situationer ge ökad saltvattenpåverkan.
- Ökad vattentemperatur som kan resultera i ökad mikrobiell förekomst och aktivitet.
- Högre sommartemperaturer medför ökad användning av dricksvatten.
- Ökande halter av humusämnen och algblomning i råvatten kommer att försvåra vattenreningsprocessen.
- Med ökande antal översvämningar, ras och skred kan både smittämnen och gifter i marken förorena vattentäkter, betesmark, utomhusbad och bevattningsvatten.
- Avloppsvatten kan komma att läcka in i dricksvattentäkter och i ledningar.
- Det behövs ett bättre skydd av vattentäkter för dricksvatten.
- Där behov finns bör den mikrobiologiska säkerheten öka vid beredning av dricksvatten i vattenverken.
- Det kommer att bli fler vattenburna utbrott, speciellt kan problem med virus och parasitära protozoer öka. Exempel på aktuella smittämnen är: *Campylobacter*, EHEC (Enterohaemorragisk *E. coli*), *Salmonella*, norovirus, *Cryptosporidium*, *Entamoeba* och *Giardia*.

De uppskattade kostnader för att anpassa svensk vattenförsörjning inför klimatförändringarna 2011-2100 ligger totalt för Sveriges kommuner (2000 vattentäkter) kring 5,5 miljarder kronor och för privatpersoner kring 2,2 miljarder kronor (450 000 vattentäkter). Utöver detta tillkommer ökade driftkostnader och kostnader för att lokalt vidta åtgärder för att minska föroreningsriskerna i skyddsområden för vattentäkter [86,87]

Enligt utredningen bör dricksvattenproducenter arbeta med strategier och tekniska lösningar för att möta de förväntade klimatförändringarnas inverkan på vattenkvaliteten. Det är viktigt att analysera lokala sårbarheter för varje vattenförsörjningssystem då slutsatser från Klimat- och sårbarhetsutredningen visar på en varierande påverkan inom Sverige. Medan att vissa områden sannolikt kommer att få en ökad vattentillgång p.g.a. ökad nederbörd kommer vattenresurserna sannolikt att minska i andra områden (sydöstra Sverige), med åtföljande risk för vattenbrist. De flesta svenska vattenverk är idag konstruerade för att klara smittämnen i form av bakterier men den mikrobiologiska sammansättningen har redan börjat förändras och det står klart att nuvarande relativt enkla behandlingar av råvatten till dricksvatten sannolikt inte kommer att räcka till framöver.

Vidare konstateras i ett regeringsuppdrag genomfört av Smittskyddsinstitutet (SMI), Socialstyrelsen (SoS) och Statens veterinärmedicinska anstalt (SVA) att ett förändrat klimat kommer att innebära fler och allvarligare påfrestningar på dricksvattenområdet. Redan idag ser man ökade problem vid extremväder som torka, vattenbrist, höga flöden, översvämningar och skyfall som allvarligt påverkar dricksvattenkvaliteten [88].

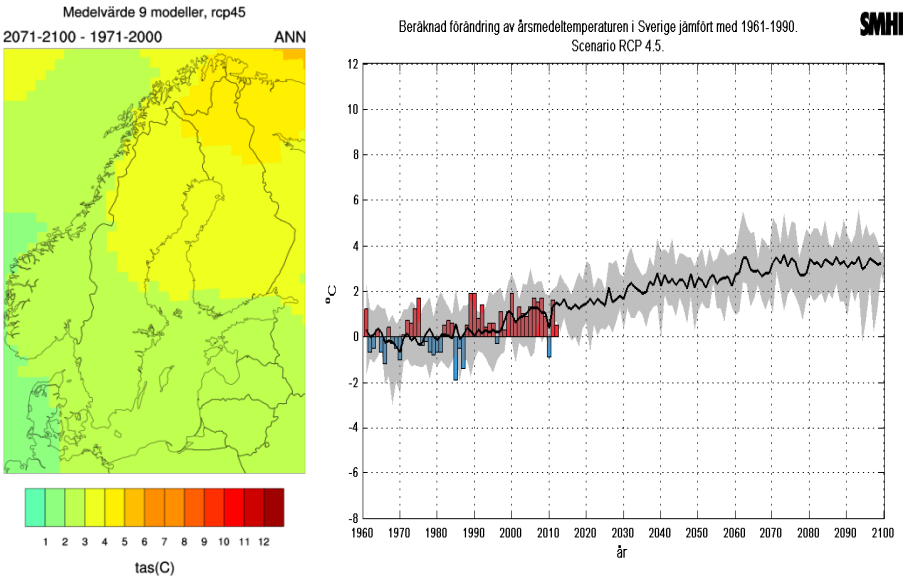
4.2 Framtidens klimat och väder

Det är numera klarlagt, bl.a. genom de omfattande vetenskapliga studier som sammanställts av FN:s klimatpanel, att stora klimatförändringar kommer att ske under detta sekel [89]. Även med drastiska åtgärder som skulle minska den mänskliga påverkan på den globala uppvärmningen kommer en betydande klimatförändring ske till följd av de utsläpp som redan skett globalt.

Klimatförändringarna beror på mänsklig verksamhet som orsakar en förändring av den globala atmosfärens gassammansättning. Den globala uppvärmningen innebär bland annat att den globala medeltemperaturen och havsnivån ökar, samt att extrema väderförhållanden blir allt vanligare och får större konsekvenser (värmeböljor, skogsbränder, tropiska stormar, översvämningar, torka, jordskred, etc.) vilka kan leda till brist på mat och dricksvatten, förlust av livsmiljöer och utrotning av vissa arter av växter och djur [89].

4.2.1 Temperatur

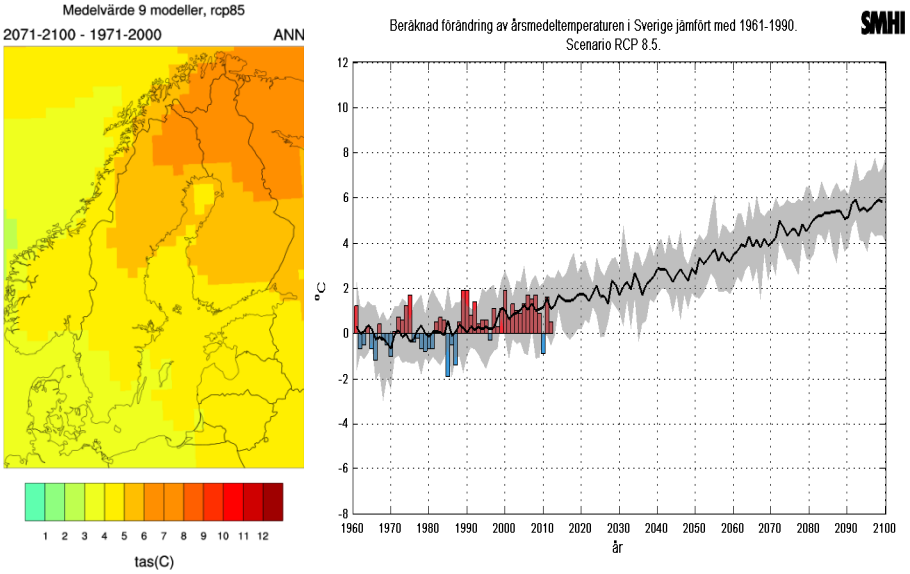
Det senaste decenniet var det varmaste som någonsin uppmätts sedan mätningarna startade 1850 [89]. Enligt FN:s klimatpanels (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) senaste utvärderingsrapport 2013 bedöms den globala medeltemperaturen höjas ytterligare med mellan 0,3 och 0,7 °C fram till perioden 2016-2035 jämfört med referensperioden 1986-2005 [89]. Hur stor ökningen blir fram till nästa sekelskifte är svårare att uppskatta [90]. Ökningen av medelvärdet



Figur 4 Temperaturförändringar i Sverige vid ökande växthusgasutsläpp baserat på SMHI:s underlag. Kartan visar den beräknade förändringen av årsmedeltemperaturen (°C) i Sverige för perioden 2071-2100 jämfört med 1971-2000. Kartan baseras på ett medelvärde av nio klimatscenarier för scenario RCP 4.5. Diagrammet till höger visar den beräknade förändringen av årsmedeltemperaturen (°C) i Sverige under åren 1961-2100 jämfört med perioden 1961-1990) Staplarna visar historiska data som är framtagna från observationer, röda staplar visar temperaturer högre än den normala och blå staplar temperaturer lägre än den normala. Den svarta kurvan visar ett medelvärde för en ensemble med nio klimatscenarier för scenario RCP 4.5. Det grå fältet visar variationsbredden mellan det högsta och lägsta värdet för medlemmarna i ensemblen. Temperaturhöjning anges som temperaturavvikelse °C [91].

för den globala temperaturen vid jordens yta för perioden 2081-2100 i jämförelse med perioden 1986-2005 kommer att vara från 0,3 till 4,8 °C beroende på vilka scenarios (Representative Concentration Pathways, RCP:er) som används vid beräkningarna [89].

Temperaturökningen är inte jämnt fördelad över jorden, temperaturen i områdena kring polerna ökar mer än de kring ekvatorn. Norra Europa är det geografiska område inom Europa som kommer att drabbas av de största temperatur-ökningarna enligt scenarierna för förväntade klimatförändringar. Förändringen blir större på vintern än under sommarmånaderna, med förväntade ökningar så höga som +8 °C till +10 °C i vissa europeiska regioner år 2080. Temperaturen i södra och centrala Europa kan komma att öka med upp till +6 °C under sommar-månaderna. En annan aspekt av stigande temperaturer är den säsongsbundna uppvärmningen. I Europa kommer vår- och sommarsäsonger att bli mest uppvärmda, medan hösten kommer att värmas mindre [90].



Figur 5 Temperaturförändringar i Sverige vid ökande växthusgasutsläpp baserat på SMHI:s underlag. Till vänster visas beräknad förändring av årsmedeltemperaturen (°C) för perioden 2071-2100 jämfört med 1971-2000. Kartan baseras på ett medelvärde av nio klimatscenarier för scenario RCP 8.5. RCP 8.5. Diagrammet till höger visar beräknad förändring av årsmedeltemperaturen (°C) i Sverige under åren 1961-2100 jämfört med den normala (medelvärdet för 1961-1990). Staplarna visar historiska data som är framtagna från observationer, röda staplar visar temperaturer högre än den normala och blå staplar temperaturer lägre än den normala. Den svarta kurvan visar ett medelvärde för en ensemble med nioklimatscenarier för scenario RCP 8.5. Det grå fältet visar variationsbredden mellan det högsta och lägsta värdet för medlemmarna i ensemblen. Temperaturhöjning anges som temperaturavvikelse °C [91].

Temperaturen i Sverige förväntas öka successivt och de flesta klimatmodeller har en likartad utveckling. Beräkningar från SMHI visar i stora drag att temperatur-ökningen kommer att vara som störst under vinter och höst i norra Sverige, på våren i mellersta Sverige och under sommaren i södra Sverige [86]. SMHI har gjort simuleringar över hur temperaturen kan förändras fram till år 2100 för olika scenarier, så kallade RCP:er (Representative Concentration Pathways [92]). RCP:erna beskriver olika utvecklingar av de globala koldioxidutsläppen fram till år 2100. Två av resultaten från simuleringar visas i Figur 4 och 5. De är baserade på RCP 4.5, vilket motsvarar att koldioxidutsläppen ökar fram till 2040 och sedan börjar minska, och RCP 8.5, vilket motsvarar fortsatt höga utsläpp av koldioxid.

4.2.2 Nederbörd

Det är inte enbart temperaturen, utan även nederbörden, som förväntas förändras i och med klimatförändringarna. FN:s klimatpanel IPCC sammanställde inför klimatförhandlingarna i Köpenhamn 2009 en teknisk rapport som behandlar klimatförändringar och vattnets kretslopp globalt [93]. Studien visar att ur ett historiskt perspektiv har nederbördsmängderna förändrats både över tiden och geografiskt. Det har uppskattats att årsnederbörden i norra och centrala Europa har ökat med 10-40 procent och minskat med 20 procent i Medelhavsområdet under det senaste århundradet [94].

Förekomsten av häftiga skyfall har ökat, och samtidigt har den totala ytan av områden med extrem torka fördubblats sedan 1970-talet. Upplagringen av vatten i bergsglaciärer har avsevärt minskat. Klimatmodellerna som simulerar framtida förändringar i klimatet visar att dessa trender kommer att fortsätta och i vissa avseenden förstärkas. Bedömningen av framtida nederbördsmängder är säkrare för vissa regioner än andra.

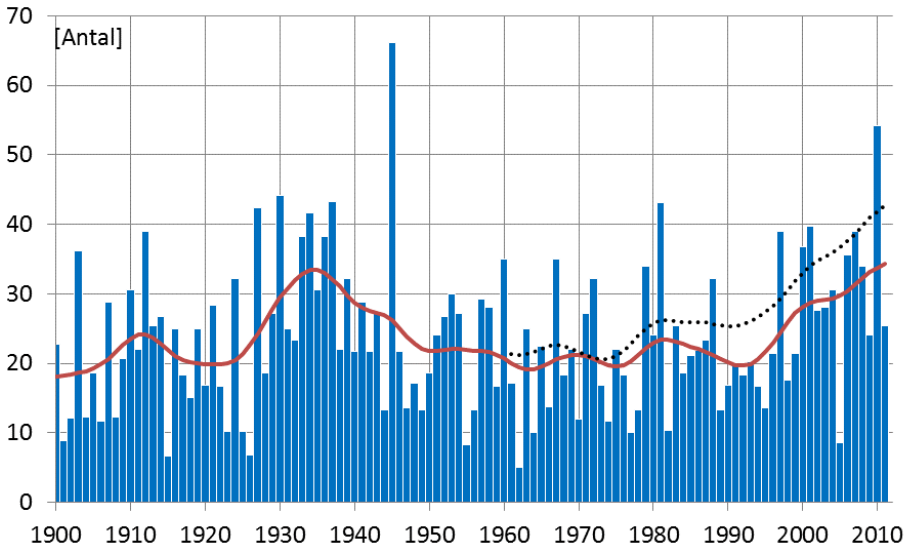
Trenden i nederbördsökningar och -minskningar förväntas fortsätta det närmaste århundradet till följd av klimatförändringarna. I och med det bedöms avrinningen öka i norra Europa med 5-15 % till 2020 och med 9-22 % till 2070 medan den för södra Europa kommer minska med 0-23 % till 2020 och med 6-36 % till 2070 enligt A2- och B2-scenarierna som togs fram av IPCC 2007 [93].

I Sverige har, enligt SMHI, skyfallen ökat under de senaste fyrtio åren. Södra Norrlandskusten, Svealand, östra Götaland och Skåne har drabbats mest av extrem dygnsnederbörd och de största nederbördstillfällena inträffar oftast under juli eller augusti. Det har noterats fler skyfall under varma perioder och färre under kalla perioder [95]. Det kan noteras att årsnederbörden har ökat signifikant i tio städer i södra Sverige [96,97]

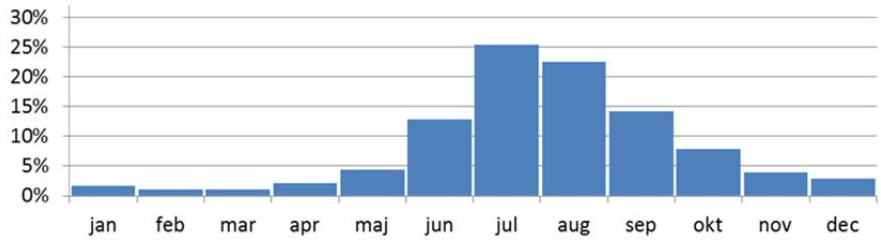
Resultat från klimatberäkningar pekar på att skyfallen i Sverige blir allt vanligare i ett varmare klimat. Skyfallen kommer att inträffa oftare och intensiteten på dem kommer att öka. Den maximala dygnsnederbörden visar dock ingen trend mot ökad intensitet. Antalet nederbördstillfällen med mer än 20 mm/dygn ökar däremot, liksom den maximala 3-dygnsnederbörden [98].

Det finns stora lokala och regionala skillnader i hur frekvensen av kraftig nederbörd förändras i vårt avlånga land. Intensiteten hos kraftiga regn sommartid beräknas generellt öka med 10-15 procent fram mot slutet av sekelskiftet. Spridningen mellan olika scenarier är stor (från oförändrad regnintensitet till en ökning med mer än 40 procent).

Regnintensiteten för mycket kraftiga regn så kallade 10-årsregn, som i genomsnitt återkommer vart tionde år med varaktigheten 10 min, 1 timme och 1 dygn, tros öka med omkring 10 procent från perioden 1961-1990 till 2071-2100 [99].



Figur 6 Antal fall per år då dygnsnederbörden var minst 40 mm på de av SMHI utvalda 60 stationerna. Många fall med minst 40 mm inträffade under 1930-talet men allra flest fall inträffade under 1945 då exempelvis Härnösand drabbades av 5 dygn med minst 40 mm och Ljungby med 3 dygn. Det har varit en anhopning av många fall med minst 40 mm under 1930-talet, 1945 och under 2000-talet. Röd kurva visar en utjämnad kurva av staplarna. Prickad svart kurva visar en utjämnad kurva av samtliga stationer som varit i drift under året. Källa: SMHI data och figur, extrem nederbörd, på internet: http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/extrem-punktnederbord-1.23041 (hämtad 2013-11-15).



Figur 7 Månader då årets största 1-dygnsnederbörd inträffat i Sverige under perioden 1961 – 2011. Källa: SMHI data och figur, extrem nederbörd, på internet: http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/extrem-punktnederbord-1.23041 (hämtad 2013-11-15).

Lite förenklat kan man säga att en nederbördsmängd på 40 mm per dygn ofta uppfattas som skyfall. När så mycket som 90 mm faller på 24 timmar får man höga flöden i vattendrag med risk för ras och översvämningar i det utsatta området [100]. Det är vanligast att årets största nederbördsmängd i Sverige under ett dygn faller under juli följt av augusti. Minst vanligt är att den största mängden faller under februari eller mars.

En syntes av den forskning kring framtida extrem korttidsnederbörd som utförts i Sverige till dags dato tyder på en förväntad ökning av extrem korttidsnederbörd (≤1 tim) med 10 procent till mitten av seklet (2050) och med 25 procent till slutet av seklet (2100). Låga och höga uppskattningar bedöms till ±10 procentenheter från de förväntade värdena men även större avvikelser är möjliga. För dygns-extremer förväntas ökningen bli fem procentenheter lägre [96].

Under sommaren förväntas Sydsverige få minskad nederbörd medan förändringarna ser ut att bli små (möjligen en liten ökning) i den norra delen av landet. Detta innebär en ökad avrinning med 5-25 procent i Sverige som helhet, men med stora regionala skillnader. Vattentillgången beräknas öka i stort sett i hela Sverige med undantag för de sydöstra delarna av landet. Vattenföringens årsrytm förändras så att vintrarna blir mer instabila med ökande vattenflöden [101]. I de scenarier som finns för klimatförändringar kommer Sverige även fortsättningsvis att vara gynnat ur vattenförsörjningssynpunkt (s. 8 i [4]).

Statens Geologiska Undersökningar (SGU) och SMHI har beräknat hur grund-vattennivåerna förändras med ett förändrat klimat i olika delar av landet. Grund-vattenbildningen kommer att öka i flertalet studerade grundvattenmagasin med undantag för de i sydöstra Götaland. Där förväntas nivåerna sjunka med en minskad grundvattentillgång och därmed en mindre mängd vatten tillgängligt för vattenförsörjning som följd [102].

4.3 Hur dricksvattenkvaliteten påverkas av väder och klimatförändringar

De är välkänt att vattenburna patogener är känsliga för förändringar i miljö-faktorer varför klimatfaktorer kommer att påverka antalet, typer och förmågan att infektera hos vattenburna smittämnen. De viktigaste klimatfaktorerna som kommer att påverka vattenburna smittämnen är temperatur, relativ fuktighet, UV-strålning, nederbördsmönster och vattentillgång [103]. En ökande vatten-temperatur kommer att inverka på vattenburna smittämnen i miljön men till-gängliga data ger ingen entydig bild. I det undersökta materialet är det extrem nederbörd och översvämningar där ett tydligare samband med vattenburna utbrott kan noteras.

Temperatur och nederbörd, såväl ökad som minskad, kan påverka dricksvatten-kvaliteten [104]. Ökade temperaturer kan leda till förekomsten av nya vatten-

burna och sjukdomsalstrande virus, protozoer och parasiter. En ökad medeltemperatur i råvatten kan också resultera i högre halter organiskt material och att bakterier kan växa till snabbare. En ökad humushalt i råvatten till följd av en högre tillrinning från omgivningen kan även det komma att öka bakteriebiomassan. Varmare dricksvatten ökar risken för tillväxt av mikroorganismer i ledningsnäten [86].

Det förekommer skillnader hos mikroorganismer när det gäller känslighet för temperaturhöjningar i vattnet, där tarmpatogener anses relativt känsliga för temperaturhöjningar men variationen mellan organismer är stor. *Giardia* och enterovirus inaktiverades lättare än *Cryptosporidium* [105]. Bland virus var också variationen stor där hepatit A-virus föreföll mer resistent medan norovirus var mindre resistent mot temperaturhöjningar. Norovirus var känsliga för temperaturer över +20 °C [103]. Vattentemperaturens effekt beror på hur stor förändringen är och har liten effekt under kortare tid exempelvis upp till 10 dagar medan längre tid kan negativt påverka [67,74] Vattnets temperatur kommer att påverkas av uppehållstiden, vattendjupet och flödeshastigheten. Det går inte att säga något generellt om hur några graders temperaturhöjning av råvattnet kan påverka framtida vattenutbrott. Däremot verkar de flesta vattenburna utbrott förekomma under de varmaste årstiderna. Torka kan resultera i att grundvattennivån sänks och man har sett exempel på förorening av vattnet om torkan följs av kraftiga skyfall [106,107].

Indirekt kan ökade temperaturer leda till en generell försämring av kvaliteten på ytvatten och grundvatten p.g.a. ökande befolkning, jordbruks- och industriell aktivitet [93,108]. Jordbruk i norra Europa kan komma att gynnas av en temperaturhöjning då nya sädesslag kan introduceras som kan överleva i ett varmare klimat [109]. Med en högre jordbruksproduktivitet i kombination med kraftigare nederbörd förväntas en försämrad vattenkvalitet i vattentäkter. Ett varmare klimat och ökad tillrinning av humusämnen och gödselmedel till råvatten gynnar även tillväxten av fytoplankton, däribland cyanobakterier varav vissa är toxinbildande och kan orsaka hälsoproblem. Stora mängder av organiskt material i råvattnet försämrar dessutom reningseffekten avseende kemiska föreningar [110]. Ett varmare klimat kan också leda till ett ökat tryck på att använda sjöar för rekreation och friluftsliv [86]. En höjd havsnivå kan ge upphov till saltvatteninträngning i vissa råvattenintag.

Den förändring i klimatet som starkast förväntas kunna påverka dricksvattenkvaliteten ur hälsosynpunkt, är den ökade nederbörden i vissa regioner vilket kan medföra ökad förorening av råvattentäkter. Grundvattentäkter kan också påverkas negativt i ett framtida klimat främst genom en ökad frekvens av extremnederbörd som skapar översvämningar som i sin tur leder till att förorenat ytvatten kan tränga in i grundvatten och brunnar (s. 9 i [19]). En av de sjukdomar som man anser kommer att öka till följd av ändrade vattenflöden vid ökande nederbörd p.g.a. klimatförändringarna är diarrésjukdomen kryptosporidios som

orsakas av *Cryptosporidium*. Extrema väderhändelser, som kraftiga regn och översvämningar, kan leda till 5-100 gångers ökning av halten av *Cryptosporidium* i råvatten och därmed en ökad risk för sjukdom med parasiten via dricksvatten [28]. Inom Sverige införs nu UV-ljus för rening i allt fler vattenverk. UV-ljus anses ha en god effekt på *Cryptosporidium.*

Skyfallen i Sverige kan leda till att avloppsreningsverk, på grund av överbelastade avloppssystem, allt oftare tvingas brädda orenat avloppsvatten, vilket kan påverka såväl yt- som grundvattentäkter. Ledningsnäten för avlopp och dagvatten har ofta inte tillräckliga dimensioner, ens för nuvarande förhållanden, vilket blir en större sårbarhet vid förändrat klimat. Ras och skred kan även påverka dricksvattenledningar varför ledningsnäten måste säkras när ras- och skredriskerna ökar [111].

Extrem nederbörd som faller under en kort tid kan ge stora problem med översvämningar i städer. Där finns gott om hårdgjorda ytor som inte kan suga upp något vatten. Därför måste en stor del av nederbörden tas om hand i dagvattensystemen. De studier som gjorts av extrem nederbörd i framtiden antyder att denna typ av händelser väntas bli vanligare i framtiden. Stora förebyggande insatser kan göras för att städerna bättre ska klara av att ta hand om extrem nederbörd [112].

En studie har genomförts av framtida flödesbelastning på Stockholms huvudavloppssystem, baserat på klimateffekten i enlighet med klimatmodellscenarier samt den uppskattade befolkningsökningen under detta sekel. Studien pekar på en kraftig ökning av bräddade volymer orenat avloppsvatten till Mälaren och Saltsjön. Till det kommer ett ökat inflöde till reningsverk samt en ökad översvämningsrisk [113]. Studier har genomförts av var de största riskerna för översvämningar finns i Sverige [114] och på dessa platser kan det medföra ökad risk för förorening av dricksvattnet om ytvattentäkt används eller p.g.a. bräddning.

I en intervjustudie med smittskyddsexperter 2007 och 2009 inom EU konstaterades att en framtida ökad intensitet och frekvens av nederbörd i norra Europa kan leda till *Cryptosporidium* infiltration i vattenreningsverken och distributionssystemen. Intervjupersoner från de nordeuropeiska länderna angav att de förväntade sig en högre risk för vattenburna utbrott p.g.a. de ökande nederbördsmängderna, i motsats till detta så ansåg intervjupersoner från de sydeuropeiska länderna, att de förväntade sig inom sin region en minskning av nederbörden vilket kunde minska dessa risker [115,116]

Inom den europeiska smittskyddsmyndigheten (ECDC, European Centre for Disease Prevention and Control) har en bedömning gjorts 2012 hur klimatförändringarna kan komma att påverka risken för livsmedels- och vattenburna utbrott i Europa. ECDC konstaterar att klimatförändringarna kommer att resultera i en förskjutning i fördelningen av smittsamma sjukdomar i Europa, men att många faktorer inverkar vilket försvårar analysen [90,117].

ECDC har ett program för livsmedels och vattenburna sjukdomar vilket täcker 20 sjukdomar [118,119]. Programmet ska förbättra systemet för epidemiologisk övervakning och stärka EU:s kapacitet att förebygga och vidta kontrollåtgärder. Viktigt är även att stärka metoderna för tidig förvarning. En plattform har skapats för snabbt utbyte av information EPIS (Epidemic Intelligence Information System for Food- and Waterborne Diseases and Zoonoses) och samverkan sker med RASFF (Rapid Alert System for Food and Feed) som drivs av EFSA (European Food Safety Agency). Ett antal sjukdomar är enligt ECDC särskilt drabbade av underdiagnostisering och underrapportering inom EU, t.ex. giardiainfektion och kryptosporidios för vilka laboratoriediagnostjänster inte är rutinmässigt tillgängliga i ett antal medlemsstater [120].

I en nordisk intervjuundersökning bland experter framgick att man förväntade sig i snitt 22 procent fler vattenburna utbrott i Norden och de svenska experterna trodde att parasiter var mer sannolika i framtiden [121]. En nordisk studie som pågår 2013, finansierad av den europeiska smittskyddsorganisationen ECDC, ska utvärdera påverkan av förändringar i klimatet på risken för vattenburna utbrott. Studien ska även undersöka om det finns ett samband mellan längden på, intensiteten och frekvensen av skyfall och vattenburna utbrott kopplade till privata eller allmänna vattentäkter. Slutligen avser studien att försöka förutsäga framtida trender när det gäller vattenburna utbrott i förhållande till förändringar i klimatet [20]. Även om det är möjligt att förutsäga att antalet tillfällen med extrem nederbörd kommer öka så kan man inte förutsäga var dessa kommer att inträffa vilket försvårar möjligheten att förutsäga var utbrott kommer att ske. I Sverige har MSB sammanställt data på var i landet de största riskerna för översvämningar finns vilket kan peka på potentiella riskområden [114].

Figur 8 Översvämningar ger ökad risk för vattenburna utbrott. Foto: Räddningsverket

5 Antagonistiska händelser, sabotage och smittspridning

Dricksvattnet är sårbart eftersom vattentäkter och ledningsnät är svåra att skydda mot sabotage och intrång genom lås, stängsel och övervakning. Vattenverk kan också utsättas för dataintrång och virusangrepp [122-124]. Det är inte otänkbart att terrorister kan inrikta sig på att förorena distributionssystemen för dricksvatten för att uppnå vissa syften och denna aspekt förbises ofta vid diskussioner om risker med vattenförsörjningen [125]. Många vattentäkter avsedda för dricksvattenproduktion liksom distributionsledningarna för dricksvatten har inte ett tillfredställande skydd mot tänkbara föroreningskällor eller för att förhindra intrång. Det har uppgetts att det var 5:e till 6:e dag någonstans i Sverige inträffar en händelse av avsiktlig karaktär vid vattenverk eller i distributionsnäten. Av dessa utgörs runt 40 procent av ren skadegörelse medan ungefär hälften är inbrott/inbrottsförsök (s. 19 i [45]). Det finns exempel på att hot och sabotage har förekommit, bl.a. mot huvudvattenledning i Munkfors 2004 [126], i Gällivare 2001 [127] och en djurrättsaktivistgrupp hotade att förorena Härnösands vattentäkt om inte länsstyrelsen ställde in det årets älgjakt [128]. 2011 arresterades en person i Spanien misstänkt för förberedelse att förgifta dricksvattnet på flera spanska orter [129].

Speciellt viktigt är att förhindra avsiktlig smittspridning via distributionssystemen för dricksvatten. Konsekvenserna om någon skulle genomföra ett sådant terrordåd kan bli mycket omfattande, vilket understryks av hur omfattande naturliga vattenburna utbrott kan vara. Dessutom existerar starka beroendeförhållanden mellan dricksvattenförsörjning och samtliga övriga samhällsviktiga verksamheter. Dricksvattnet ses som en självklarhet av konsumenterna varför förtroendet för dricksvattnet kan allvarligt skadas om information och krishantering inte sköts på ett bra sätt av kommunen. I vissa fall räcker det med en misstanke om att dricksvattnet är otjänligt för att skapa oro (s. 37 i [21]). Fortfarande är skyddet för dricksvatten eftersatt och sårbart för sabotage och terrorattacker. Exempelvis bör anordningar i distributionsanläggningen som kan utnyttjas för att trycka in förorenat vatten eller andra vätskor i distributionsanläggningen skyddas mot obehörig åtkomst (s. 13 i [21]). Risker kopplade till terrorist-handlingar ska hanteras av polisen/Säkerhetspolisen. Det saknas en systematisk central incidentuppföljning för dricksvattenförsörjningen. Någon ”syntes” görs vare sig av MSB, samverkansområdena eller departement.

Det finns, av naturliga skäl, få öppna studier som behandlar riskerna för avsiktlig spridning med sjukdomsalstrande mikroorganismer och toxiner via dricksvatten [122,130-133]. Ett exempel på en sådan är dock EU-projektet STATuS (2009-2012) där man studerat skydd mot avsiktlig spridning av mikroorganismer eller kemiska ämnen via dricksvatten. En scenariobaserad riskanalys användes för att

utvärdera riskerna. Olika reningsmetoders kapacitet att avlägsna föroreningar undersöktes också. Resultaten har sammanställts i en handbok för dricksvattenproducenter [134]. Studier har även genomförts av hur man kan sanera ett dricksvattensystem som blivit utsatt för avsiktlig smittspridning [135].

Dricksvattenproducenters datorsystem är känsliga för IT-attacker, s. 35 i [21]. 2006 genomfördes den första kända IT-attacken i USA mot ett vattenverks datorsystem med datavirus, s. 19 i [45]. Den ökade användningen av datorsystem för övervakning och styrning av beredningsprocessen för dricksvatten innebär att dessa kan påverkas negativt genom IT-intrång. Det är vanligt att allt fler datorsystem sammankopplas varför det finns risk att en skadlig kod eller virus som införs i ett system kan spridas till andra datorsystem i anläggningen. Det är därför viktigt med kunskap om systemens sårbarhet och att det finns beredskap för att hantera konsekvenser. Åtgärder behövs för att skydda vattenförsörjningens styrsystem mot IT-relaterade hot. Oavsett vilka avancerade tekniska säkerhetssystem som används så är det ofta människan som är den svaga länken. Säkerhet är därför inte bara ett tekniskt problem utan även ett personal- och ledningsproblem. IT-säkerheten inom vattenförsörjningen diskuteras utförligare i en separat FOI-rapport [136].

Livsmedelsverket har sedan 2006 föreskrivningsrätt i syfte att förhindra sabotage mot livsmedelsförsörjningen, och därmed också mot dricksvatten. Föreskrifterna kring sabotage och annan skadegörelse mot dricksvattenanläggningar omfattar inte åtgärder i området runt råvattentäkter eller de hot som klimatförändringar kan innebära, s. 4 i [137]. En säkerhetshandbok för dricksvattenproducenter har utarbetats i samverkan mellan Livsmedelsverket och Svenskt Vatten [138]. Livsmedelsverkets föreskrifter omfattar endast de vattenverk och distributionsanläggningar som försörjer fler än 2 000 personer, beräknat som årsmedelvärde, uppskattningsvis cirka 500 stycken och dessa försörjer cirka 6 miljoner invånare, eller två tredjedelar av Sveriges befolkning. Föreskrifterna (s. 4 i [137]) ställer krav på att de som bedriver verksamhet vid större kommunalägda vattenverk och distributionsanläggningar ska skydda dricksvattenkvaliteten genom att:

- vidta åtgärder så att obehöriga personer inte kan bereda sig tillträde till vattenverk, reservoarer och liknande anläggningar,
- vidta åtgärder så att övriga delar av distributionsanläggningarna skyddas mot obehörig åtkomst,
- vidta åtgärder för att system för drift och övervakning av dricksvattenproduktionen, liksom handlingar som är av betydelse för dessa funktioner, skyddas mot obehörig åtkomst, och
- upprätta handlingsplan för hur sabotage och annan skadegörelse ska upptäckas.

Reservoarer, exempelvis vattentorn, är en sårbar del i vattenförsörjningen. Eftersom de ligger nära konsumenterna kan smittspridningen vid förorening eller sabotage mot vattentorn bli omfattande och snabb. Anläggningarna bör utformas rätt för att förhindra förorening och sabotage, tillsammans med bra övervakning, regelbundna inspektioner och rutiner för rengöring, s. 9 i [7]. Känslig information om vattenförsörjningen bör skyddas. Det finns exempel på att privatpersoner krävt att få tillgång till uppgifter kring vattenförsörjningen som berörda kommuner och VA-bolag vägrat lämna ut på grund av att uppgifterna var för känsliga [139]. Frågan kan ställas om sådana beslut kan överklagas med hänvisning till offentlighetsprincipen. Ett exempel som illustrerar hur förhållandevis enkelt det skulle kunna vara att förorena dricksvatten är det vattenburna utbrottet i Jönköping där avloppsförorenat åvatten tryckts in i det kommunala nätet via en illegal korskoppling [110]. I detta fall var föroreningen av vattnet inte avsiktligt, men skulle kunna ha varit det.

6 Risk- och sårbarhetsanalys

Vattenburna utbrott har också genererat ett behov av förbättrade metoder för riskvärdering inom dricksvattenområdet [9,140-143], se även Bilaga 3. Integrerade riskbedömningar som tar hänsyn till hela dricksvattensystemet är viktiga för att förbättra samverkan mellan olika delar av systemet [144]. Den risk ett vattenförsörjningssystem är utsatt för kommer att bero på yttre förutsättningar, det egna systemets status och funktion samt eventuella beroenden mellan olika kommuner. Ledningsnäten kan vara sammankopplade eller ha samma vattentäkt [145]. För att kunna genomföra en bra riskanalys behövs god kunskap om (s. 7 i [7]):

- Ingående processteg och hur väl dessa fungerar i vattenverket,
- Råvattnets mikrobiologiska kvalitet samt dess variationer under året, och
- Förekomst av skadliga föroreningskällor inom vattentäktens tillrinningsområde och framförallt i närheten av råvattenintaget.

Kontinuitetsplanering (eller avbrottsplanering) kan vara ytterligare ett verktyg för att ta reda på vilka sårbarheter som finns i dricksvattenförsörjningen och hur prioritering av säkerhetsåtgärder kan göras. Mer information om kontinuitetsplanering finns på Myndighetens för samhällsskydd och beredskap (MSB) webbplats, s. 11 i [137].

Det finns ett årligt krav att centrala myndigheter och länsstyrelser ska lämna in risk- och sårbarhetsanalyser (RSA). Livsmedelsverket har tagit fram en handbok för att utföra risk och sårbarhetsanalyser för sitt ansvarsområde [146]. Målet med en risk- och sårbarhetsanalyser (RSA) är att upptäcka vilka behov av förebyggande och förberedande åtgärder som finns och med hänsyn till risker rangordna oönskade händelser som underlag i beredskapsplaneringen [147-150]. Rutiner bör finnas för att hantera åtminstone vattenburen smitta, elavbrott, stor läcka och förorening med olja/kemikalier, s. 7 i [7]. Under 2007 utarbetade Livsmedelsverket en handbok med syfte att ta fram en metod att relativt enkelt kunna göra en risk- och sårbarhetsanalys för dricksvattenförsörjningen [146]. Metoden bygger på en identifiering av tänkbara oönskade händelser som kan påverka dricksvattenförsörjningen. De händelser som identifieras värderas därefter med avseende på sannolikheten att händelsen inträffar samt de konsekvenser händelsen skulle medföra. Slutligen sammanvägs sannolikhet och konsekvens i en riskmatris.

Livsmedelsverkets egen risk- och sårbarhetsanalys 2011 redovisade 13 identifierade hot, risker och sårbarheter samt kritiska beroenden inom sitt ansvarsområde. IT- och informationssäkerhet, bedrägerier och oredlighet inom livsmedelskedjan, antagonistisk verksamhet (sabotage och/eller terror) och politiska och ekonomiska hot berörs, s. 33 i [21]. Dessutom anges att antagonistiska hot förekommer

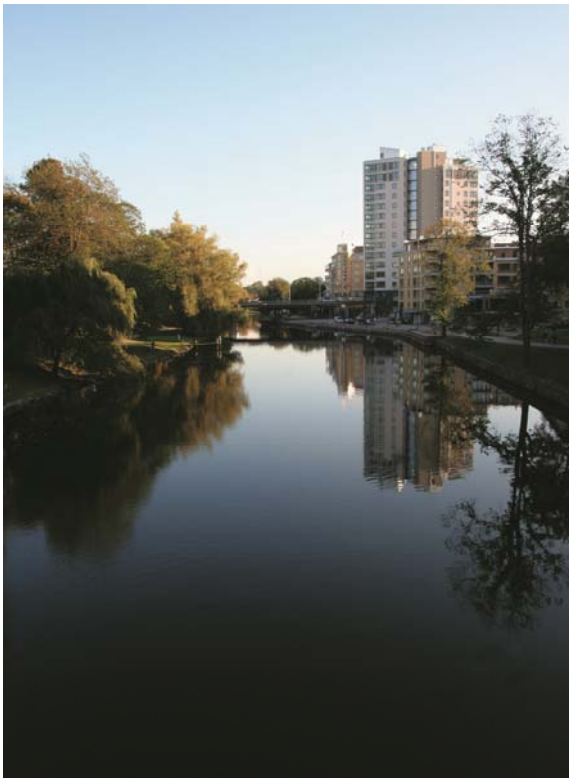
fortlöpande och att för att bedöma trovärdigheten i hoten krävs tillgång till expertstöd. Dricksvattenförsörjningen är enligt Livsmedelsverket sårbar för avsiktliga/antagonistiska handlingar samtidigt som skyddet mot sabotage och möjligheten till upptäckt av sabotage vid vattenverk och anläggningar ute på distributionssystemen är undermåliga, s. 34 i [21]. Elavbrott kan också få stora konsekvenser för vattenförsörjningen, s. 19 i [45]. Storleken på ett distributionsnät för dricksvatten har betydelse. För en större ort kan ett totalt bortfall eller spridning av smittämnen få stora konsekvenser [123].

Vidare nämner Livsmedelsverket att klimatförändringarna kommer att påverka dricksvattenområdet på kort och lång sikt. Sverige har redan drabbats hårt av extremväder som, översvämningar, höga flöden och elavbrott vilka inneburit problem för dricksvattenproducenterna och för samhället i stort. På lång sikt kan vattenkvaliteten försämras i råvattentäkterna och negativt inverka på dricksvattenproduktionen. Vattentäkterna är ofta belägna så att de är mycket sårbara för olika typer av olyckshändelser. Ett avloppssystem som överbelastas, vid ökad frekvens av nederbörd och skyfall, resulterar i bräddningar och nödavledningar från avloppssystemen till recipienten. Detta resulterar i intag av förorenat råvatten till vattenverken som använder samma sjö eller vattendrag. Hittills har kvaliteten på råvattnet varit bra varför det har räckt med en relativt enkel reningsteknik men med de förväntade klimatförändringarna finns det en risk att denna teknik inte räcker till och nya investeringar behöver göras, s. 17, 18, 33 och 34 i [21].

Livsmedelsverket anger också i sin RSA för 2011 att CBRN (kemiska, biologiska, radiologiska och nukleära) händelser som sällan förekommer ställer stora krav på provtagning, transport, hantering samt diagnostik. Här krävs specialkompetens inom hela analyskedjan, en kompetens som går utanför det som normalt krävs inom livsmedels- och dricksvattenkontrollen, s. 85 i [21].

Smittskyddsinstitutet (SMI) anger i sin RSA 2012 att de genomför ett samverkansprojekt för att svara upp mot samhällets behov av analyskapacitet inom vattenområdet i samarbete med Livsmedelsverket. Samarbete kring typning av livsmedels- och vattenburna smittämnen finns med SVA och Livsmedelsverket. Sannolikheten för att ett livsmedels- eller vattenburet utbrott sker är mycket hög men konsekvenserna för samhället hamnar oftast på en lägre nivå, s. 13 i [151].

Enligt Socialstyrelsens RSA för 2011 kan allvarlig smitta, antagonistiska hot, olycka med farliga ämnen medföra mycket allvarliga konsekvenser för samhället medan kontaminering av dricksvattenresurser kan medföra allvarliga konsekvenser för samhället, s. 21-22 och 26 i [152].



Figur 9 Stångån är en råvattentäkt för Linköping. Ån rinner rakt genom staden och är ett exempel på hur sårbara många vattentäkter är för olyckor, översvämningar och sabotage. Foto: FOI

7 Krisberedskap

En utgångspunkt för arbetet med att förbättra krisberedskapen inom vatten-området har varit den genomgång som Riksrevisionen gjorde 2008 [153]. Riks-revisionens konstaterade då att de stora kommunerna har vissa om än klart begränsade förutsättningar att klara av en allvarlig kris i dricksvatten-försörjningen. Det finns dessutom inte möjlighet att hantera sådana allvarliga kriser i storstäderna som innefattar nödvattenförsörjning av väsentliga delar av storstadsområden, evakueringar av utsatta grupper eller krav på att snabbt upptäcka okända farliga ämnen och substanser som spridits i råvattentäkter eller i distributionssystemet.

Livsmedelsverket har utsetts till samordnande myndighet för dricksvattenfrågor på nationell nivå, men regeringen är tydlig om att myndigheter som i dag har ansvar för dricksvattenrelaterade frågor ska behålla sin roll och sitt ansvar [4,12]. Livsmedelsverket hanterar också säkerhets- och beredskapsfrågor [154]. Livsmedelsverket har inom ramen för nätverket för dricksvatten utarbetat en nationell strategi för dricksvattenförsörjningen under kortare kriser (två till tre veckor) [155].

MSB har föreslagit följande resultatmål för samhällets krisberedskap för dricksvatten-försörjningen (s. 7 i [156]):

- att berörda aktörer med utgångspunkt i risk- och sårbarhetsanalyser, förmåge-bedömningar och annan beredskapsplanering vidtar åtgärder som minskar risken för allvarliga störningar i dricksvattenförsörjningen,
- att uppkomna störningar i dricksvattenförsörjningen inte ska påverka samhällsviktig verksamhet, t.ex. hälso- och sjukvård samt vård och omsorg, vatten- och avloppssystem och livsmedelsförsörjning i sådan omfattning att det uppstår allvarliga konsekvenser för samhället, samt
- att varje individ vid en störning i dricksvattenförsörjningen i ett krisläge har tillgång till följande miniminivåer av dricksvatten: för upprätt-hållandet av kroppens vätskebalans inom 1 dygn 3-5 liter/dygn, för hälso- och smittskyddet inom 3 dygn ytterligare 10-15 liter/dygn samt inom några månader 50-100 liter/dygn

Mål bör identifieras för vilka förebyggande åtgärder och förberedelser som behövs för att minska risken för allvarliga störningar i dricksvattenförsörjningen (s. 33 i [156]) samt för vilka grundläggande säkerhetsnivåer och funktionskrav är relevanta för att uppnå resultatmålen (s. 57 i [156]). Bland faktorer finns sådana som är ett resultat av kritiska beroenden av de samhällsviktiga funktioner som påverkar dricksvattenförsörjningen, t.ex. elförsörjning, telekommunikationer, IT, transporter, kemikalier och reservdelar. Risk- och sårbarhetsanalyserna bör kompletteras med en uppföljning av större störningar som inträffar i dricks-

vattenförsörjningen. Det är därför angeläget att alla större incidenter följs upp och att orsakerna till störningen rapporteras till den uppföljande myndigheten [157]. Livsmedelsverket tog 1997 fram en Riskhandbok för dricksvatten-försörjning [158].

Livsmedelsverket administrerar den nationella vattenkatastrofgruppen (VAKA) som nås via SOS-Alarm och den kan anlitas av alla kommunala funktioner och dricksvattenproducenter, samt länsstyrelser och andra centrala myndigheter. VAKA:s uppgift är att ge det stöd vid problem i dricksvattenförsörjningen, genom rådgivning och analys [159]. Livsmedelsverket och MSB har ett nationellt nödvattenlager med nödvattenutrustning för att bidra till att säkra kommunernas vattenförsörjning vid tillbud utplacerade på sex platser i Sverige: Stockholm, Ljung, Sundsvall, Luleå, Visby och Eslöv, s. 16 i [7]. Utrustningen lånas ut till kommunerna utan kostnad [4,160]

Inom det Nationella nätverket för dricksvatten bildades arbetsgruppen för DricksVAtten och KrisBeredskap (VAB) 2010. Huvuduppgiften är att vara en tvärsektoriell grupp i det nationella krishanteringssystemet och ska därför ha representanter som också representerar samverkansområdena, Skydd mot farliga ämnen (SOFÄ) [161] och Teknisk infrastruktur (SOTI) [162]. Gruppen arbetar med frågor kopplade till att förbättra krisberedskapen för dricksvatten-försörjningen.

8 Behov av förvarningssystem och nya analysmetoder

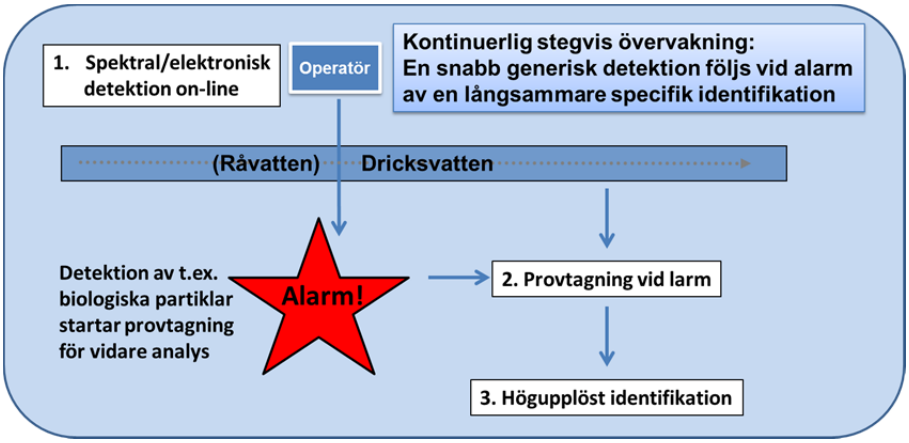
Det normala förloppet då sjukdomsframkallande mikroorganismer kommer in i dricksvatten är att sjukdomsutbrotten upptäcks först då en stor mängd människor insjuknat. Detta var tydligt t.ex. vid utbrotten av *Cryptosporidium* i Östersund 2010 som beskrivits ovan. Ett stort antal personer hade redan insjuknat då rekommendationerna om att koka vattnet gavs och antalet minskade inte förrän flera dagar senare [22]. Det skulle vara en stor samhällsnytta om man redan innan utbrottet kunde upptäcka förekomsten av och helst identifiera mikro-organismerna i dricksvattnet. Dels skulle man kunna förhindra eller minska fortsatt spridning och dels skulle man snabbare kunna behandla de som insjuknat och därmed minska både det personliga lidandet och samhällskostnaden som kan vara betydande vid stora utbrott.

De kontroller av dricksvattnet som görs rutinmässigt, baseras på att påvisa vissa indikatororganismer. Dessa kontroller upptäcker inte flera av de vanligaste mikroorganismer som har orsakat vattenburna utbrott. Dessutom fås normalt resultaten flera dagar efter provtagning. Detta gör även att det orsakande smittämnet förblir okänt vid många utbrott [3]. Det blir även svårt att hitta orsaken till att mikroorganismerna kommit in i dricksvattensystemet, t.ex. via råvattnet, felkopplingar eller avsiktlig spridning, då flera dagar kan ha gått innan man börjar leta efter orsakerna och ännu längre, om ens alls, innan man kan åtgärda orsakerna.

Även om man skulle upptäcka en ökning av indikatorbakterier i ett tidigt skede är det inte säkert att man sätter in tillräckliga motåtgärder. En ökad klorering är en bra åtgärd för bakterier men andra organismer, så som virus och protozoer, överlever i större grad en ökad klorering [3]. Därför är det viktigt att snabbt bestämma vilken typ av smittämne som finns i vattnet.

Med de ökande riskerna av naturligt förekommande smitta, bl.a. på grund av klimatförändringarna med ökande nederbördsmängder och en ökad oro för avsiktlig smittspridning, har skapat intresse för att undersöka nya analysmetoder för att bättre och snabbare kunna upptäcka smittämnen i dricksvatten. Man har även börjat undersöka metoder och system för att kontinuerligt övervaka dricksvattnet. Många av dagens analysmetoder är relativt långsamma (dagar) och kräver utbildad laboratoriepersonal. Därför försöker man hitta nya metoder som ska vara enklare, billigare och snabbare att använda. Inga analysmetoder idag är dock heltäckande och tillräckligt snabba för behovet. Man undersöker även andra mer generiska metoder som ska upptäcka förändringar i vattenkvaliteten, till exempel med spektroskopiska metoder, för att varna för förändringar men också för att initiera en provtagning och noggrannare analys, se Figur 10. Med detta tillvägagångssätt så gör man analysen då man misstänker att något är fel. Dels

blir det säkrare än motsvarande antal slumpvisa provtagningar och dels har man större chans att upptäcka en smittspridning i början än att försöka kartlägga den i efterhand.



Figur 10 Vision om ett kontinuerligt övervakande förvarningssystem med automatisk provtagning för vidare och noggrannare analys.

Ett förvarningssystem som kontinuerligt övervakar vattenkvaliteten kan t.ex. bestå av sensorer som detekterar kemisk-fysikaliska parametrar som konduktivitet, turbiditet, temperatur, pH-värde och redoxpotential. Dessa parametrar ger framför allt en bild om den kemiska statusen på vattnet. För att få en snabb indikation på den biologiska statusen kan man t.ex. mäta det totala innehållet av organisk kol med spektroskopiska metoder eller göra snabbanalyser av specifika mikroorganismer, antingen indikatorbakterier eller sjukdomsframkallande mikroorganismer. För att kunna identifiera patogena organismer krävs normalt provtagning och analys med immunologiska eller genetiska metoder. Då koncentrationen av organismerna är låg behövs t.ex. filtrering, koncentration eller multiplicering av det genetiska materialet med polymerase chain reaction (PCR) för att de ska kunna detekteras.

Det amerikanska miljödepartementet (EPA) genomförde en studie om tillgänglig och kommande teknik för förvarningssystem 2005 [163]. Studien behandlar inte bara sensorer för detektion av kemiska, biologiska och radioaktiva hot utan även övriga delar i ett system så som databehandling, placering av sensorer i kombination med flödesberäkningar och beslutstödsystem. Studien konstaterar att det inte fanns teknik som uppfyller behovet att varna så att man kan genomföra åtgärder i tid för att förhindra att förorenat vatten når konsumenterna. Största bristerna fanns inom detektion av mikrobiella hot. Ingen enskild sensor hade enligt studien den känslighet, snabbhet och identifikationsförmåga som krävs. En möjlighet att angripa problemet de pekar på är att ha en tvåstegslösning liknande

den som visas i Figur 10. Ett tjugotal tekniker diskuteras och alla behövde vidareutvecklas för att fungera bra. Dessutom påpekade studien att utveckling av metoder för koncentrering och anrikning av proven före analys i allmänhet krävs för att nå tillräcklig känslighet.

Förvarningssystem med realtidsvarning för mikrobiella hot ligger långt fram i tiden. I nästa avsnitt beskrivs forskning och utveckling om förvarningssystem som snabbt varnar för mikrobiella hot. De flesta försök att åstadkomma sådana förvarningssystem använder sensorer som bygger på kemiska eller fysikaliska parametrar vilka inte har möjlighet att identifiera olika patogena mikro-organismer. Därför avslutas detta kapitel med ett avsnitt med speciellt fokus på identifierande analysmetoder.

8.1 Förvarningssystem för dricksvatten

Under den senaste 10-årsperioden har intresset för förvarningssystem ökat betydligt. Olika länder och organisationer har angripit problemet med olika utgångspunkter. I USA har man efter terrorattackerna 11:e september 2001 i ökad grad fokuserat på utvecklingen av förvarningssystem för skydd mot antagonistiska hot [164]. I Sverige har man snarare utvecklat system för skydd mot naturligt förekommande smittor och olyckor i vattentäkterna [165]. I USA har man prioriterat kontroll och övervakning inom dricksvattensystemet, medan man i Sverige framför allt har intresserat sig för att övervaka råvattnet, d.v.s. vattnet man tar in från vattentäkterna innan rening i vattenverken.

2004 gav USA:s president EPA i uppdrag att utveckla förvarningssystem för att säkra bl.a. vattenproduktionen mot biologiska och kemiska hot [166] En reaktion på detta var att EPA startade ett forskningsprogram som initialt kallades *Water Sentinel* men nu kallas *Water Security Initiative*. Programmet är indelat i tre faser, Design, Demonstration och Expansion. I första fasen tog de fram ett förslag till systemarkitektur, i andra fasen testas pilotsystem vid olika vattenverk och tredje fasen tas olika riktlinjer hur förvarningssystem kan introduceras i hela USA [167]. Rapporterna från forskningsprogrammet finns redovisade på EPA:s websida [168].

I programmet har EPA testat olika on-line sensorer i pilotsystemet i Cincinnati, Ohio. De konstaterar att de vanligt använda sensorerna för fritt klor och totalt organiskt kol (TOC) var de som för närvarande gav bäst förvarning för kemiska respektive biologiska föroreningar [169,170]. Ingen av sensorerna kan identifiera eller klassificera föroreningarna utan mäter endast förändringar från en förväntad baslinje. Ett larm indikerar endast att någon typ av förorening finns i vatten oavsett om det är farligt eller inte.

EPA har tillsammans med bl.a. Sandia National Laboratories även utvecklat ett verktyg som kan användas för att i ett vattendistributionssystem bestämma det

optimala antalet och position för sensorer vid design av ett varningssystem. Verktyget som kallas TEVA-SPOT (Threat Ensemble Vulnerability Assessment-Sensor Placement Optimization Tool) använder även annan tillgänglig information vid optimeringen. EPA har publicerat en sammanställning av forskningsresultat med TEVA-SPOT som även innehåller en generell litteraturöversikt av forskning på hur man på placerar sensorer optimalt i vattendistributionssystem [171].

I Europa har man inte tagit samma samlade grepp som i USA. På EU-nivå har dock flera större forskningsprojekt bedrivits med fokus på vattenförsörjningen. Techneau 2006-2010 studerade dricksvattensäkerhet från täkt till kran [172]. Ett av arbetspaketen studerade övervakning och kontroll av vattenkvaliteten där man forskade på nya sensorer och analystekniker. Man gjorde även en analys av befintliga tekniker. Däremot gjordes inga ansatser att kombinera metoderna i ett förvarningssystem. Inom det nyss avslutade EU-projektet SecurEau har system för övervakning och dekontaminering utvecklats som kan upptäcka avsiktlig biologisk eller kemisk nedsmittning av dricksvattensystem. Avsikten var att utveckla ett förvarningssystem som baseras på att använda en serie av sensorer som indikeringar förändringar i vattenkvaliteten, optimera placeringen av sensorerna samt ett databehandlingssystem för att utvärdera analysresultaten [173,174].

I Sverige gjordes en genomgång av förvarningssystem 2009. Vid denna tidpunkt fanns det få förvarningssystem vid svenska vattenverk. De som fanns mätte framför allt generella parametrar t.ex. konduktivitet, temperatur och pH-värde som ger en bild om den kemiska statusen på vattnet. Dessutom hade många vattenverk doftbänkar och doftkolonner inne på vattenverket för att upptäcka petroleumföroreningar. Operativa förvarningssystem för mikrobiella hot var nästan obefintliga. Det enda exemplet som togs upp i studien var de automatiska instrument som mäter halten av *E. coli* i två av Göteborg vattens mätstationer. Svaret på mätningen fås dock först efter 12 timmar. I studien framkom det att många kommuner i Sverige är intresserade av system för tidig förvarning, men sådana system ställs mot andra investeringar. Därför var användningen inte särskilt utbredd. De ansåg att tidig förvarning för oljeföroreningar var högst prioriterat [165].

Det finns några projekt i Sverige som har utvärderat en teknik som kontinuerligt bl.a. utnyttjande lasersensorer kan övervaka, dokumentera och ta prov på vattenkvaliteten i råvatten och dricksvatten för att upptäcka försämring av dricksvattenkvaliteten innan vattnet distribueras till konsumenten. Predect testade sitt utvecklade system i Borensbergs ytvattenverk i Motala kommun [175,176]. Avsikten är att upptäcka mikroskopiska föroreningar som vi korrelerar till samma storlek som bakterie och parasiter såsom *Cryptosporidium* och *Giardia*. Under perioden september 2009 till december 2010 genomfördes tester på Borensbergs vattenverk. Vid testerna mättes partikelhalten i dricksvattnet i

realtid och kombinerades med en automatiserad provtagare som vid snabb förhöjd partikelhalt tog prover för vidare analys för att fastställa eventuell mikrobiell förorening i dricksvattnet [177].

Ett annat projekt är EVENT Händelsedetektion i krishanteringssystem som tidigt kan varna vid plötsliga förändringar i dricksvatten genom att använda en så kallad elektronisk tunga. De kunde t.ex. detektera små mängder avloppsvatten i dricksvattensystemet [178]. Projektet var ett samarbete mellan Linköpings universitet, Combitech, Proxedra, Senset, Sensistor och Tekniska verken i Linköping finansierat av Vinnova, MSB och FMV.

Ett pågående projekt är Vinnova-projektet *Online sensorsystem för resurseffektiv vattenhantering* som leds av Acreo ICT [179]. I projektet försöker man ta fram och testa förvarningssystem för både industriellt vatten och dricksvatten. För dricksvatten är de framför allt intresserade av att detektera mikroorganismer och olja. Teknikerna de undersöker för snabb mikrobiell detektion är bl.a. elektroniska tungan, interferensbaserad flödescytometri och magnetoelastisk resonans. Teknikerna testas vid olika vattenverk, bl.a. hos Norrvatten utanför Stockholm, Trollhättan energi och Sydvatten i Skåne.

Vid FOI har tester gjorts med en metod baserad på laserinducerad fluorescens som mäter på mikroorganismernas inneboende fluorescensspektrum utan föregående bearbetning av provet. Tekniken är primärt utvecklad för detektion av partiklar i luft [180], men principen har testats i laboratorium för detektion i vatten. Genom att använda en triggad och tidsgrindad detektorteknik kan fluorescensspektra från enskilda mikroorganismer mätas [181]. Multivariat signalbehandling används sedan för att klassificera partiklarna utifrån spektra. Det går på så sätt att skilja ut små mängder av en viss klass av organismer från annat. Preliminära resultat ser lovande ut för organismer såsom parasiter och bakterier [182].

Hittills har i rapporten endast diskuterats förvarningssystem baserade på sensorer och analysmetoder som detekterar förekomst av mikrobiella föroreningar i vattnet. Man kan även utnyttja s.k. syndromic surveillance d.v.s. att följa upp när symtom på sjukdom eller förskrivning av vissa läkemedel som kan tyda på vattenburet utbrott rapporteras till en övervakande enhet [183]. Olika försök har gjorts internationellt och i Sverige är det rapportering till sjukvårdsupplysningen. Förekomsten av sjukdomsalstrande mikroorganismer i dricksvattnet ger ofta utslag i sjukdomsläget i en kommun. Systemet för registrering av samtal till Sjukvårdsupplysningen (1177) kan ge en indikation på ökad sjukdomsfrekvens och därmed ökad sannolikhet för högre halter av patogener i dricksvattnet. Parasitutbrotten i Östersund 2010 och Skellefteå 2011 hade kunnat förutsägas på ett tidigare stadium med denna metod. Däremot hade snabbt uppblåsande utbrott bl.a. norovirusutbrottet i Lilla Edet 2008 fortfarande inte kunna förutsägas tidigare, men man skulle få snabb bekräftelse på en ökad incidens av magsjuka i kommunen. Ett system är under utveckling av Smittskyddsinstitutet, i samarbete

med Livsmedelsverket och Sjukvårdsupplysningen 1177 [184]. Denna typ av förvarningssystem förhindrar inte att människor blir sjuka, men gör att man snabbare upptäcker ett utbrott.

För att summera har vi idag inga förvarningssystem som i realtid kan detektera och identifiera sjukdomsframkallande halter av patogena mikroorganismer. Däremot försöker man få fram realtidssystem som så bra som möjligt kan varna för att det finns onormala halter av mikroorganismer i vattnet. Mycket forskning görs på teknik och metoder för att göra dem bättre, enklare och billigare så de kan implementeras i vattenverk runt om i världen. Det ultimata målet för framtiden är dock att vi kan få fram analysmetoder som även kan identifiera hoten i realtid.

8.2 Utveckling av snabba mikrobiologiska analysmetoder för rå- och dricksvatten

Enligt gällande lagstiftning för dricksvattenproduktion används kontroll i efterhand för 3-5 mikrobiologiska parametrar. En mikrobiologisk parameter är odling av indikatorbakterier. Dessa bakterier är i sig harmlösa men de indikerar fekal förorening och att det kan föreligga en förhöjd risk av patogena bakterier om indikatorbakteriehalten också är förhöjd. Dock korrelerar inte indikator-bakterier alltid med de patogena mikroorganismerna. Exempelvis så missas de vanligaste orsakerna till vattenburna sjukdomsutbrott som *Campylobacter*, norovirus och *Cryptosporidium*. Vidare är provtagningen icke-kontinuerlig och de odlingsbaserade analyserna ger svar först efter flera dagar [185,3].

En ytterligare svårighet är att patogena mikroorganismer finns i mycket låga halter. Detta medför att en större volym vatten måste koncentreras för att förekomst av mikroorganismer skall kunna detekteras med efterföljande metoder. Vid vattenburna utbrott kan den orsakande mikroorganismen vara okänd i ett första provtagningsskede. Detta och för att reducera arbetsbörda och kostnader bör provtagningsmetoder som koncentrerar samtliga mikroorganismer (virus, bakterier och parasiter) föredras. En sådan metod är ultrafiltrering, som bl.a. används av EPA i USA för sina vattenprovtagningar [186] och som också har implementerats av Livsmedelsverket, Folkhälsomyndigheten, Statens veterinär-medicinska anstalt, och FOI. Med ultrafiltrering kan man filtrera hundratals liter vatten och koncentrera alla typer av mikroorganismer simultant [187,188]

En viktig insikt är att dagens efterkontroll inte garanterar att dricksvattnet är av god kvalitet, fritt från mikrobiologiska föroreningar och uppfyller ställda krav. Mot bakgrund av detta identifierades, i en nyligen genomförd workshop och sammanställning av intervjuer framfördes att det finns ett stort behov av att värdera mikrobiologiska dricksvattenrisker och att behovet av expertstöd och kompetensstöd inom området mikrobiologi är stort [189]. Exempelvis så

efterfrågar vattenproducenterna mer kunskap om risker med grundvatten, infiltrerat grundvatten och mikrobiologiska risker kopplade till distributionsanläggningarna. Önskemål framfördes också om behov av kontinuerlig mätning av mikroorganismer i råvatten och att en användbar metod för källspårning i råvattentäkter skulle vara relevant för att möjliggöra att relevanta åtgärder kan vidtagas för att reducera mikrobiologiska risker.

För att få bättre information om dricksvattnets kvalitet är det önskvärt att kunna analysera kontinuerligt och i realtid vid råvattenintag och i distributionsnätet för att få en snabb verifiering att läget är normalt. Vid ett problem och i samband med ett utbrott är det avgörande att snabbt få information om förekomst av patogena mikroorganismer. Detta leder till att effektiva åtgärder kan sättas in tidigt och på rätt plats. Helt ny analysmetodik behöver därför utvecklas för snabb information om förekomst och typ av mikroorganismer längs vägen från täkt till kran. Teknik för kontinuerlig on-line detektion av mikroorganismer kan baseras på exempelvis på laserbaserad teknik, optiska och elektroniska biosensorer, biokemisk metabolitanalys, immunomagnetisk separation eller DNA-chip [163]. Exempelvis så har flödescytometri (en laserbaserad teknik) börjat användas i Schweiz för bestämning av bl. a totalantalet bakterier per ml i dricksvatten [190]. Ett annat intressant område är utvecklingen av miniatyriserade analyssystem som kan användas för bred, massiv och parallell DNA-sekvensering (metagenomik) av mikroorganismer samt snabb detektion med molekylära tekniker som realtids-PCR.

Molekylära tekniker som real-tids PCR kan användas för snabb (timmar), känslig och specifik påvisning av specifika smittämnen i råvatten och dricksvatten [191]. Denna teknik har många fördelar inte minst för virus och protozoer som kan vara svåra att odla från vatten [192]. Denna typ av tekniker kommer att användas alltmer rutinmässigt inom övervakning av vattenkvalitet i framtiden. Nackdelarna är att det är svårt att skilja på levande och döda organismer samt att tekniken endast ger svar på det riktade frågeställningar, d.v.s. analysmetoden förutsätter en riktad frågeställning ”finns x i provet?”

En annan variant är att detektera fekal förorening av vatten genom att med PCR påvisa grupper av mikroorganismer som är kända att förekomma i samband med fekal förorening av dricks- och råvatten eller närvaro av humant eller animalisk DNA [193,194]. Det innebär att man mäter förekomst av indikatororganismer genom att kvantifiera molekylära markörer för dessa grupper av mikroorganismer som korrelerar med fekal förorening [195]. Fördelen med detta är att det är mycket snabbare än odling, timmar istället för dagar. Denna typ av metodik är under validering och standardprocedurer är under utveckling [196]. Detta betyder att denna typ av ny metodik är den som ligger närmast för implementering i vattenverken på kort sikt. Omfattande studier av hur väl de molekylära markörerna korrelerar med fekal förorening är dock nödvändigt innan sådan teknik kan implementeras. En generisk analys av alla i ett prov

förekommande mikroorganismer är naturligtvis att föredra men ligger längre fram i tiden.

Metagenomik, som nämnts ovan, kan vara en väg att utveckla generiska analysmetoder för rå- och dricksvattenanalyser. Med metagenomik menas studier av hela den genetiska sammansättningen i ett miljöprov. Tekniken bygger på den senaste generationens sekvenseringsteknik och den variant som har väldigt hög täckningsgrad för att möjlighet skall finnas att identifiera lågfrekventa patogena mikroorganismer i miljöprover. I ett längre perspektiv kan metagenomik vara ett en teknik för att karakterisera vatten med avseende på förekomst av fekal förorening, antibiotika resistenta mikroorganismer och närvaro av olika patogener (virus, protozoer, eller bakterier). Inledande tester av tekniken har gjorts på rå- och dricksvatten vid FOI [182].

9 Diskussion och förslag på anpassningsåtgärder

Generellt kommer vi förmodligen att se en försämring av kvaliteten på ytvatten och grundvatten i framtiden p.g.a. en ökande befolkning och en förändrad jordbruks- och industriell aktivitet. Genom utdikning och hårdgörning av ytor har vi redan nu gjort avrinningsförloppen snabbare och därigenom minskat den naturliga "självrening" som sker i våtmarker, bäckar och vattendrag. En ökad tillrinning av humusämnen och gödselmedel till råvattnet kommer att gynna tillväxten av mikroorganismer, vilket ställer större krav på vattenverkens rening.

De framtida klimatförändringarna kommer också att påverka dricksvatten-försörjningen negativt genom att råvattenkvaliteten i Sverige försämras. Det är framförallt risken för ökande regnmängder i form av extrem nederbörd, med översvämningar som följd, som kommer att bidra till förorening av ytvatten och även grundvatten. De något högre luft- och vattentemperaturer som förväntas av klimatförändringen kan även de inverka negativt på dricksvattenkvaliteten, men det sambandet är inte lika klarlagt. En höjd temperatur i vattnet kan visserligen medföra tillväxt av mikroorganismer, men det kan även inaktivera vissa patogener. Vad som händer beror på typ av mikroorganism och hur länge den förhöjda temperaturen varar. Det saknas bra data på detta för svenska förhållanden.

Klimatförändringarna kommer att få allvarliga konsekvenser för vatten-försörjningen på sikt eftersom vattenverken inte är byggda och anpassade för de större flöden och högre föroreningsgrad på råvattnet som kan förväntas. Studier behöver initieras för att få fram bättre kunskapsunderlag för vilka anpassnings-åtgärder som kommer att behövas på kort och lång sikt när det gäller vatten-försörjningen. Klimat- och sårbarhetsutredningens bedömningar och rekommen-dationer är fortfarande relevanta och bör beaktas. Den genomgång av litteraturen som har gjorts inom denna studie bekräftar flera av utredningens slutsatser. Utredningen pekade också på behoven av snabba analysmetoder och en helhets-syn på vattenförsörjningen från vattentäkt till tappkran.

Det är få forskargrupper i Sverige som ägnar sig åt frågeställningar kopplade till klimatförändringar och dricksvatten i Sverige [197]. Vid FOI drevs ett projekt Climatools för Naturvårdsverket vilket leddes av FOI och där forskare från bland annat Umeå universitet deltog. Inom Climatools utvecklades bl.a. metoder och verktyg som kan behövas för att bedöma behovet av anpassningsåtgärder för samhället p.g.a. klimatförändringarna [110,143,198,199].

Epidemiologiska studier av möjliga kopplingar mellan klimatförändringar och vattenrelaterade sjukdomar befinner sig fortfarande i ett tidigt skede. Fler studier krävs för att kunna beskriva långsiktiga trender och för att göra prognoser om

klimatets effekter på vattenrelaterad hälsa. Det är viktigt att notera att hälsoeffekterna inte är begränsade enbart till infektioner utan att även kemiska föroreningar bör beaktas.

Det som förefaller klart är att det finns en risk för fler vattenburna sjukdomar p.g.a. klimatförändringarna, även om det kan finnas osäkerheter i bedömningarna. De vattenburna sjukdomar som anses komma att öka i Sverige är sådana som orsakas av bl.a. virus och protozoer, exempelvis *Cryptosporidium*. Sjukdomsfallen anses vara kraftigt underdiagnostiserade idag och antalet diagnostiserade fall i Sverige förväntas öka då analysmetoderna förbättras.

Dålig råvattenkvalitet har varit en bidragande orsak till drygt 60 procent av alla kända dricksvattenburna sjukdomsutbrott och till nära 80 procent av sjukdomsfallen. Kunskap om variationer i råvattenkvalitet är i de flesta fall bristfällig och den finns inte att tillgå i realtid. Förekomsten av sjukdomsalstrande mikroorganismer i råvatten är inte väl kartlagd. Man mäter framförallt förekomst av vissa indikatororganismer. Det anses dyrt med provtagning och när provresultatet kommer har ofta redan vattnet konsumerats. Om vi ska behålla kvaliteten på dricksvattnet kommer det att krävas nytänkande kring hela systemet hur vatten hanteras från täkt till kran och stora investeringar kan behövas under de kommande 50 åren för att möta framtida hot mot en säker vattenförsörjning.

Att härleda ett sjukdomsutbrott till en viss smittkälla kompliceras av det faktum att så många organismer kan överföras genom vatten och att smittspridning även kan ske från person till person. Det kan därför vara svårt, eller rent av omöjligt, att koppla ett misstänkt vattenrelaterat utbrott till ett visst smittämne. Kunskapsläget om förekomst av mikroorganismer, speciellt sjukdomsalstrande organismer, i råvatten och distributionsnäten är fortfarande mycket bristfällig. I mer än hälften av vattenburna utbrott har man därför inte kunnat identifiera vilket smittämne som orsakat utbrottet.

De mikrobiella vattenanalyser som normalt utförs i dagsläget vid vattenverk ger inget svar i realtid på när vattnet blev förorenat. Resultaten finns i bästa fall framme något dygn efter att smittspridning skett och värdefull tid går förlorad. Det behövs fortsatt utveckling av teknik som kontinuerligt övervakar, dokumenterar och tar prov på vattenkvaliteten i råvatten och dricksvatten för att upptäcka brister i dricksvattenkvaliteten innan vattnet distribueras till konsumenten. Sådan teknik kan bestå av laserskanning och detektion och analys av egenfluorescens från partiklar i vattnet. Genetiska tekniker förväntas också att användas alltmer rutinmässigt inom övervakning av vattenkvaliteten i framtiden och det behövs fortsatt forskning kring sådana metoder och deras tillämpning.

För att i framtiden kunna behålla en bra och säker vattenförsörjning blir skyddet av vattentäkter och distributionsnäten viktiga. I de vattentäkter där de mikrobiologiska och kemiska riskerna ökar måste riskerna kunna hanteras av vattenverken, vilket ställer högre krav på kontinuerlig övervakning av vattenkvaliteten

samt på bättre reningsmetoder. Ledningsnäten är dessutom gamla och läckage är vanliga. Vattenledningsnätet har en genomsnittlig ålder på cirka 35 år. Utbytestakten är för närvarande cirka 0,4-0,5 procent årligen, vilket innebär att en ny ledning kommer att ligga 200-250 år. Separata system för dagvatten kan behövas för att undvika att avloppsvatten läcker ut orenat vid stora skyfall.

Ett problem som behöver studeras närmare är de biofilmer som bildas i distributionsnäten och om de medför risker för spridning av sjukdomsalstrande mikroorganismer. Omkring 95 procent av distributionsnätets totala biomassa finns i biofilmer medan bara fem procent återfinns i vattenfasen. Ett annat problem är att många bakterier kan försätta sig i levande men icke odlingsbart tillstånd som gynnar överlevnad under stressande förhållanden. Samtliga av de, för svenskt vidkommande, viktiga dricksvattenburna patogena bakterierna har denna förmåga.

Ett område som speciellt bör beaktas är hur man kan förhindra avsiktlig smittspridning via distributionssystemen för dricksvatten. Fortfarande är skyddet för dricksvatten eftersatt och mycket sårbart för sabotage och terrorattacker. Konsekvenserna om någon skulle genomföra ett terrordåd kan bli mycket omfattande, vilket framgår av hur omfattande naturliga vattenburna utbrott kan vara. Polisen har emellertid varken resurser eller kompetens att bedöma eventuella risker förknippade med avsiktlig smittspridning via dricksvattnet. Det är också en brist att det saknas en systematisk central incidentuppföljning för dricksvattenförsörjningen. Detta är väsentligt för att man ska ha en uppfattning om hur risk- och hotbilden för dricksvattenförsörjningen ser ut nationellt.

Det kan konstateras att forskningen inom dricksvattenområdet har varit eftersatt i Sverige. Ett skäl kan vara att vi under lång tid haft en mycket bra kvalitet på dricksvattnet. Klimatförändringarna har dock bidragit till ett ökande intresse för forskning inom området. Svenskt Vatten är en branschorganisation som främjar samverkan mellan aktörer och akademi liksom FoU inom dricks- och avloppsvattenområdet. Positivt är 2013 att aktörer, inklusive FOI, tillsammans tog fram en nationellt förankrad strategisk forsknings- och innovationsagenda för vattensektorn i Sverige. Detta arbete har även lagt grunden för ett aktivt och brett nätverk för att driva vattenfrågor nationellt och mot EU [197]. Arbetet drivs nu vidare i en s.k. påverkansplattform finansierad av Vinnova för att främja svensk medverkan inom EU:s forskningsprogram Horisont 2020 och andra EU-initiativ [200].

Livsmedelsverket har sedan 2009 ett samordningsansvar för dricksvattenområdet vilket är positivt då det är så många departement, myndigheter, kommuner och aktörer inom dricks- och avloppsvattenområdet. Detta kan bidra till att dricksvattenfrågorna belyses mer och att beredskapen mot vattenburna utbrott förbättras.

Förslag till åtgärder

Nedan listas ett antal åtgärder som skulle kunna genomföras för att öka dricksvattensäkerheten på sikt. De är listade utan någon prioritetsordning.

Övergripande studier om risker mot dricksvattenförsörjningen

- Utveckla socioekonomiska scenarier för möjliga framtidsutvecklingar och använd dem för att få en ökad förståelse över vilka framtida risker dricksvattenförsörjningen står inför.
- Ta ett samlat grepp om riskerna med avsiktlig smittspridning, från hotbild, riskbedömning, incidentuppföljning, kontroll och övervakning till krisberedskapsplanering.
- Initiera studier om hur ett effektivare skydd av råvattentäkter, vattenverk och distributionsanläggningar kan uppnås mot oavsiktlig, passiv/naturlig eller avsiktlig förorening av dricksvattnet.

Studier om konsekvenser av klimatförändringarna

- Gör riktade forskningsinsatser för hur klimatförändringarna kommer att påverka risker och sårbarheter för vattenförsörjningen, lokalt och regionalt.
- Genomför riskbedömningar för framtiden utifrån lokala klimatscenarier för 2030, även extremscenarier. Gör bedömningar för ett representativt antal typer av vattenverk.
- Genomför historiska jämförelser av väderhändelser, lokalt och regionalt, såsom extrem nederbörd, höga flöden, översvämningar och temperaturer och undersök om det finns en korrelation till inträffade fall av vatten-buren smitta samt situationer med rekommendationer om att koka dricksvattnet.
- Genomför studier av möjliga anpassningsåtgärder baserat på lokala och regionala klimat-/hydrologiska modeller.
- Öka kunskapen om hur vattnets hygieniska kvalitet kommer att påverkas av klimatförändringen.
- Öka information och utbildning om klimatförändringar och om hur det kan påverka dricksvattenförsörjningen.

Förbättring av rening och rörnät

- Se över barriärerna/behandlingsmetoderna i vattenverken då de främst är konstruerade för att klara smittämnen i form av bakterier.
- Upprusta och förbättra distributionsnäten samt inför separata system för dag- och avloppsvatten.

Studier om kvaliteten på rå- och dricksvatten

- Öka kunskapen om kvaliteten av råvatten genom tester. Koppla resultaten till årstidsvariationer, väder etc.
- Skapa ett kunskapsunderlag om förekomst och hur sjukdomsalstrande mikroorganismer transporteras inom avrinningsområden till vattentäkter och vidare till vattenverk och konsumenter.
- Öka kunskaper om riskerna med biofilmer som bildas i distributionsnäten.
- Öka kunskapen om de material som kommer i kontakt med dricksvattnet via distributionssystemet och om materialens effekter på människors hälsa.
- Initiera studier om hur man bäst sanerar smittämneskontaminerade anläggningar och distributionsnät.

Utveckling av teknik och metoder för att registrera smittämnen

- Utveckla tidiga förvarningssystem för dricksvattenförsörjningen som beaktar hela systemet.
- Utveckla och utvärdera sensorer som i realtid och on-line, under reningsprocessen i vattenreningsverken och vid distributionen av dricksvatten kan detektera halterna av mikroorganismer i rå- och dricksvatten och med bättre klassificeringsförmåga än idag.
- Utveckla snabbare och mer generiska specifika analysmetoder som kan identifiera och mäta halterna av sjukdomsalstrande mikroorganismer
- Utveckla bättre metoder för bl.a. att möjliggöra smittspårning, samt för att avgöra hur länge smittämnen finns kvar i distributionsanläggningar och ledningsnäten.

Beredskapshöjande åtgärder

- Öka beredskapen mot elavbrott och extrema vädersituationer som skyfall, ras och skred.
- Öka IT-säkerheten i styrsystemen hos vattenproducenter genom analys och utbildning om svagheter i industriella styrsystem.

Bilaga 1 – Förkortningar

CBRN	Kemiska, biologiska, radiologiska och nukleära ämnen
CCP	Critical Control Point
CDC	Center for Disease Control and Prevention (US)
ECDC	European Centre for Disease Prevention and Control (EU)
Epidemi	Utbrott av allvarlig humansjukdom
Epidemiologi	Läran om hur smittsamma sjukdomar sprids.
EPA	Environmental Protection Agency (US)
EPIS	Epidemic Intelligence Information System for Food- and Waterborne Diseases and Zoonoses
Epizooti	Utbrott av allvarlig djursjukdom
EEA	European Environment Agency
EFSA	European Food Safety Authority
EUREAU	Sammanslutning av nationella europeiska föreningar för vattenförsörjning och avlopp
EWA	European Water Association
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FOI	Totalförsvarets Forskningsinstitut
FTA	Felträdsanalys
GDP	Good Disinfection Practice
HACCP	Hazard Analysis of Critical Control Points
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IWA	International Water Association (10 000 medlemmar i 130 länder)
MRA	Kvantitativ mikrobiologisk riskanalys (Microbial Risk Assessment)
NUTS	Nomenclature of territorial units for statistics in Europe
ODP	Optimal Desinfeksjons Praksis (ett modelleringsverktyg)
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
Patogen	Sjukdomsframkallande mikroorganism
QMRA	Kvantitativ mikrobiologisk riskanalys (eller Quantitative MRA)
RASFF	Rapid Alert System for Food and Feed (EU)
RCP	Representative Concentration Pathways
RSA	Risk- och sårbarhetsanalyser
SAMVA	Samverkansgruppen för vattenförsörjning och vattenkvalitet
SGU	Sveriges geologiska undersökning
SKL	Sveriges kommuner och lansting
SMI	Smittskyddsinstitutet (nu en del av Folkhälsomyndigheten)
SoS	Socialstyrelsen
SOFÄ	Samverkansområdet Skydd mot farliga ämnen (CBRNE)
SOTI	Samverkansområdet Teknisk infrastruktur
STATuS	Skydd mot avsiktlig spridning av CBRN-ämnen via vatten (EU-projekt)
SVA	Statens veterinärmedicinska anstalt
SWEDAC	Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll
TECHNEAU	Technology Enabled Universal Access to Safe Water (EU-project)
VAB	Arbetsgruppen för dricksvatten och krisberedskap
VAKA	Vattenkatastrofgruppen
WHO	World Health Organization
WMO	World Meteorological Organization
WSP	Water Safety Plan (WHO)

Bilaga 2 – Vattenburna patogener

Table Waterborne pathogens and their significance in water supplies[a]

Pathogen	Health significance[b]	Persistence in water supplies[c]	Resistance to chlorine[d]	Relative infectivity[e]	Important animal source
Bacteria					
Burkholderia pseudomallei	High	May multiply	Low	Low	No
Campylobacter jejuni, *C. coli*	High	Moderate	Low	Moderate	Yes
Escherichia coli – Pathogenic[f]	High	Moderate	Low	Low	Yes
E. coli – Enterohaemorrhagic	High	Moderate	Low	High	Yes
Legionella spp.	High	May multiply	Low	Moderate	No
Non-tuberculous mycobacteria	Low	May multiply	High	Low	No
Pseudomonas aeruginosa[g]	Moderate	May multiply	Moderate	Low	No
Salmonella typhi	High	Moderate	Low	Low	No
Other salmonellae	High	May multiply	Low	Low	Yes
Shigella spp.	High	Short	Low	High	No
Vibrio cholerae	High	Short to long[h]	Low	Low	No
Yersinia enterocolitica	Moderate	Long	Low	Low	Yes
Viruses					
Adenoviruses	Moderate	Long	Moderate	High	No
Enteroviruses	High	Long	Moderate	High	No
Astroviruses	Moderate	Long	Moderate	High	No
Hepatitis A virus	High	Long	Moderate	High	No
Hepatitis E virus	High	Long	Moderate	High	Potentially
Noroviruses	High	Long	Moderate	High	Potentially
Sapoviruses	High	Long	Moderate	High	Potentially
Rotavirus	High	Long	Moderate	High	No
Protozoa					
Acanthamoeba spp.	High	May multiply	Low	High	No
Cryptosporidium parvum	High	Long	High	High	Yes
Cyclospora cayetanensis	High	Long	High	High	No
Entamoeba histolytica	High	Moderate	High	High	No
Giardia intestinalis	High	Moderate	High	High	Yes
Naegleria fowleri	High	May multiply[i]	Low	Moderate	No
Toxoplasma gondii	High	Long	High	High	Yes
Helminths					
Dracunculus medinensis	High	Moderate	Moderate	High	No
Schistosoma spp.	High	Short	Moderate	High	Yes

Note: Waterborne transmission of the pathogens listed has been confirmed by epidemiological studies and case histories. Part of the demonstration of pathogenicity involves reproducing the disease in suitable hosts. Experimental studies in which volunteers are exposed to known numbers of pathogens provide relative information. As most studies are done with healthy adult volunteers, such data are applicable to only a part of the exposed population, and extrapolation to more sensitive groups is an issue that remains to be studied in more detail.

[a] The table contains pathogens for which there is some evidence of health significance related to their occurrence in drinking-water supplies. More information on these and other pathogens is presented in chapter 11.

[b] Health significance relates to the severity of impact, including association with outbreaks.

[c] Detection period for infective stage in water at 20° C: short, up to 1 week; moderate, 1 week to 1 month; long, over 1 month.

[d] When the infective stage is freely suspended in water treated at conventional doses and contact times and pH between 7 and 8. Low means 99% inactivation at 20° C generally in <1 min, moderate 1–30 min and high >30 min. It should be noted that organisms that survive and grow in biofilms, such as *Legionella* and mycobacteria, will be protected from chlorination.

[e] From experiments with human volunteers, from epidemiological evidence and from animal studies. High means infective doses can be 1–102 organisms or particles, moderate 102–104 and low >104.

[f] Includes enteropathogenic, enterotoxigenic and enteroinvasive.

[g] Main route of infection is by skin contact, but can infect immunosuppressed or cancer patients orally.

[h] *Vibrio cholerae* may persist for long periods in association with copepods and other aquatic organisms.

[i] In warm water.

Källa: WHO (2008) WHO Guidelines for Drinking-water Quality, 3rd Edition, Incorporating the First and Second Addenda, Vol. 1, Recommendations, Geneva, Table 7.1, p. 122.

Bilaga 3 – Risk- och sårbarhetsanalys

Water Safety Plan (WSP)

Världshälsoorganisationen WHO har arbetat fram konceptet Water Safety Plans (WSP) [201] som framhåller behovet av en helhetssyn från täkt till kran samt påpekar vikten av förebyggande arbete. Dricksvattenbranschen har anammat tankarna i WSP [202]. WSP är baserade på en systemspecifik riskbedömning och riskhantering för att hantera hälsorisker hos dricksvatten. Planen är ett effektivt sätt att systematiskt säkra dricksvattnet från råvatten till tappkran, bl.a. avseende:

- Förhindra förorening av vattenresurser,
- Behandla vatten för att reducera eller eliminera föroreningar,
- Förhindra förorening under hela kedjan, och
- Vara förberedd vid en kris.

WSP grundar sig på de kvalitetskrav som finns på dricksvatten och ska garantera att de uppfylls fram till konsumenten. Det är ett förebyggande arbete baserat på HACCP-principerna med egenkontrollprogram, men en komplett WSP innehåller fler moment bl.a. egenkontrollprogram, vattenskyddsområden, vattenförsörjningsplan och krishanteringsplan, s. 13 i [7].

Hazard Analysis of Critical Control Points (HACCP)

Enligt EU's hygienförordning (EG 852/2004) ska företag ansvara för att livsmedel är säkra, att hygienregler följs och att kontrollplaner bygger på HACCP-principerna (Hazard Analysis and Critical Control Point). I EU:s dricksvattendirektiv (EG 98/83) och hygienförordningen definieras dricksvattnet som livsmedel från det att det når konsumenten vid kranen och det är således från tappkranen som hygienförordningen tillämpas. De svenska dricksvattenföreskrifterna omfattar hygienregler och HACCP i hela kedjan från upptag av vatten till tappkran, vilket tydliggjorts från 1 januari 2012. HACCP är ett system för att förebygga risker som kan resultera i försämrad dricksvattenkvalitet. HACCP grundar sig på sju principer:

1. Utför hotanalys,
2. Bestäm kritiska styrpunkter, CCP,
3. Fastställ kritiska gränser,
4. Skapa ett system för övervakning av CCP,
5. Fastställ korrigerande åtgärder som ska vidtas när övervakning indikerar att en viss CCP inte är under kontroll,

6. Fastställ verifieringsmetoder för att bekräfta att HACCP-systemet fungerar effektivt, och
7. Fastställ dokumentation över alla rutiner och journaler som krävs för dessa principer och tillämpningen av dem.

Svenskt Vatten har tagit fram en handbok för egenkontroll med HACCP som är en vägledning för upprättande av grundförutsättningar/allmänna hygienregler (rutiner), HACCP-analys och rutiner för exempelvis kontroll i efterhand (provtagningsprogram) och kommunikation. När det gäller HACCP-analysen utgår riskerna från hälsofaror orsakat av mikrobiell eller kemisk förorening. En risk kan exempelvis orsakas av att en rutin/instruktion saknas eller är otydlig eller att ett beredningssteg inte ger tillräcklig reningseffekt. För varje risk anges typ av hälsofara, orsaken till hälsofaran, befintliga förebyggande åtgärder och om övervakning sker online. Nästa steg är att avgöra om risken är en kritisk styrpunkt, det vill säga CCP (Critical Control Point). För de risker som bedöms som CCP ska kritiska gränser fastställas för viktiga parametrar som mäts online. En kritisk gräns är en larmnivå som är satt så att åtgärder kan vidtas för att förhindra hälsofaran. Om en kritisk gräns överskridits ska korrigerande åtgärder, för återställning till ett godtagbart läge, anges för respektive CCP. Utifrån de befintliga förutsättningarna på vattenverket och distributionsanläggningen görs en bedömning av riskens konsekvens, sannolikhet och frekvens som vägs samman till ett risktal [203].

De finns två olika verktyg för att på ett systematiskt och standardiserat sätt utvärdera om dricksvattenberedningen har tillräckligt antal och rätt barriärer. För att säkerställa ett bra dricksvatten krävs en ansats där man arbetar utifrån kvantifiering av risk och barriärverkan i beredningsprocessen. Det finns idag två verktyg som är applicerbara för svenska förhållanden, den modell som tagits fram inom ramen för ett projekt finansierat av svenskt vatten som baseras på kvantitativ mikrobiologisk riskanalys (MRA) samt det angreppssätt som tagits fram i ett samarbete mellan Norsk Vann och Svenskt Vatten och som går under benämningen God Desinfektions Praxis (GDP) [204]. För att man ska få begrepp om ifall reningen på vattenverken är tillräcklig rekommenderar Svenskt Vatten att man genomför riskanalyser med verktygen GDP och MRA, där en ansats kan vara att inleda med en GDP-analys.

Kvantitativ mikrobiologisk riskbedömning (QMRA).

Med QMRA [205,206], ”kvantitativ mikrobiologisk riskanalys” (Quantitative Microbial Risk Assessment), (eller MRA – Microbial Risk Assessment), kan barriärverkan i vattenverk utvärderas och simuleras på ett statistiskt överskådligt sätt. Den svenska versionen initierades av SMI. En datormodell har tagits fram av Svenskt Vatten med vars hjälp vattenverk kan analyseras med avseende på mikrobiologisk risk. I modellen skapar man sitt eget vattenverk, och riskanalysen

tar sedan hänsyn till statistiska variationer hos både råvatten och barriärverkan i de olika processtegen. Modellen kan simulera både en normalsituation och ett flertal scenarier som användaren själv bestämmer, till exempel bortfall eller brister i ett eller flera processteg, s. 8 i [7]. ModellQMRA är ett beslutsstöds-verktyg för att uppskatta risken av livsmedelsburna och vattenburna sjukdomar genom kvantitativ riskbedömning för olika scenarier av klimatförändringar. Verktyget är avsett för olika klimatzoner i Europa [205].

God Desinfektions Praxis (GDP)

GDP är ett arbetssätt för att ta reda på om man uppfyller de mikrobiologiska kraven för dricksvatten med vars hjälp man kan få en uppfattning om hur väl anpassad reningsprocessen är till förutsättningarna. Nackdelen är att man inte kan ta hänsyn till variabilitet, och det är svårt att studera effekt av förändringar i processen, avsiktliga eller oavsiktliga. För det är MRA ett kraftfullare verktyg.

GDP och MRA fungerar ganska bra som kompletterande metoder för att kvantifiera behovet för mikrobiell barriärverkan i vattenförsörjningen. Erfarenheter från parallell GDP- och MRA-undersökningar för specifika vattenleveranser visar att de två oberoende metoder normalt kommer till samma slutsatser, dvs. att identifiera vattenverk med otillräckliga mikrobiella barriärer. GDP är lättare att använda eftersom den bara kräver information som är allmänt tillgänglig på vattenverk, såsom koncentrationer av indikatororganismer. Det är en relativt rutinmässig metod med inbyggda säkerhetsmarginaler som relativt lätt leder till rekommendation om desinfektionsmetod och dos. MRA-verktyget är mer lämpat för särskilda undersökningar, och ställer större krav på kunskap hos användaren [207] och s. 7 i [7].

Felträdsanalys (FTA)

Det är en riskvärderingsmetod som kan användas för att analysera orsakerna till en oönskad händelse, exempelvis vattenburet utbrott. Det kan användas också för att skaffa sig en översiktlig bedömning av hur ett dricksvattensystem kan fallera. Felträdsmetoden är ett logiskt diagram som beskriver hur sambandet mellan en olyckshändelse och alla bidragande orsaker bakom den [208,209] Metoden har tillämpats på att analysera orsakerna till 61 vattenburna utbrott i Europa [210].

ECDC:s verktyg för klimatanpassning

Det är en kunskapsbas för inverkan av klimatförändringar när det gäller livsmedels- och vattenburna sjukdomar [211]. Detta verktyg består av en on-line databas, ”PathoClim database”, som bygger på de analyserade resultaten av en

omfattande granskning (741 publikationer) om sambandet mellan meteorologiska och klimatvariabler och vissa livsmedels- och vattenburna patogener [212].

ECDC har utarbetat en handbok som ger direkta och indirekta kopplingar mellan klimatförändringar och smittsamma sjukdomar, och ger praktiska anvisningar om hur man utför en nationell riskbedömning för klimatförändringarnas effekter, sårbarhet och anpassning av smittsamma sjukdomar [213]. Vikten av att analysera förväntade klimatförändringar i samband med lokala förhållanden och sårbarheter betonas i handboken, samt instruktioner om hur man väljer rätt variabler för olika typer av sjukdomar. ECDC har också en vägledning om övervakningsstrategier för smittsamma sjukdomar och klimatförändringar i Europa

Riskvärderingsmetod för råvattentäkt

En modell har utvecklats för riskberäkning för ytvattentäkter med avseende på utsläpp av föroreningar inom ett avrinningsområde. Med hjälp av modellen kan olika risker inom en vattentäkts avrinningsområde jämföras med varandra. Den används för att jämföra olika risker med varandra samt för att bedöma den totala riskbelastningen från ett avrinningsområde. Genom att simulera förändringar till följd av planerade åtgärder vid olika riskkällor kan olika åtgärder jämföras för prioritering av riskreducerande åtgärder [214].

Referenser

1 Socialstyrelsen (2003) *Socialstyrelsens allmänna råd om försiktighetsmått för dricksvatten om försiktighetsmått för dricksvatten,* SOSFS 2003:17, med ändring (SOSFS 2005:20).

2 Socialstyrelsen (2006) *Dricksvatten från enskilda brunnar och mindre vattenanläggningar*.

3 Dryselius, Rikard (2012) *Mikrobiologiska dricksvattenrisker ur ett kretsloppsperspektiv - behov och åtgärder*, Livsmedelsverket, Rapport Nr. 6.

4 Livsmedelsverket (2009) *Nationellt samordningsansvar för dricksvatten, Ett nytt nätverk för dricksvatten ser dagens ljus*, på internet: http://www.slv.se/upload/dokument/rapporter/dricksvatten/nationellt_samordningsansvar_dricksvatten_avrapportering_till_regeringen%2020110301.pdf (hämtad 2012-06-25).

5 Svenskt Vatten, på internet: www.svensktvatten.se/Vattentjanster/Rornat/ (hämtad 2014-11-28).

6 Säve-Söderbergh, M., A. Malm, R. Dryselius och J. Toljander (2013) *Mikrobiologiska risker vid dricksvattendistribution - översikt av händelser, driftstörningar, problem och rutiner*, Livsmedelsverket, Rapport Nr. 19.

7 Svenskt Vatten (2011) *Råd och riktlinjer för ansvariga inom dricksvattenproduktion*.

8 Livsmedelsverket (2006) *Vägledning dricksvatten*, Vägledning till Livsmedelsverkets föreskrifter (SLVFS 2001:30) om dricksvatten.

9 Lindberg T. och R. Lindqvist (2005) *Riskprofil: Dricksvatten och mikrobiologiska risker*, Livsmedelsverket, Rapport Nr. 28.

10 Svenskt Vatten, på internet: www.svensktvatten.se/Vattentjanster/Dricksvatten/Vattenverkoch-reningsprocesser/Reningsprocesser/ (hämtad 2013-11-19).

11 Svenskt Vatten (2012) ”Mikrobiologiska barriärer, Sammanställning av enkät”, Ramboll, Uppsala, 2012-06-05.

12 Jordbruksdepartementet (2010) Uppdrag att redovisa Livsmedelsverkets arbete som samordningsansvarig för dricksvattenfrågor på nationell nivå (Jo2010/3458).

13 Landsbygdsdepartementet (2011) *Regleringsbrev för budgetåret 2012 avseende Livsmedelsverket*, Dok. L2011/3356 (delvis), 2011-12-22.

14 Livsmedelsverket (2008) *Dricksvatten – en överblick av den rättsliga regleringen av myndigheternas ansvar i vardag och vid kris*.

15 Livsmedelsverkets föreskrifter om epidemiologisk utredning av livsmedelsburna utbrott (LIVSFS 2005:7), på internet:

http://www.slv.se/upload/dokument/lagstiftning/2005-2006/2005_7.pdf (hämtad 2013-11-20).

16 Rosling, D. (2009) *Rapportering av dricksvattenkontrollen 2008*, Livsmedelsverket, 10 juni.

17 Lindberg, T. (2012) *Normerande kontroll av dricksvattenanläggningar 2007-2010*, Livsmedelsverket, Rapport Nr. 2.

18 Socialstyrelsen, *Dricksvatten från enskilda brunnar*, på internet: http://www.socialstyrelsen.se/halsoskydd/vatten/dricksvatten (hämtad 2013-11-17).

19 VISK (2013) *Handbok, Hur man arbetar för att minska samhällets sårbarhet för vattenburen virussmitta trots förändrat klimat*, Norsk Vatten/Göteborgs stad.

20 Schönning, C., E. Hallin, A. Carlander, A. Hansen och B. Björkholm (2013), Presentation, ”Smittskyddsinstitutets utvecklingsarbete inom dricksvattenområdet”, SMI, Dricksvattenkonferensen, 17 april 2013, Göteborg, på internet: http://www.svensktvatten.se/PageFiles/3562/002a_Sch%C3%B6nning_SMIs%20utvecklingsarbete.pdf (hämtad 2013-11-19).

21 Livsmedelsverket (2011) *Risk- och sårbarhetsanalys 2011*.

22 Johansson, A.-C., G. Bergström, G. Ålund, J. Persson och J. Hiltula (2012) *Rapport, Vattenburet utbrott av Cryptosporidium i Östersund,* november – december, Östersunds kommun.

23 SMI (2011) *Cryptosporidium i Östersund, Smittskyddsinstitutets arbete med det dricksvattenburna utbrottet i Östersund 2010–2011*, Rapport, Smittskyddsinstitutet, Solna.

24 Widerström M., C. Schönning, M. Lilja, M. Lebbad, T. Ljung T et al. (2014) “A Large Outbreak of Cryptosporidium hominis Infection in Sweden Transmitted through the Public Water Supply”. *Emerg. Infect. Dis.*, Vol. 20, No. 4, pp. 581-89.

25 Lindberg, A., J. Lusua och B. Nevhage (2011) *Cryptosporidium i Östersund vintern 2010/2011, Konsekvenser och kostnader av ett stort vattenburet sjukdomsutbrott*, FOI/Livsmedelsverket, Rapport Nr. FOI-R--3376--SE.

26 Bergmark, M. (2008) Presentation PP, ”Sverige är ett gynnat land vad gäller vattenförsörjning” 2008-10-29.

27 Livsmedelsverken, SMI och Svenskt Vatten (2012) *Cryptosporidium och Giardia – rekommendationer om åtgärder för att minska risken för vattenburen smitta*, på internet: www.svensktvatten.se (hämtad 2013-11-19).

28 Lindqvist R., M. Egervärn och T. Lindberg (2013) Riskvärdering Cryptosporidium i dricksvatten, Rapport Nr. 7, Livsmedelsverket.

29 Socialstyrelsen (2014) Infektion med Cryptosporidium, Ett nationellt strategidokument, SoS Nr. 2014-6-8.

30 Morillo S.G. and M.C.S.T. Timenetsky (2011) “Norovirus: an overview”. *Rev. Assoc. Med. Bras.*, Vol. 57, No. 4, pp. 453-458.

31 Nygard K. et al. (2003) “Emerging genotypes (GGIIb) of norovirus in drinking water, Sweden”. *Emerg. Infect. Dis.*, Vol. 9, No. 12, 1548-1552.

32 Riera-Montes M. *et al.,* (2011) “Waterborne norovirus outbreak in a municipal drinking-water supply in Sweden”, *Epidemiol. Infect*., Vol. 139, No. 12, pp.1928-35.

33 Koo H. L., N, Ajami, R, L. Atmar and H. L. DuPont (2010) “Noroviruses: the principal cause of foodborne disease worldwide”, *Disc. Med.*, Vol. 10, pp. 61–70.

34 Thebault A., P. F.M. Teunis, J. Le Pendud, F. S. Le Guyaderg and J.-B. Denish (2013) “Infectivity of GI and GII noroviruses established from oyster related outbreaks”. *Epidemics* Vol. 5, pp. 98-110.

35 Hallin, E. (2012) *Norovirus i vatten, En litteraturstudie*, Smittskyddsinstitutet, Solna.

36 Ansker, J., E. Athley, P. Ericsson, P. Häggström, P.-E. Lindgren, F. Nyström och B.-M. Pott (2013) *NORVID Riskanalys med MRA och GDP baserad på långtidsundersökning av norovirusförekomst i svenska ytvattentäkter*, Svenskt Vatten Utveckling, Rapport Nr. 2013-20.

37 Lysén, M., M Thorhagen, M. Brytting, M. Hjertqvist, Y. Andersson and K-O Hedlund (2009) “Genetic diversity among food-borne and waterborne Norovirus strains causing outbreaks in Sweden”, *J. Clin. Microbiol.*, Vol. 47, pp. 2411-2418.

38 Bergstedt, O. och P. Norberg (2004) *Må leve med Giardia en stund. Observationer från Bergen 2004*, Rapport från Livsmedelsverkets VAKA grupp.

39 Ekvall, A. (2010) *Utbrott av calicivirus i Lilla Edet - händelseförlopp och lärdomar*, Svenskt Vatten Utveckling, Rapport Nr. 2010-13.

40 SMI (2011) ”Statistik för cryptosporidiuminfektion”, Smittskyddsinstitutet, på internet: http://www.smittskyddsinstitutet.se/statistik/cryptosporidiuminfektion/?t=com&p=20998 (hämtad 2013-12-08).

41 Malm, A., T. Pettersson och O. Bergstedt (2011) ”Hälsoaspekter vid lagning av vattenläckor”, Presenterat vid Dricksvatten och klimatförändringar, 22-26 januari, Stockholm, på internet: http://www.svensktvatten.se/PageFiles/1929/2011-01-25_0_abstracts.pdf (hämtad 2013-04-12).

42 Maunula, L., *et al*, (2009) “Enteric viruses in a large waterborne outbreak of acute gastroenteritis in Finland”, *Food Environ. Virol*., Vol. 1, pp. 31-36.

43 DN (2013) Sämre kvalitet på svenska vattnet, 29 juni.

44 SVT Värmlandsnytt (2013) ”Vattenkokning kan bli vanligare”, 6 november.

45 SAMVA (2008) *Ett kunskapsunderlag med krisberedskapsperspektiv*, september, på internet: http://boffe.com/rapporter/Dricksvattnet/S%E4kerhet/Dricksvatten%2520fr%25C3%25A5n%2520t%25C3%25A4kt%2520till%2520kran%2520-%2520ett%2520kunskapsunderlag%2520med%2520krisberedskapsperspektiv.pdf (hämtad 2013-09-17).

46 Ekvall, A. (2010) *Utbrott av calicivirus i Lilla Edet - händelseförlopp och lärdomar*, Svenskt Vatten Utveckling, Rapport Nr. 2010-13.

47 VGR (2009) *Rapport om utbrottet av magsjuka i Lilla Edet 2008*, Västra Götalandsregionen, på internet: http://www.vgregion.se/upload/Smittskyddsenheten/Nyheter/Nyheter%202009/Slutrapport%20om%20magsjukeutbrottet%20i%20Lilla%20Edet%202008.pdf (hämtad 2013-11-15).

48 Åström, J., T.J. Pettersson and T. A. Stenström (2007) "Identification and management of microbial contamination in a surface drinking water source", *J. Wat. Health*, Vol. 5 (Suppl.) pp. 67-79.

49 Tornevi, A., Axelsson, G. and Forsberg, B. (2013) "Association between Precipitation Upstream of a Drinking Water Utility and Nurse Advice Calls Relating to Acute Gastrointestinal Illnesses", *PLoS* ONE, Vol. 8, No. 7, e69918.

50 Tornevi A, O. Bergstedt, B. Forsberg (2014) "Precipitation Effects on Microbial Pollution in a River: Lag Structures and Seasonal Effect Modification", PLoS ONE Vol. 9 No. 5, e98546.

51 Cann, K. F., D. R. Thomas, R. L. Salmoni, A. P. Wyn-Jones and D. Kay (2013) "Extreme water-related weather events and waterborne disease", *Epidemiol. Infect.* Vol. 141, pp. 671-686.

52 VIROCLIME (2011) *Systematic review of waterborne disease outbreaks following extreme water events*, March 2011, Conducted by: Communicable Disease Surveillance Centre, Public Health Wales.

53 Patz, J. A., S. J., Vavrus, C. K. Uejio and S. L. McLellan (2008) "Climate Change and Waterborne Disease Risk in the Great Lakes Region of the U.S." *Am. J. Prev. Med.*, Vol. 35, No. 5, pp. 451-458.

54 Curriero, F. C., J. A. Patz, J. B. Rose and S. Lele (2001) "The association between extreme precipitation and waterborne disease outbreaks in the United States, 1948–1994", *Am. J. Public Health*, Vol. 91, pp. 1194-1199.

55 Mac Kenzie, W. R., N. J. Hoxie, M. E. Proctor, M. S. Gradus, K. A. Blair, D. E. Peterson *et al.* (1994) "A massive outbreak in Milwaukee of *Cryptosporidium* infection transmitted through the public water supply", *New Eng. J. Med.*, Vol. 331, pp. 161-167.

56 Weniger, B. G., M. J. Blaser, J. Gedrose, E. C. Lippy and D. D .Juranek (1983) "An outbreak of waterborne giardiasis associated with heavy water runoff due to warm weather and volcanic ashfall", *Am. J. Public Health*, Vol. 73, pp. 868-72.

57 McLellan, S. L., E. J. Hollis, M. M. Depas, M. Van Dyke, J. Harris, and C. O. Scopel (2007) "Distribution and fate of *Escherichia coli* in Lake Michigan following contamination with urban stormwater and combined sewer overflows", *J. Great Lakes Res.*, Vol. 33, pp. 566-580.

58 O'Connor, D. R. (2002) *Report of the Walkerton Inquiry*. *Part 1, The events of may 2000 and related issues*. Toronto: 2002.

59 Hrudey. S. E., P. Payment, P. M. Huck, R. W. Gillham and E. J. Hrudey (2005) "A fatal waterborne disease epidemic in Walkerton Ontario comparison with other waterborne outbreaks in the developed world", *Water Sci. Technol.,* Vol. 47, pp. 7-14.

60 Schuster, C. J., A. G. Ellis, W. J. Robertson, D. F. Charron, J. J. Aramini, B. J. Marshall, and D. T. Medeiros (2005) "Infectious disease outbreaks related to drinking water in Canada, 1974-2001", *Can. J. Public Health*, Vol. 96, pp. 254-258.

61 Thomas, K. M., D. F. Charron, D. Waltner-Toews, C. Schuster, A. R. Maarouf and J. D. Holt (2006) "A role of high impact weather events in waterborne disease outbreaks in Canada, 1975-2001", *Int. J. Environ. Health Res.*, Vol. 16, pp. 167-180.

62 Charron, D. F., K. M. Thomas, D. Waltner-Toews, J. J. Aramini, T. Edge, R. A. Kent, A. R. Maarouf and J. Wilson (2004) "Vulnerability of waterborne diseases to climate change in Canada: a review", *J. Toxicol. Environ. Health A*, Vol. 67, pp. 1667-1677.

63 Jönsson, R. Kvibacke, C. Mäki, A. och Wikström, A-S. (2008) *Vattenburen smitta i Walkerton år 2000 en Internetstudie*, En rapport gjord av Vatten & Miljöbyrån på uppdrag av Livsmedelsverket.

64 SDWF, The Effect of Climate Change on Waterborne Diseases, What impact will climate change have on water? På internet: http://www.safewater.org/PDFS/knowthefacts/EffectClimateChangeWaterborneDiseases.pdf (hämtad 2013-09-12).

65 Risebro, H. L., Doria, M. F., Andersson, Y., Medema, G., Osborn, K., Schlosser, O. and Hunter, P. R. (2007) "Fault tree analysis of the causes of waterborne outbreaks", *J. Water Health*, Vol. 5, Suppl 1, pp. 1-18.

66 ECDC (2012) *Assessing the potential impacts of climate change on food- and waterborne diseases in Europe*, Technical Report, the European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC), Stockholm, på internet: http://ecdc.europa.eu/en/publications/Publications/1203-TER-Potential-impacts-climate-change-food-water-borne-diseases.pdf (hämtad 2012-06-19).

67 Funari, E., M. Manganelli and L. Sinisi (2012) "Impact of climate change on waterborne diseases", *Ann. Ist Super Sanità*, Vol. 48, pp. 473-487.

68 Beaudeau, P., H. de Valk, V. Vaillant, C. Mannschott, C. Tillier, D. Mouly and M. Ledrans (2008) "Lessons learned from ten investigations of waterborne gastroenteritis outbreaks, France, 1998-2006", *J. Water Health*, Vol. 6, pp. 491-503.

69 Waldron, L. S., B. C. Ferrari, C. Cheung-Kwok-Sang, P. J. Beggs, N. Stephens and M. L. Power (2011). "Molecular epidemiology and spatial distribution of a waterborne cryptosporidiosis outbreak, Australia", *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 77, No. 21, pp. 7766-71

70 Chou, W.-C., *et al*. (2010) “Modeling the impact of climate variability on diarrhea-associated diseases in Taiwan (1996 –2007)”, *Sci. Total Environ.* Vol. 409, pp. 43-51.

71 Zhang, Y., P. Bi, J. E. Hiller, Y. Sun, and P. Ryan (2007) “Climate variations and bacillary dysentery in northern and southern cities of China”, *J. Infect*., Vol. 55, pp. 194 -200.

72 Wensaas K. A., N. Langeland and G .Rørtveit (2007) “Uncovering the giardiasis-outbreak in Bergen 2004”. *Tidsskr. Nor. Laegeforen*, Vol. 127, No. 17, pp. 2222-2225.

73 Bergstedt, O., P. Aleljung, R. Lindqvist, och L-G. Olsson (2008) *Vattenburet Cryptosporidos utbrott Galway 2007 – observatörsstudier Irland november 2007*, VAKA, Livsmedelsverket, 7 januari.

74 Schijven, J. F. and A. M. de Roda Husman (2005) “Effect of Climate Change on Waterborne Disease in the Netherlands”, *Water Sci. and Technol.*, Vol. 51, No. 5, pp. 79-87.

75 Bergmark, M. Å. Jonsson, C. Nordensten, P.-E. Nyström, och E .Midlöv, (2008) *Översvämningarna i England sommaren 2007 med konsekvenser för dricksvattenförsörjningen*. Observatörsstudie januari 2008, Rapport från Livsmedelsverkets VAKA-grupp.

76 Willy, R. L., M. Hedger, and H. Orr (2005) “Climate change impacts and adaptation: a science agenda for the Environmental Agency of England and Wales”, *Weather*, Vol. 60, pp. 206-211.

77 Smith, A, M. Reacher, W. Smerdon, G. K. Adak, G. Nichols and R. M. Chalmers (2006) “Outbreaks of waterborne infectious intestinal disease in England and Wales, 1992-2003”, *Epidemiol. Infect*., Vol. 134, No. 6, pp. 1141-1149.

78 Said, B., F. Wright, G. L. Nichols, M. Reacher and M. Rutter (2003) “Outbreaks of infectious disease associated with private drinking water supplies in England and Wales 1970-2000”, *Epidemiol. Infect*., Vol. 130, pp. 469-79.

79 Nichols, G., C. Lane, N. Asgari, N. Q. Verlander and A. Charlett(2009) “Rainfall and outbreaks of drinking water related disease and in England and Wales”, *J. Water Health*, Vol. 7 No. 1 pp. 1-8

80 Senhorst, H. A. and J. J. Zwolsman (2005) “Climate change and effects on water quality: a first impression”, *Water Sci. Technol.*, Vol. 51, pp. 53-59.

81 Kistermann, T., T. Classen, C. Koch, *et al.* (2002) “Microbial load of drinking water reservoir tributaries during extreme rainfall and runoff,” *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 68, pp. 2188-2197.

82 Richardson, H. Y., G. Nichols, C. Lane, I. R. Lake and P. R. Hunter (2009) “Microbiological surveillance of private water supplies in England: the impact of environmental and climate factors on water quality”, *Water Res*., Vol. 43, No. 8, pp. 2159-2168.

83 Hunter, P. R. (2003) “Climate change and waterborne and vector-borne disease”, *J. Appl. Microbiol.*, Vol. 94, pp. 37S-46S.

84 SOU (2007:60) *Klimat- och sårbarhetsutredningen, 2007, Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter. Slutbetänkande av Klimat- och sårbarhetsutredningen*, Stockholm.

85 SOU (2007:60) *Sverige inför klimatförändringarna hot och möjligheter*, Bilaga B13 Dricksvattenförsörjning i förändrat klimat.

86 Svenskt Vatten (2007) *Dricksvattenförsörjning i förändrat klimat – Underlagsrapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen,* Meddelande M135.

87 Kjellman, K. och P.-E. Nyström (2011) *Krisberedskap i ett förändrat klimat – ändrat perspektiv för att möta det okända*, *VATTEN,* Vol. 67, s. 167-173.

88 SMI, SoS och SVA (2011) *Smittsamma sjukdomar i ett förändrat klimat*, Redovisning av ett myndighetsgemensamt Regeringsuppdrag, SMI, SoS och SVA, 11 april 2011.

89 IPCC (2013) *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)] Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

90 ECDC (2012) *Assessing the potential impacts of climate change on food- and waterborne diseases in Europe*, Technical Report, the European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC), Stockholm, på internet: http://ecdc.europa.eu/en/publications/Publications/1203-TER-Potential-impacts-climate-change-food-water-borne-diseases.pdf (hämtad 2012-06-19).

91 SMHI Klimatscenarier, på internet: http://www.smhi.se/klimatdata/Framtidens-klimat/Klimatscenarier/2.2252/2.2264?area=swe&var=t&sc=rcp85&seas=ar&dnr=0&sx=0&sy=0#sc=rcp45 (hämtad 2013-11-20).

92 IPCC (2013) Scenario Process for AR5, Data Distribution Centre, på internet: http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5_scenario_process/RCPs.html ((hämtad 2013-12-08)

93 Bates, B., Z. W. Kundzewics, S. Wu and J. Palutikof, (Eds.) (2008) *Climate Change and Water*, IPCC Working Group II, Technical Report VI, WMO and UNEP, June.

94 WSSTP (2005) *Water safe, strong and sustainable, European vision for water supply and sanitation in 2030*, Water Supply and Sanitation Technology Platform, October.

95 Wern, L. (2012) *Extrem nederbörd i Sverige under 1 till 30 dygn, 1900 – 2011*, SMHI Norrköping, Rapport Meteorologi Nr 2012-143, på internet:

http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.23051!Meteorologi-143-20120711.pdf (hämtad 2012-08-06).

96 Olsson, J. och K. Foster (2013) ”Extrem korttidsnederbörd i klimatprojektioner för Sverige”, *SMHI Klimatologi,* Nr 6, s. 1.

97 Hernebring, C., B. Dahlström och E. Kjellström (2012) *Regnintensitet i Europa med fokus på Sverige– ett klimatförändringsperspektiv,* Svensk Vatten Utveckling, Rapport Nr. 2012-16.

98 Svenskt Vatten (2012) “Häftiga regn och dagvattenflöden i förändrat klimat”, FoU Special, april, s. 13.

99 SMHI klimatanpassning, på internet:http://www.klimatanpassning.se/Hur-forandras-klimatet/Nederbord/kraftig-nederbord-1.21297 (hämtad 2013-11-19).

100 SMHI kunskapsbanken, på internet: http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/extrem-punktnederbord-1.23041 (hämtad 2013-11-19).

101 SMHI klimatanpassning, på internet: http://www.klimatanpassning.se/Hur-forandras-klimatet/nederbord-information-1.22490 (hämtad 2013-11-19).

102 Sundén, G., L. Maxe och J. Dahné (2011) ”Förändrade grundvattenregimer i ett förändrat klimat”, Presenterat vid Dricksvatten och klimatförändringar, 22-26 januari, Stockholm, på internet: http://www.svensktvatten.se/PageFiles/1929/2011-01-25_0_abstracts.pdf (hämtad 2013-04-11).

103 Braks, M. A. H. and A. M. de Roda Husman (2013) “Dimensions of effects of Climate Change on Water-Transmitted Infectious Diseases”, *Air & Water Borne Diseases*, Vol. 2, No. 1, pp. 109.1-8.

104 Se exempelvis Delpa, I., A.-V. Jung, E. Baures, M. Clement and O. Thomas (2009) “Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production”, *Environ. Int.,* Vol. 35, pp. 1225-1233.

105 Schijven, J. F. and A. M. de Roda Husman (2005) “Effect of Climate Change on Waterborne Disease in the Netherlands”, *Water Science and Technology*, Vol. 51, No. 5, pp. 79-87.

106 Willocks, L., A. Crampin, L. Milne, C. Seng, M. Susman, R. Gair, *et al*. (1998) “A large outbreak of Cryptosporidiosis associated with a public water supply from a deep chalk borehole”, *Commun. Dis. Public Health,* Vol. 1, No. 4, pp. 239-243.

107 Patz, J. A., McGeehin M. A. and Bernard S. M. (2000) “The potential health impacts of climate variability and change for the United States: Executive summary of report of the health sector of the U.S. National Assessment”, *Environ. Health Perspect*., Vol. 108, pp. 367-376.

108 SMHI, Klimatanpassningsportalen, på internet: http://www.klimatanpassning.se/Hur-forandras-klimatet/Nederbord/grundvatten-1.21296 (hämtad 2013-11-12)

109 Maracchi, G. Sirotenko, O. and Bindi, M. (2005) “Impacts of present and future climate variability on agricultural and forestry in temperate regions, Europe”, *Climatic Change,* Vol. 70, pp. 117–135.

110 Waller, E. Tornevi, A. Rocklöv, J. och Forsberg, B. (2012) *Vägledning för bedömning av dricksvattenrisker vid ett förändrat klimat*, FOI, Rapport Nr. FOI-R--3390--SE.

111 SMHI, Klimatanpassningsportalen, Vatten och avlopp, på internet: http://www.klimatanpassning.se/Hur-paverkas-samhallet/vatten-och-avlopp-information-1.22569 (hämtad 2013-11-27).

112 SMHI, Klimatanpassningsportalen, översvämning, på internet: http://www.klimatanpassning.se/Hur-forandras-klimatet/Nederbord/oversvamning-1.21324 (hämtad 2013-09-12)

113 Olsson, J., J. Dahné, J. German, B. Westergren, M. von Scherling, L. Kjellson, F. Ohls och A. Olsson (2010) *En studie av framtida flödesbelastning på Stockholms huvudavloppssystem*, SMHI Rapport, *Klimatologi*, Nr 3.

114 MSB (2011) *Identifiering av områden med betydande översvämningsrisk*, Myndigheten för Samhällsskydd och beredskap, Slutrapport, Diarienr. 2011-2996, 19 december.

115 Semenza, J. C., J. E. Suk, V. Estevez, K. L. Ebi and E. Lindgren (2011) “Mapping Climate Change Vulnerabilities to Infectious Diseases in Europe”, *Environ. Health Perspect.,* Vol. 120, pp. 385-392.

116 Semenza, J. C. and G. Nichols (2007) “Cryptosporidiosis surveillance and water-borne outbreaks in Europe”, *Euro. Surveill.,* Vol. 12, No. 5, pp. E13-14.

117 Semenza, J. C. and B. Menne (2009) “Climate change and infectious diseases in Europe,” *Lancet*, Vol. 9, pp. 365-375.

118 ECDC Food- and waterborne diseases and zoonoses, European Centre for Disease Prevention and Control, på internet: http://www.ecdc.europa.eu/en/healthtopics/food_and_waterborne_disease/pages/index.aspx (hämtad 2013-12-01).

119 ECDC (2013) *Surveillance of six priority food- and waterborne diseases in the EU/EEA 2006 – 2009*, Taina Niskanen and Johanna Takkinen (Eds.), ECDC Surveillance Report

120 ECDC (2012) *Årlig epidemiologisk rapport 2012*, ECDC, Solna.

121 Andersson, T., Å. Fulke, S. Pesonen and J. Schlundt (2012) *Nordic Expert Survey on Future Foodborne and Waterborne Outbreaks*, Livsmedelsverket, på internet: http://www.slv.se/upload/dokument/rapporter/matforgiftning_mathantering/2012_livsmedelsverket_17_Nordic_Expert_Survey_on_Future-Foodborne_and_Waterborne_Outbreaks.pdf (hämtad 2013-11-19).

122 Copeland, C. and B. Cody (2005) *Terrorism and Security issues Facing the Water Infrastructure Sector*, CRS Report for Congress, Report RL32189, April.

123 Isgård, E., och B. Olsson (2003) *Optimal säkerhet i vattenförsörjningen*, VA-Forsk, Rapport, Nr 30-2003.

124 Svenskt Vatten (2011) *Fysiskt och tekniskt skydd för dricksvatten*, Råd och riktlinjer, Svenskt Vatten.

125 Gleick, P. H. (2006) "Water and Terrorism", *Water Policy*, No. 8, pp. 481-503.

126 Värmlands Folkblad, 2004-01-29.

127 Tidningarnas telegrambyrå, 2001-08-07.

128 Tidningen Ångermanland, 2002-02-12.

129 AFP, 2011-08-21 och The Independent, 2011-08-22.

130 Dickinson, B. W. and S. E. Renner (1999) "Biological Warfare Agents as Threats to Portable Water", *Environ. Health Perspect.*, Vol. 107, No. 12, pp. 975-984.

131 Nuzzo J. B. (2006) "The Biological Threat to U.S. Water Supplies Toward a National Water Security Policy", *Biosecur. Bioterror.*, Vol. 4, No. 2, pp. 147-159.

132 Danneels, J. J. (2001) "Protecting Water Supply Systems from Terrorists", Testimony to the U.S. Congress 2001.

133 Tucker, J. B. (2000) *Toxic Terror: Assessing Terrorist Use of Chemical and Biological Weapons*, Cambridge, MIT Press.

134 Marcel, R. (2012) "Protecting the drinking water supply against CBRN-threats – the STATuS-Project", Presented at SecurEau Water Contamination Emergencies Conference: Managing the Threats, 19-21 November, Wcec5, IWW Water Centre, Mulheim an der Ruhr, Germany.

135 Talis, J. (2012) "Decontamination of drinking water systems after deliberate attack: developments and challenges", Presented at SecurEau Water Contamination Emergencies Conference: Managing the Threats, 19-21 November, Wcec5, IWW Water Centre, Mulheim an der Ruhr, Germany.

136 Torstensson, D. och M. Wedlin (2004) *IT-säkerhet inom vattenförsörjningen*, FOI, Rapport Nr. FOI Memo 1051.

137 Livsmedelsverket (2012) *Vägledning till Livsmedelsverkets föreskrifter (LIVSFS 2008:13) om åtgärder mot sabotage och annan skadegörelse riktad mot dricksvattenanläggningar*, Fastställd: 2012-02-17.

138 Svenskt Vatten (2012) *Säkerhetshandbok för dricksvattenproducenter.*

139 Wikström, A.-S. (2012) "Hantering av skyddsvärd information inom Dricksvattenförsörjningen", Föredrag, Åttonde Nordiska Dricksvattenkonferensen, Stockholm den 18–20 juni 2012, s. 55-57.

140 Hrudey S. E. (2004) “Drinking-water risk management principles for a total quality management framework”, *J. Toxicol. Environ. Health*, Vol. 67, pp. 1555-1566.

141 Lindhe, A., L. Rosén, T. Norberg and O. Bergstedt (2009), “Fault tree analysis for integrated and probabilistic risk analysis of drinking water systems,” *Water Res.*, Vol. 43, No. 6, pp. 1641-1653.

142 Krewski, D., J. Balbus, D. Butler-Jones, C. N. Haas, J. Issac-Renton, K. J. Roberts, and M. Sinclair (2004) “Managing the microbiological risks of drinking water,” *J. Toxicol. Environ. Health A*, Vol. 67, pp. 1591-1617.

143 Mossberg Sonnek, K., A. Lindberg och J. Lindgren (2007) *Anpassning till klimatförändringar i risk och sårbarhetsanalyser på kommunal nivå*, Rapport, FOI-R--2412-SE.

144 Lindhe, A. (2011) ”Kvantitativa och kvalitativa riskbedömningar som beslutsstöd”, Presenterat vid Dricksvatten och klimatförändringar, 22-26 januari, Stockholm, på Internet: http://www.svensktvatten.se/PageFiles/1929/2011-01-25_0_abstracts.pdf (2013-04-12).

145 Lindhe, A., O. Bergstedt, L. Rosén, T. J. R. Pettersson och C. Nordensten (2012) ”Regional risk- och sårbarhetsanalys för dricksvattenförsörjning”, Föredrag, Åttonde Nordiska Dricksvattenkonferensen, Stockholm den 18-20 juni 2012, s. 23-30.

146 Törneke, K. och A.-S. Wikström (2007) *Risk- och sårbarhetsanalys för dricksvattenförsörjning*, Handbok Livsmedelsverket.

147 MSB (2011) *Vägledning för risk- och sårbarhetsanalyser*, Myndigheten för samhällskydd och beredskap (MSB) Nr. MSB245 – april 2011.

148 Livsmedelsverket, Beredskapsplanering för dricksvatten, på Internet: www.slv.se

149 Livsmedelsverket (2005) Beredskapsplanering för dricksvatten.

150 Livsmedelsverket (2005) Krishantering för dricksvatten.

151 SMI (2012) Risk- och sårbarhetsanalys för SMI - årliga redovisningen 2011, Dnr. 142/2011-1.1, 2011-11-15.

152 SoS (2011) *Socialstyrelsens risk- och sårbarhetsanalys 2011,* Nr. 2011-11-29.

153 Riksrevisionen (2008) *Dricksvattenförsörjning – beredskap för stora kriser, Dricksvattenförsörjning– beredskap för stora kriser,* RiR 2008:8.

154 www.livsmedelsverket.se

155 Livsmedelsverket (2014) *Nationell strategi för dricksvattenförsörjning under korta kriser 2014-2020, planering och utveckling*.

156 MSB (2010) *Förslag till resultatmål för samhällets krisberedskap för försörjningen av dricksvatten, livsmedel och Värme*, Redovisning av regeringsuppdrag Fö2010/697/SSK, Dnr. 2010-4539.

157 Livsmedelsverket (2004) *Återrapportering av uppdrag om ansvar för dricksvattenberedskap m.m. i regleringsbrev för budgetåret 2004 avseende*

Livsmedelsverket och Naturvårdsverket (2004-12-14, Livsmedelsverket, Dnr. 3067/04), s. 32.

158 Livsmedelsverket (1997) *Riskhandbok för dricksvattenförsörjning*.

159 Livsmedelsverket (2010) *VAKA Nationell vattenkatastrofgrupp*, på internet: http://www.slv.se/upload/dokument/livsmedelsforetag/dricksvatten/VAKA%202010%20tryck.pdf (hämtad 2012-06-25).

160 VASrådet (2010) *Rutiner för nödvattendistribution*, KSL, Kommunförbundet Stockholms Län.

161 MSB information om SOFÄ, på internet: https://www.msb.se/sv/Forebyggande/Krisberedskap/Samverkansomraden/Farliga-amnen-SOFA/ (hämtad 2013-11-20).

162 MSB information om SOTI, på internet: https://www.msb.se/sv/Forebyggande/Krisberedskap/Samverkansomraden/-Teknisk-infrastruktur-SOTI/ (hämtad 2013-11-20).

163 Hasan, J., *et al*. (2005) *Technologies and techniques for early warning systems to monitor and evaluate drinking water quality: A state-of-the-art review*, No. EPA/600/R-05/156, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Office of Science and Technology, på internet: http://cfpub.epa.gov/si/si_public_file_download.cfm?p_download_id=455408 (hämtad 2013-12-05).

164 Environmental Protection Agency (EPA) Water Security Initiative program, på internet: http://water.epa.gov/infrastructure/watersecurity/lawsregs/initiative.cfm (hämtad 2013-12-05)

165 Hedström, A., R. Jönsson och A. Mäki (2009) *Tidiga förvarningssystem – Är det någonting för våra kommuner?,* Svenskt Vatten Utveckling, Rapport Nr. 2009-03.

166 Homeland Security Presidential Directive/HSPD-9, 30 januari 2004, på internet: http://www.aphis.usda.gov/animal_health/emergency_management/downloads/hspd-9.pdf (hämtad 2013-12-05)

167 Environmental Protection Agency (EPA) (2010) *Water Security Initiative - Program Overview and Available Product*, på internet: water.epa.gov/infrastructure/watersecurity/lawsregs/upload/100917_WSI-Fact-sheet_9059.pdf (hämtad 2013-12-05)

168 Environmental Protection Agency (EPA) Water Security Initiative program, på internet: http://water.epa.gov/infrastructure/watersecurity/lawsregs/initiative.cfm (hämtad 2013-12-05).

169 EPA (2009) *Commonly used water quality sensors can detect intentional drinking water contamination*, Technical Brief, EPA/600/S-06/038A, September.

170 EPA (2009) *Distribution System Water Quality Monitoring: Sensor Technology Evaluation Methodology and Results – A Guide for Sensor Manufacturers and Water*

Utilities, by J. S. Hall, J. G. Szabo, S. Panguluri and G. Meiners, No. EPA 600/R-09/076, October, U.S. Environmental Protection Agency Office.

171 EPA (2010) "Sensor Network Design for Drinking Water Contamination Warning Systems: A Compendium of Research Results and Case Studies using the TEVA-SPOT Software", U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-09/141, på internet: http://cfpub.epa.gov/si/si_public_file_download.cfm?p_download_id=498251 (hämtad 2013-12-05)

172 Techneau, på internet: http://www.techneau.org/ (hämtad 2013-12-05)

173 Galandrin-Castagnet, S. (2012) "Early Warning System for Rapid Detection of Deliberate Intrusion", Presented at SecurEau Water Contamination Emergencies Conference: Managing the Threats, 19-21 November, Wcec5, IWW Water Centre, Mulheim an der Ruhr, Germany.

174 Hart, W. E. and R. Murray (2010) "Review of Sensor Placement Strategies for Contamination Warning Systems in Drinking Water Distribution Systems", *J. Water Resour. Plan. Manag.*, Vol. 136, pp. 611-619.

175 Persson, K. M., S. Chowdhury, A. Rönnholm, J. Li (2011) *Realtidsmätning av vattenkvalitet och automatisk provtagning vid befarad mikrobiell förorening*, Svenskt Vatten Utveckling, Rapport Nr 2011-06.

176 Sting, "Svenskt Vatten beviljar Sweco och Predect projekt att testa ny teknik vid vattenverk i Motala", på internet: http://www.mynewsdesk.com/se/stockholm_innovation___growth__sting/pressreleases/svenskt-vatten-beviljar-sweco-och-predect-projekt-att-testa-ny-teknik-vid-vattenverk-i-motala-314749 (hämtad 2013-12-07)

177 Rönnmark A., J. Li, S. Chowdhury och K. M Persson (2011) "Realtidsmätning av vattenkvalitet och automatisk provtagning vid befarad mikrobiell förorening", Konferensen dricksvatten och klimatförändringar, 25-26 januari, på internet: http://www.svensktvatten.se/PageFiles/1929/2011-01-25_0_abstracts.pdf (hämtad 2013-12-07).

178 Eriksson M., D. Lindgren, R. Bjorklund, F. Winquist, H. Sundgren and I. Lundström (2011) "Drinking water monitoring with voltammetric sensors," *Procedia Eng.*, Vol. 25, pp. 1165-1168.

179 Vinnova (2012), Online sensorsystem för resurseffektiv vattenhantering, på internet: http://www.vinnova.se/sv/Resultat/Projekt/Effekta/Online-sensorsystem-for-resurseffektiv-vattenhantering1/ (hämtad 2014-12-02).

180 Jonsson P. and F. Kullander (2014) "Bioaerosol Detection with Fluorescence Spectroscopy", in Jonsson P, G. Olofsson and T. Tjärnhage (eds) *Bioaerosol Detection Technologies*. Springer New York, pp 111-141.

181 Jonsson P., F. Kullander, C. Vahlberg, P. Jelger, M. Tiihonen, P. Wästerby, T. Tjärnhage and M. Lindgren (2006) "Spectral detection of ultraviolet laser induced

fluorescence from individual bioaerosol particles", *Proc. SPIE*, Vol. 6398, pp. 63980F.1-12.

182 Jonsson P., J. Hedborg, M. Forsman, L. Karlsson, F. Kullander, H. Lundén, K. Mossberg Sonnek, R. Roffey and A. Sjödin (2013) "Monitoring and Analysis for Safe and Secure Drinking Water", presented at *TAMSEC (National Symposium on Technology and Methodology for Security and Crisis Management) 2013*, Kista, Sweden, 13-14 November.

183 Berger, M., R. Shiau, J. M. Weintraub (2006) "Review of syndromic surveillance: implications for waterborne disease detection", *J. Epidemiol. Community Health*, Vol. 60, pp. 543-550.

184 Andersson, T. (2012) *Early Warning Systems (EWS),* Livsmedelsverket, Rapport, 2012-02-14.

185 Livsmedelsverket (2001) *Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten*, SLVFS 2001:30 (omtryck i LIVSFS 2011:3) (2001).

186 EPA (2011) *Comparison of Ultrafiltration Techniques for Recovering Biothreat Agents in Water*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-11/103.

187 Hill, V. R., A. M. Kahler, N. Jothikumar, T. B. Johnson, D .Hahn and T. L. Cromeans, (2007) "Multistate evaluation of an ultrafiltration-based procedure for simultaneous recovery of enteric microbes in 100-liter tap water samples", *Appl. Environ. Microbiol.*, Vol. 73, pp. 4218-4225.

188 Lavander M., P. Ågren, L. Karlsson, E. Hallin, O. Stephansson, M Lindberg och C. Schönning (2013) *Detektion av högpatogena bakterier i vatten*, projektrapport, Forum för Beredskapsdiagnostik, FBD Nr. 2013/12

189 Andersson, M. (2012) *Mikrobiologiska dricksvattenrisker. Behovsanalys för svensk dricksvattenförsörjning sammanställning av intervjuer och workshop*, Livsmedelsverket, Rapport Nr. 20-2013.

190 The Swiss Food Manual (2012) Method No. 333, *Determining the total cell count and ratios of high and low nucleic acid content cells in freshwater using flow cytometry*, Federal Office of Public Health, på internet: http://www.bag.admin.ch/themen/lebensmittel/04861/13577/index.html?lang=en (hämtad 2013-12-01)

191 Girones, R., M. A. Ferrus, J. L: Alonso, J. Rodriguez-Manzano, B. Calgua, A. de Abreu Correa, A. Hundesa, A. Carratala and S. Bofill-Mas (2010) "Molecular detection of pathogens in water- The pros and cons of molecular techniques", *Water Res.*, Vol. 44, pp. 4325-4339.

192 Burnet, J. B., L. Ogorzaly, A. Tissier, C. Penny and H. M. Cauchie (2013) "Novel quantitative TaqMan real-time PCR assays for detection of *Cryptosporidium* at the genus level and genotyping of major human and cattle-infecting species", *J. Appl. Microbiol*, Vol. 114, No. 4, pp. 1211-1222.

193 Gómez-Doñate, M., E. Ballesté, M. Muniesa, and A. R. Blanch (2012) "New molecular quantitative PCR assay for detection of host specific *Bifidobacteriaceae* suitable for-microbial source tracking", *Appl. Env. Microbiol.*, Vol. 78, pp. 5788-5795.

194 Schill, W. B. and M. V. Mathes (2008) "Real-time PCR detection and quantification of nine potential sources of fecal contamination by analysis of mitochondrial cytochrome b targets", *Env. Sci. Technol.*, Vol. 42, No. 14, pp. 5229-5234.

195 Boehm, A. B., L. C.Van De Werfhorst, J. F. Griffith, P. A: Holden, J. A. Jay, O. C. Shanks, D. Wang and S. B. Weisberg (2013) "Performance of forty-one microbial source tracking methods: a twenty-seven lab evaluation study" *Water Res.*, Vol. 47, pp. 6812-6828.

196 Ebentier, D. L., K. T. Hanley, Y. Cao, B. D. Badgley, A. B. Boehm, J. S. Ervin and J. A. Jay (2013) "Evaluation of the repeatability and reproducibility of a suite of qPCR-based microbial source tracking methods" *Water Res.*, Vol. 47 pp. 6839-6848.

197 Svenskt Vatten (2013) *Vattenvisionen, forsknings- och innovationsagenda för vattensektorn*, på internet: http://www.svensktvatten.se/PageFiles/3275/Vattenvisionen%20slutversion.pdf (hämtad 2013-11-15).

198 Svensson M. (2007) *Förändrat klimat och kommunal planering avseende vattenresurser*, FOI, Rapport Nr FOI-R--2317--SE.

199 Climatools, hemsida, på internet: www.foi.se/climatools

200 Water JPI (2013) *Strategic Research and Innovation Agenda*, May.

201 WHO (2005) *Water Safety Plans Managing drinking-water quality from catchment to consumer*, Report WHO/SDE/WSH/05.06, WHO, Geneva, på internet: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/wsp170805.pdf (hämtad 2012-06-28).

202 Se http://www.iwahq.org/Home/Themes/Water_and_health/Drinking_water_quality/Bonn_Charter/ samt EU:s technical report 2009-040 "Common implementation strategy for the water framework directive (2000/60/EC) Guidance document no. 24 River Basin Management in a Changing Climate".

203 Bennet, M., J. Westlund och D. Sutton (2012) "Exempel på och erfarenheter av svenska arbetsmetoder för HACCP", Föredrag, Åttonde Nordiska Dricksvattenkonferensen, Stockholm den 18–20 juni 2012, s. 33-35.

204 Svenskt Vatten, God Desinfektions Praxis (GDP), på internet: http://www.svensktvatten.se/Vattentjanster/Dricksvatten/Takt-till-kran/Mikrobiologiska-barriarer/ODP/

205 Lundberg Abrahamsson, J., J. Ansker och G. Heinicke (2009) *MRA – ett modellverktyg för svenska vattenverk*, Svenskt Vatten Utveckling, Rapport Nr. 2009-05.

206 Petterson, S. R., A. Heistad, R. Seidu, T. A. Stenström and J. R. Ottoson (2012) ”QMRA to support Water Safety Planning: mitigation and management of norovirus risks via drinking water”, Föredrag, Åttonde Nordiska Dricksvattenkonferensen, Stockholm den 18–20 juni 2012, s. 58-61.

207 Heinicke, G., J. Abrahamsson, P. Häggström, B.-M. Pott, H. Almqvist, E. Athley and G. Hedenberg (2012) ”Experience from workshops on Good disinfection practice (GDP) and microbial risk assessment (MRA)”, Föredrag, Åttonde Nordiska Dricksvattenkonferensen, Stockholm den 18–20 juni 2012, s. 58-61.

208 Hokstad, P. *et.al.* (2009) *Methods for risk analysis of drinking water systems from source to tap – Guidance report on risk analysis*, EU FP6 Project TechnEau, Deliverable 4.2.4.

209 Lindhe A. (2008) *Integrated and Probabilistic Risk Analysis of Drinking Water Systems*, Licentiate Thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg.

210 Risebro, H. L. *et al*. (2007) “Fault tree analysis of the causes of waterborne outbreaks”, *J. Water and Health*, Vol. 5, Suppl. 1, pp. 1-18.

211 ECDC (2011) *Meeting Report, Second meeting of the ECDC expert group on climate change Stockholm*, 15–16 November 2011, på internet: http://www.ecdc.europa.eu/en/publications/Publications/120223-Climate-change-meeting-report.pdf (hämtad 2012-06-18).

212 Semenza, J. C. *et al*. (2012) “Knowledge mapping for climate change and food- and water-borne diseases”, *Crit. Rev. Environ. Sci. Techn.*, Vol. 42, pp. 378-411.

213 ECDC (2010) *Climate change and communicable diseases in the EU Member States. Handbook for national vulnerability, impact and adaptation assessments*, Stockholm, ECDC.

214 Friberg, J., L. Rosén, O. Bergstedt och B. Larsson (2010) *Säkrare dricksvattenförsörjning– motverka föroreningsrisker inom avrinningsområden*, Svenskt Vatten Utveckling, Rapport Nr. 2010-07.

Det finns ett samband mellan ökad extremnederbörd och ökade fall av vattenburna sjukdomsutbrott. I norra Europa bedöms nederbördsmängderna och avrinningen att öka till följd av klimatförändringarna.

De vanligaste smittämnena som överförs via dricksvattnet är *Campylobacter* och norovirus. Dessa och vattenburna sjukdomar som orsakas av virus och protozoer, exempelvis *Cryptosporidium*, förväntas öka då klimatet förändras. Om smittämnen kommer in i dricksvattensystemet så kan de få en snabb och effektiv spridning. Den vanligaste orsaken till att sjukdomsalstrande mikroorganismer hamnar i dricksvattnet är att råvattnet förorenas av människors eller djurs avföring. Problem med råvattenkvaliten och otillräcklig beredning och distribution av dricksvatten kan då resultera i sjukdomsfall, som inte alltid upptäcks och rapporteras till myndigheterna.

Behovet av förvarningssystem och snabba identifieringsmetoder av smittämnen är stort. FOI har gjort inledande försök med en fluorescensbaserad förvarningsmetod och en genetisk metagenomikmetod för identifiering av smittkällor. Målsättningen är att utveckla snabba specifika analysmetoder som kan mäta halterna on-line av potentiella sjukdomsalstrande mikroorganismer i råvatten, under reningsprocessen i vattenreningsverken och vid distributionen.

Inbrott och aktiva sabotagehandlingar kan också drabba alla led i produktionskedjan. Dricksvattnet är sårbart eftersom vattentäkter och ledningsnät är svåra att skydda genom lås, stängsel och övervakning. IT-styrda vattenverk kan även utsättas för dataintrång och virusangrepp.

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se